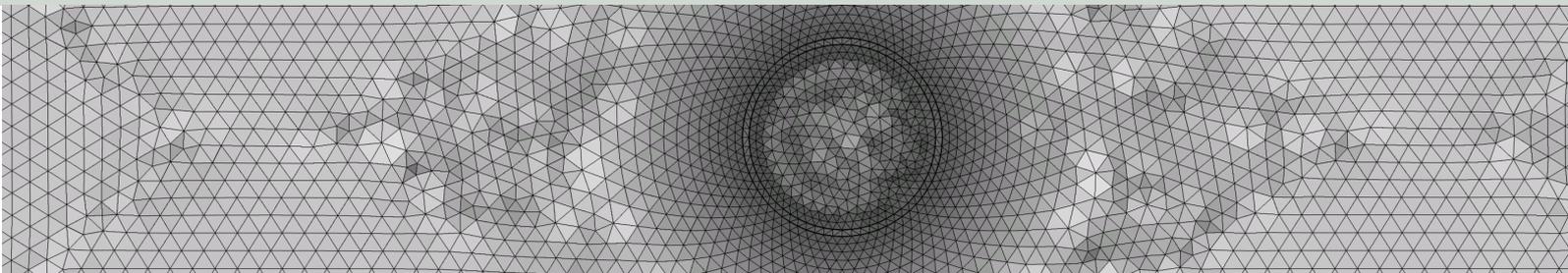




Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Swiss Confederation

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



Sedimentologische und stratigraphische Aspekte des 'Braunen Doggers', Etappe 2, Sachplanverfahren

Expertenbericht

im Rahmen der Beurteilung des Vorschlags von mindestens zwei geologischen Standortgebieten pro Lagertyp, Etappe 2, Sachplan geologische Tiefenlager

R. Burkhalter (swisstopo)

P. Bitterli

Januar 2017

Disclaimer:

Die im Bericht dokumentierten Ansichten und Schlussfolgerungen sind diejenigen der Autoren und stimmen nicht notwendigerweise mit denen des ENSI überein.

Sedimentologische und stratigraphische Aspekte des 'Braunen Doggers', Etappe 2, Sachplanverfahren

Expertenberichte zuhanden des Eidgenössischen
Nuklearsicherheitsinspektorats ENSI

mit Expertenbeiträgen von:
Reto Burkhalter (swisstopo)
Peter Bitterli

Januar 2017

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	5
1. Vorwort des ENSI	7
Referenzen	9
Expertenbericht Dr. Reto Burkhalter (swisstopo)	11
2. Aufgabenstellung	12
3. Generelle Kommentare zu den begutachteten Nagra-Berichten	12
3.1 Beantwortung der Fragen zu den allgemeinen Zielen der Begutachtung (ENSI 2015)	12
3.2 Beantwortung der Leitfragen für die Beurteilung der Untersuchungen am «Braunen Dogger» (ENSI 2015)	13
4. Detailkommentare zu den begutachteten Arbeitsberichten der Nagra (NAB)	15
4.1 NAB 13-22 Aufschlussdatenbank des «Braunen Doggers» in den Perimetern Lägern, Klingnau–Zurzach, Küssaberg– Dangstetten (D) und Rechberg (D)	15
4.2 NAB 12-57 Palynostratigraphie des Mittleren Jura. Teil I – Bohrungen Benken, Schlattingen-1 und Weiach sowie einige Aufschlussproben der Lägern und deren Korrelation. Teil II – Bohrung Riniken, Aufschlussproben Bernhardholz, Dangstetten und Lägern	15
4.3 NAB 12-51 Sedimentologie und Stratigraphie des «Braunen Doggers» und seiner westlichen Äquivalente	16
4.3.1 Wissenschaftliche Punkte	16
4.3.2 Nomenklatorische und formale Punkte	17
4.3.3 Varia	20
4.4 NAB 14-58 Reflexionsseismische Analyse des «Braunen Doggers»	20
4.4.1 Wissenschaftliche Punkte	22
4.4.2 Nomenklatorische und formale Punkte	22
4.4.3 Varia	23
5. Detailkommentare zu den begutachteten Technischen Berichten der Nagra (NTB)	24
5.1 NTB 14-02: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier II: sedimentologische und tektonische Verhältnisse (Kap. 3.3.3 u. 3.4)	24
5.1.1 Wissenschaftliche Punkte	24
5.1.2 Nomenklatorische und formale Punkte	25
5.1.3 Varia	26
5.2 NTB 14-01: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Textband (Kap. 3.3.2)	27
5.2.1 Wissenschaftliche Punkte	27
5.2.2 Nomenklatorische und formale Punkte	27
5.2.3 Varia	27
6. Zitierte Literatur	29

Expertenbericht Dr. Peter Bitterli-Dreher	31
Zusammenfassung	32
7. Einleitung	33
8. Sedimentologie des „Braunen Doggers“	34
8.1 Überblick über die Arbeiten und Resultate der Nagra zur Sedimentologie des „Braunen Doggers“	34
8.2 Palynostratigraphische Untersuchungen	42
8.3 Beurteilung der Nagra Arbeiten zur Sedimentologie des „Braunen Doggers“ (Bericht NAB 12-51)	44
9. Bemerkungen zur Stratigraphie des „Braunen Doggers“	57
10. Reflexionsseismische Analyse des „Braunen Doggers“	61
10.1 Zusammenfassung der Arbeiten und Resultate der Nagra zur reflexionsseismischen Analyse des „Braunen Doggers“	61
Seismische Faziesverteilung im „Braunen Dogger“	64
10.2 Beurteilung der Arbeiten zur reflexionsseismischen Analyse des „Braunen Doggers“ (Bericht NAB 14-58)	68
11. Kommentare zu den Technischen Berichten NTB 14-01 und NTB 14-02	73
12. Antworten auf die Fragen des ENSI	79
Anhang: Problematik der Korrelation geringmächtiger Bänke	82
13. Literaturverzeichnis	84

Zusammenfassung

Der 'Braune Dogger' stellt den lithologischen Abschnitt zwischen dem liegenden Opalinuston (Aalenien) und den hangenden Birmenstorfer Schichten und Effinger Schichten (Oxfordien) dar, die auf den geologischen Karten der Nordschweiz in brauner Farbe dargestellt sind. In Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) war der 'Braune Dogger' von der Nagra 2008 als potenzielles Wirtgestein in den zwei Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern sowie als Rahmengestein zum Opalinuston in den fünf Standortgebieten der Nordschweiz vorgeschlagen worden (NTB 08-03). Der Bundesrat hatte diesem Vorschlag der Nagra aufgrund der positiven Prüfergebnisse des ENSI und der weiteren Expertengremien (KNE, KNS) im Jahr 2011 zugestimmt.

Die Nagra hatte für Etappe 2 SGT im Hinblick auf die erforderlichen provisorischen Sicherheitsanalysen weitere Untersuchungen angekündigt (NTB 10-01), zu dem das ENSI in 41 Forderungen weitere Ergänzungen verlangt hatte (ENSI 33/115). Darunter waren auch elf Forderungen, die insbesondere Gewicht auf eine vertiefte gesteinspezifische Charakterisierung des 'Braunen Doggers' und eine Berücksichtigung dieser Resultate in den Sicherheitsanalysen gelegt haben. Diese Forderungen waren u. a. auch auf der Basis zweier Expertisen zum 'Braunen Dogger' entstanden (ENSI 33/124).

Zur Überprüfung, ob die Nagra die von den Experten in ENSI 33/124 formulierten Aspekte in ihren Untersuchungen und Dokumentationen zur Etappe 2 SGT aufgenommen haben, wurden erneut die Herren Dr. Reto Burkhalter (swisstopo) und Dr. P. Bitterli (ehem. HSK) um die Erstellung einer Expertise gebeten. Die Ergebnisse aus diesen beiden Expertisen werden in den Kapiteln 2-6 und 7-13 dieses Berichts vorgelegt.

Dr. R. Burkhalter hält in seinem Fazit fest, dass die von der Nagra durchgeführten Arbeiten, insbesondere die seitens dieses Experten vorgeschlagenen Arbeiten zur Palynostratigraphie dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechend ausgeführt worden sind. In den Datensätzen zum 'Braunen Dogger' sind zahlreiche Ungewissheiten zu berücksichtigen, diese wurden von der Nagra aber nachvollziehbar dargestellt. Die überprüften Dokumente (NAB 12-51, NAB 12-57, NAB-14-58; NTB 14-01 und NTB 14-02 ausschnittsweise) liegen mit wenigen fachlichen Abstrichen in guter Qualität vor und haben die zur Verfügung stehenden Daten umfassend berücksichtigt. Die von der Nagra gemachten Untersuchungen waren sinnvoll, um den Wissenstand auf eine solide Basis anzuheben.

Kritisiert wird der Umgang der Nagra mit den Eisenoolithen und Sandkalkbänken, die als „harte Bänke“ zusammengefasst werden, aber durch unterschiedliche Mechanismen gebildet wurden und deren laterale Geometrie noch genauer untersucht werden sollte, insbesondere mit Blick auf die aus der Seismik definierten „Schwellenzonen“ (NAB 14-58). Dazu sind weitere Bohrungen und hochauflösende seismische Untersuchungen geeignet. An künftigen Bohrkernen aus dem 'Braunen Dogger' sollten erneut palynostratigraphische Datierungen durchgeführt werden.

Dr. P. Bitterli kommt in seiner Expertise zum Schluss, dass die Nagra die Abfolge des 'Braunen Doggers' sedimentologisch und stratigraphisch nach Stand von Wissenschaft und Technik untersucht hat. Mit Hilfe von Palynomorphen konnte die Abfolge präziser datiert und chronostratigraphisch detaillierter gegliedert werden.

Von besonderem Interesse sind eingeschaltete „harte Bänke“, weil diese potenziell wasserführend und damit für die Langzeitsicherheit entscheidend sein könnten. Die „harte Bänke“ sensu Nagra umfassen einerseits biomikritische und sandige Kalkbänke, andererseits eisenoolithische Kalke oder Kalkmergel. Diese Gesteine sind nach Ansicht von Dr. Bitterli bzgl. ihrer Genese separat zu interpretieren und bzgl. ihrer vertikalen und lateralen Ausdehnung im Untersuchungsgebiet ebenfalls unterschiedlich zu betrachten. Die zurzeit fehlende Korrelation der „harten Bänke“ zwischen den Bohrungen könnte durch näher beieinander liegende Bohrungen (Abstand: 2-3 km) eventuell gelingen. Das sedimentologische Kernproblem des

'Braunen Doggers' bleibt die Charakterisierung der „harten Bänke“ im Hinblick auf ihre Verbreitung und Wasserführung.

Nur gebietsweise gelang es aus Sicht von Dr. Bitterli, aufgrund der vorliegenden 2D-seismischen Daten zusätzliche seismische Horizonte innerhalb des 'Braunen Doggers' zu kartieren. Der lithologische Aufbau der sechs seismischen Faziestypen (mit unterschiedlichen seismischen Eigenschaften) ist im Einzelnen nicht klar. Die beobachteten Fazies- und Mächtigkeits-Unterschiede wurden in NAB 12-51 auf Nord-Süd verlaufende synsedimentäre Bruchzonen zurückgeführt. Deren Existenz wurde durch die seismischen Resultate jedoch nicht bestätigt, da keine Hinweise auf Nord-Süd verlaufende Störungen gefunden werden konnten. Möglicherweise haben die Randzonen des Permokarbondrogens die Sedimentation beeinflusst.

Die Untersuchungen wurden seitens Nagra umfassend angegangen und für Etappe 2 umfangreiche Datensätze gewonnen. Die Untersuchungsergebnisse sind aus Sicht von Dr. Bitterli korrekt in den zusammenfassenden technischen Bericht NTB 14-02 eingeflossen.

1. Vorwort des ENSI

Der 'Braune Dogger' bildet den lithologischen Abschnitt zwischen dem liegenden Opalinuston (Aalenien) und den hangenden Birmenstorfer Schichten und Effinger Schichten (Oxfordien). Auf den geologischen Karten der Nordschweiz werden diese Schichten in brauner Farbe dargestellt. In Etappe 1 des Sachplans geologische Tiefenlager (SGT) hatte die Nagra die Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' als mögliches Wirtgestein für ein Lager mit schwach- und mittelaktiven Abfällen (SMA) vorgeschlagen (NTB 08-03). Der 'Braune Dogger' wurde im Vorschlag der Nagra als potenzielles Wirtgestein in den Standortgebieten Nördlich Lägern und Zürich Nordost angesehen, wohingegen der im 'Braunen Dogger' gegen Westen sichtbare Fazieswechsel zu karbonatreicheren Gesteinen diese als potenzielles Wirtgestein in den Standortgebieten Jura Ost und Jura-Südfuss ausschliesst. Die vorgeschlagenen Wirtgesteine und Standortgebiete waren für Etappe 1 SGT seitens ENSI, KNE und swisstopo sicherheitstechnisch beurteilt und als geeignet bewertet worden (ENSI 33/067, ENSI 33/070, KNE 2010). Damit wurde auch der 'Braune Dogger' als SMA-Wirtgestein in den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern bestätigt. Der Bundesrat hatte im November 2011 zum Abschluss von Etappe 1 SGT auf der Basis dieser Beurteilungen den Vorschlag der Nagra gutgeheissen.

Im Hinblick auf Etappe 2 SGT hatte die Nagra in NTB 10-01 dargestellt, welche weiteren Untersuchungen sie bezüglich 'Braunem Dogger' durchzuführen gedenkt, um für dieses Gestein wirtgesteins- und standortgebietspezifische Daten und Parameter für die provisorischen Sicherheitsanalysen zu erhalten. Das ENSI hatte die Angaben der Nagra in einer Stellungnahme überprüft und bewertet. Bezüglich 'Braunem Dogger' wurden dafür zwei externe Experten (Dr. Reto Burkhalter, swisstopo, und Dr. P. Bitterli, ehemals HSK) um eine fachliche Einschätzung gebeten. Die Beurteilungen aus diesen Expertisen (ENSI 33/124) wurden in der Stellungnahme des ENSI (ENSI 33/115) übernommen und für den 'Braunen Dogger' die folgenden 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 SGT noch erfolgenden Untersuchungen zu prüfen und darzulegen, inwiefern eine unterschiedliche Konzeptualisierung des 'Braunen Doggers' für den westlichen und östlichen Teil des Standortgebietes Nördlich Lägern 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 Wedelsandstein-Formation im Standortgebiet Südranden als grossräumig durchziehende laterale Exfiltrationspfade einzustufen sind.

Forderung 21: Das ENSI fordert für Etappe 2 SGT, dass die hydraulische Bedeutung und laterale Kontinuität kalkiger und eisenoolithischer Einschaltungen innerhalb der Tongesteinsabfolge 'Brauner Dogger' im Standortgebiet Nördlich Lägern 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 mineralogischen Parameter in den tonigen Abfolgen und sandig/kalkigen Architekturelementen von Effinger 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 sandig/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 Resultate der ergänzenden Untersuchungen in den Modellkonzeptualisierungen für die Ausbreitungsberechnungen berücksichtigt werden.

Das ENSI hatte im Rahmen von elf Zwischenhalt-Fachsitzungen zwischen März 2013 und Juli 2014 (ENSI 33/429) abgeklärt, inwiefern diese Forderungen des ENSI von der Nagra umgesetzt worden sind bzw. alle für eine Umsetzung notwendigen Schritte seitens Nagra vorgenommen worden sind. Dabei konnte festgehalten werden, dass die Forderungen 2, 27 und 32 bereits vollständig umgesetzt waren, wohingegen die Umsetzung der Forderungen 1, 6, 7, 8, 13, 16, 21, und 40 in den später eingereichten Unterlagen der Nagra zu Etappe 2 SGT zu überprüfen sind (ENSI 33/429).

Bereits im Rahmen der Beurteilung des Entsorgungsnachweises für ein Lager für hochradioaktive Abfälle im Zürcher Weinland (Projekt Opalinuston, NTB 02-05) hat das ENSI in seinem Gutachten (HSK 35/99) festgehalten, dass es seitens Nagra erwartet, dass die Rahmengesteine mit gleicher Intensität wie das Wirtgestein untersucht werden. Damit soll sichergestellt werden, dass der Einfluss der Rahmengesteine auf die Sicherheit eines geologischen Tiefenlagers in vollem Umfang erfasst und gegebenenfalls bei der Auswahl bzw. Einengung der Standortgebiete berücksichtigt werden kann.

Zur Überprüfung, ob die Nagra die von den Experten in ENSI 33/124 formulierten Aspekte in ihren Untersuchungen und Dokumentationen zur Etappe 2 SGT aufgenommen haben, sind die Herren Dr. Reto Burkhard und Dr. P. Bitterli erneut um eine Expertise gebeten worden. Für deren Beurteilung der Unterlagen der Nagra zu Etappe 2SGT hat das ENSI folgende allgemeinen Leitfragen formuliert:

- Entsprechen die durchgeführten Arbeiten und angewandten Techniken dem Stand der Wissenschaft und Technik?
- Sind die parametrischen und konzeptuellen Ungewissheiten nachvollziehbar dargestellt worden und begründet?
- Liegen die Dokumente in der zur Prüfung notwendigen Qualität vor?

Bezüglich des 'Braunen Doggers' wurden für die Beurteilung der Experten zusätzlich folgende Leitfragen formuliert:

- Hat die Nagra alle zum 'Braunen Dogger' relevanten Informationen berücksichtigt (vgl. NAB 13-22)?
- Sind die Ausführungen der Nagra in NAB 12-51 und 12-57 nachvollziehbar, die gemachten Untersuchungen sinnvoll?
- Ist die vertikale Verteilung, die zu erwartende laterale Ausdehnung und Korrelation der «harten Bänke» genügend detailliert bekannt, um die Bewertung des 'Braunen Doggers' durch die Nagra nachvollziehen zu können?
- Wie ist die räumliche Explorierbarkeit und Charakterisierbarkeit des 'Braunen Doggers' in den Standortgebieten zu beurteilen?
- Sind die sedimentologisch-stratigraphischen Ausführungen zum 'Braunen Dogger' korrekt in NTB 14-02 (Dossier II; Kap. 3.3.3 und 3.4) bzw. NTB 14-01 (Kap. 3.3.2) zusammengefasst worden?
- Welche Arbeiten wären bei einer weitergehenden Exploration des 'Braunen Doggers' vorzusehen?

Diese Leitfragen wurden im Rahmen der beiden Expertisen gezielt beantwortet, die Ergebnisse der beiden Expertisen liegen in den Kapiteln 2-6 und 7-13 dieses Berichts vor.

Das ENSI hält fest, dass insbesondere der Umgang mit den „harten Bänken“, in denen durch die Nagra die Eisenoolithe und Sandkalkbänke zusammengefasst werden, seitens des ENSI von grossem Interesse ist, da die Zusammenfassung durch die Nagra deren unterschiedliche Genesen zu wenig zu berücksichtigen scheint. Ein vertieftes Verständnis zur Bildung dieser „harten Bänke“ könnte möglicherweise dazu führen, dass diese auch in ihrer vertikalen und lateralen Verbreitung besser verstanden werden. Das ENSI verweist in diesem Zusammenhang auf eine nach Einreichung des Vorschlags der Nagra erschienene Publikation hin (Föllmi 2016), die sich insbesondere mit der Bildung von Kondensationshorizonten auseinandersetzt. Die Ausführungen darin dürften Ansätze für eine differenziertere Betrachtung der „harten Bänke“ liefern.

Referenzen

- 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.
- ENSI 33/124: Expertenberichte zum vorgeschlagenen Wirtgestein 'Brauner Dogger' und den von der Nagra geplanten Untersuchungen im Hinblick auf Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager. Expertenbericht, Juni 2011.
- ENSI 33/429: Feststellung des Kenntnisstands zu den 41 ENSI-Forderungen aus ENSI 33/115 (Stand 22. August 2014). Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, Revision 1, vom Juli 2015.
- ENSI 33/540: Sicherheitstechnisches Gutachten zum Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Stand-ortgebiete, Sachplan geologische Tiefenlager Etappe 2. Eidgenössisches Nuklearsicherheitsinspektorat, Brugg, April 2017.
- Föllmi, K.B. (2016): Sedimentary condensation. *Earth-Science Reviews* 152, 143-180.
- HSK 35/99: Gutachten zum Entsorgungsnachweis der Nagra für abgebrannte Brennelemente, verglaste hochaktive sowie langlebige mittelaktive Abfälle (Projekt Opalinuston. Würenlingen, August 2005.
- KNE 2010: Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 1: Stellungnahme der KNE zur Sicherheit und bautechnischen Machbarkeit der vorgeschlagenen Standortgebiete. Kommission Nukleare Entsorgung, Februar 2010.
- NAB 12-51: Bläsi, H.R., Deplazes, G., Schnellmann, M. und Traber, D. (2013): Sedimentologie und Stratigraphie des «Braunen Doggers» und seiner westlichen Äquivalente.
- NAB 12-57: Feist-Burkhard, S. (2012): Palynostratigraphie des Mittleren Jura. Teil I – Bohrungen Benken, Schlattingen-1 und Weiach sowie einige Aufschlussproben der Lägern und deren Korrelation. Teil II – Bohrung Riniken, Aufschlussproben Bernhardholz, Dangstetten und Lägern.
- NAB 14-58: Meier, B. und Deplazes, G. (2014): Reflexionsseismische Analyse des «Braunen Doggers».
- NTB 02-05: Project Opalinus Clay: Safety Report – Demonstration of Disposal feasibility for spent fuel; vitrified high-level waste and long-lived intermediate level waste (Entsorgungsnachweis). Dezember 2002.
- NTB 08-03: Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager - Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse. Oktober 2008.
- NTB 10-01: Beurteilung der geologischen Unterlagen für die provisorische Sicherheitsanalyse in Etappe 2, SGT – Klärung der Notwendigkeit ergänzender geologischer Untersuchungen. Oktober 2010.
- NTB 14-01: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Textband. Dezember 2014.
- NTB 14-02: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier II: sedimentologische und tektonische Verhältnisse. Dezember 2014.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Verteidigung,
Bevölkerungsschutz und Sport VBS

Bundesamt für Landestopografie swisstopo

Expertenbericht Dr. Reto Burkhalter

Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 2: Gutachten des ENSI zum Vorschlag der Nagra betreffend weiter zu untersuchende geologische Standortgebiete

**Begutachtung der Untersuchungsberichte der Nagra zum
«Braunen Dogger»**

Dr. Reto Burkhalter, Landesgeologie, swisstopo, z.H. ENSI

25. 9. 2015

2. Aufgabenstellung

Allgemeine Ziele (ENSI 2015) der vorliegenden Begutachtung sind es, anhand der unten aufgeführten Nagra-Berichte zu prüfen, ob

- die von der Nagra durchgeführten Arbeiten und angewandten Techniken dem Stand der Wissenschaft und Technik entsprechen,
- die parametrischen und konzeptuellen Ungewissheiten nachvollziehbar dargestellt werden und begründet sind,
- die Dokumente in der zur Prüfung notwendigen Qualität vorliegen.

Die Leitfragen für die Beurteilung der Untersuchungen am «Braunen Dogger» sind (ENSI 2015):

- Hat die Nagra alle zum «Braunen Dogger» relevanten Informationen berücksichtigt (vgl. NAB 13-22)?
- Sind die Ausführungen der Nagra in NAB 12-51 und 12-57 nachvollziehbar, die gemachten Untersuchungen sinnvoll?
- Ist die vertikale Verteilung, die zu erwartende laterale Ausdehnung und Korrelation der so genannten «harten Bänke» genügend detailliert bekannt, um die Bewertung des «Braunen Doggers» durch die Nagra nachvollziehen zu können?
- Wie ist die räumliche Explorierbarkeit und Charakterisierbarkeit des Braunen Doggers in den Standortgebieten zu beurteilen?
- Sind die sedimentologisch-stratigraphischen Ausführungen zum «Braunen Dogger» korrekt in NTB 14-02 (Dossier II; Kap. 3.3.3 u. 3.4) bzw. NTB 14-01 (Kap. 3.3.2) zusammengefasst worden?
- Welche Arbeiten wären bei einer weitergehenden Exploration des «Braunen Doggers» vorzusehen?

Begutachtete Nagra-Berichte (bzw. Teile davon) (ENSI 2015):

- NTB 14-01, Kapitel 3.3.2
- NTB 14-02-II, Kapitel 3.3.3 und 3.4
- NAB 12-51
- NAB 12-57
- NAB 13-22
- NAB 14-58

3. Generelle Kommentare zu den begutachteten Nagra-Berichten

3.1 Beantwortung der Fragen zu den allgemeinen Zielen der Begutachtung (ENSI 2015)

- *Entsprechen die durchgeführten Arbeiten und angewandten Techniken dem Stand der Wissenschaft und Technik?*

Feldarbeiten, Bohrkernaufnahmen, Faziesanalyse usw. (NAB 13-22, 12-51) und Palynostratigraphie (12-57): ja. Reflexionsseismische Analyse (NAB 14-58): ebenfalls; mit der heutigen Qualität der Daten und beim heutigen Stand der Technik ist die Methode allerdings mit zahlreichen Unsicherheiten behaftet.

- *Sind die parametrischen und konzeptuellen Ungewissheiten nachvollziehbar dargestellt worden und begründet?*
Ja (speziell in NAB 12-51).

- *Liegen die Dokumente in der zur Prüfung notwendigen Qualität vor?*
Ja, mit gewissen Abstrichen bei NAB 12-51 (mangelhafte Konsistenz zwischen der Beschreibung der lithostratigraphischen Einheiten und der Darstellung in zwei entsprechenden Figuren, zahlreiche nomenklatorische und sonstige formale Mängel) sowie bei NAB 14-58 und den entsprechenden Zitaten hieraus in NTB 14-01 und v.a. NTB 14-02 (formale Mängel: Gebrauch ungenau definierter Begriffe, «stillschweigende» Neudefinition der Stratigraphie eines wichtigen Bohrprofils). Alle diese formalen Mängel haben keinen direkten Einfluss auf die Qualität der präsentierten Resultate.

3.2 Beantwortung der Leitfragen für die Beurteilung der Untersuchungen am «Braunen Dogger» (ENSI 2015)

- *Hat die Nagra alle zum «Braunen Dogger» relevanten Informationen berücksichtigt (vgl. NAB 13-22)?*

Die Nagra hat in Etappe 2 grosse Schritte zur Erlangung besserer Kenntnisse des «Braunen Doggers» unternommen und innerhalb dieser Etappe die zur Verfügung stehenden und für diese Etappe erhobenen Daten berücksichtigt.

- *Sind die Ausführungen der Nagra in NAB 12-51 und 12-57 nachvollziehbar, die gemachten Untersuchungen sinnvoll? (NAB 14-58 ebenfalls berücksichtigt.)*

Sinnvoll: ja, gilt auch für reflexionsseismische Analyse (NAB 14-58). Speziell die palynostratigraphischen Untersuchungen haben die stratigraphische Korrelation auf eine solide Basis stellen können und den Stand der Kenntnisse des «Braunen Doggers» wesentlich vorangebracht (vgl. Burkhalter 2011). Nicht ganz klar ist, inwiefern NAB 13-22 (Vorarbeiten zu NAB 12-51) für die Erstellung von NAB 12-51 berücksichtigt wurde (dies ist kein inhaltliches, sondern ein Verfahrensproblem).

Nachvollziehbar: ja, mit geringfügigen Abstrichen bei NAB 12-51 (Eisenoolithen stellen nicht a priori Schüttungskörper dar, s. u.) und NAB 14-58 (Hinweise auf einen Schüttungskörper [mit positivem Relief] schliessen Gebiete mit Sedimentakkumulation durch differenzielle Subsidenz nicht aus).

- *Ist die vertikale Verteilung, die zu erwartende laterale Ausdehnung und Korrelation der «harten Bänke» genügend detailliert bekannt, um die Bewertung des «Braunen Doggers» durch die Nagra nachvollziehen zu können?*

Unter dem Begriff «harte Bänke» werden sowohl Eisenoolithhorizonte als auch Sandkalkbänke zusammengefasst. Untersuchungen im Jura (Burkhalter 1994, 1996) deuten darauf hin, dass diese beiden (Haupt-)Lithologien der «harten Bänke» durch unterschiedliche Mechanismen gebildet wurden (In-situ-Bildung während Omission bei Eisenoolithen vs. Sedimenttransport und -akkumulation bei Sandkalk). Dies dürfte einen Einfluss auf die Geometrie und mögliche Interconnectedness der Lagen haben, der noch genauer zu untersuchen ist.

Bezogen auf die gesamte Abfolge des «Braunen Doggers» kann die vertikale Verteilung der «harten Bänke» als gut bekannt bezeichnet werden; es zeigen sich zwei Abschnitte

innerhalb des «Braunen Doggers» (im unteren und im oberen Bereich der Abfolge), die generell heterogener sind als der mittlere Abschnitt.

Was die laterale Ausdehnung «harter Bänke» betrifft, so dürfte die Untersuchung des oben genannten Unterschieds zwischen Eisenoolithhorizonten und Sandkalkbänken zu genaueren Kenntnissen führen. Die bisherigen Untersuchungen haben gezeigt, dass die aktuelle Aufschluss- bzw. Datendichte im Verhältnis zur Variabilität von Fazies und Mächtigkeit innerhalb der beiden heterogenen Bereiche zu gering ist, um die laterale Ausdehnung «harter Bänke» zuverlässig fassen zu können (z.B. «Schwellenzone», NAB 14-58). Für eine sichere Korrelierbarkeit ist bei der momentanen Datendichte die palynostratigraphische und reflexionsseismische Auflösung zu gering.

- *Wie ist die räumliche Explorierbarkeit und Charakterisierbarkeit des «Braunen Doggers» in den Standortgebieten zu beurteilen?*

Räumliche Explorierbarkeit: Der «Braune Dogger» ist mittels weiterer Bohrungen und möglicherweise auch hochauflösender Seismik besser zu fassen. Charakterisierbarkeit: ist machbar, erfordert aber zusätzlich die oben genannte genauere Untersuchung des Unterschieds zwischen Eisenoolithhorizonten und Sandkalkbänken.

- *Sind die sedimentologisch-stratigraphischen Ausführungen zum «Braunen Dogger» korrekt in NTB 14-02 (Dossier II; Kap. 3.3.3 und 3.4) bzw. NTB 14-01 (Kap. 3.3.2) zusammengefasst worden?*

Stellenweise ist eine Tendenz zu einer gegenüber den NAB positiveren Darstellung in den Zusammenfassungen der NTB zu spüren. Diese äussert sich subtil und ist schwierig zu fassen. Der neu eingeführte Suggestivname «Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»» ist unbedingt zu vermeiden; er ist nicht bloss nomenklatorisch, sondern vor allem auch inhaltlich inkorrekt und stellt einen möglichen Ansatzpunkt für Kritik dar.

- *Welche Arbeiten wären bei einer weitergehenden Exploration des «Braunen Doggers» vorzusehen?*

- Der Unterschied zwischen sandig-biodetritischen (und lithologisch verwandten) Bänken und Eisenoolithhorizonten sollte besser untersucht werden. Sind Hinweise zur Sedimenttransportrichtung in Sandkalkbänken vorhanden? Kann festgestellt werden, ob die Eisenooide in einem Eisenoolithhorizont lokalen Ursprungs sind oder durch Strömung akkumuliert wurden? Gibt es bessere Analogbeispiele als die in NAB 12-51 vorgestellten? Eventuell kann aus der Natur der Sandkalkbänke und Eisenoolithhorizonte auf ihre Geometrie (und mögliche Interconnectedness) geschlossen werden.
- (Weitere) Bohrungen in den Standortgebieten und durch die «Schwellenzone» im «Braunen Dogger» (NAB 14-58), mit Aufnahme der Bohrkerne und palynostratigraphischer Datierung wie in NAB 12-51 und 12-57. Gemäss den Autoren von NAB 12-51 bestehen zudem Kenntnislücken in der Ausbildung der Untereinheiten des «Braunen Doggers» zwischen Benken und Weiach und zwischen Weiach und der westlichen Lägern.
- Weitere hochauflösende Seismik (Erhebung neuer Daten).

4. Detailkommentare zu den begutachteten Arbeitsberichten der Nagra (NAB)

Nachfolgend werden Details aus den begutachteten Berichten kommentiert. Die Reihenfolge, in der die Berichte behandelt werden, weicht von der Berichtsnummerierung ab, da sie sich nach einer sinnvollen Arbeitsabfolge richtet. Bei jedem Bericht werden zuerst (a) wissenschaftliche Punkte erörtert, gefolgt von (b) nomenklatorischen und formalen Punkten und schliesslich von (c) Varia. Innerhalb dieser Unterkapitel erfolgt die Behandlung entsprechend der Seitennummerierung.

4.1 NAB 13-22 Aufschlusdatenbank des ‹Braunen Doggers› in den Perimetern Lägern, Klingnau–Zurzach, Küssaberg– Dangstetten (D) und Rechberg (D)

Der Bericht stellt eine zweckmässige Vorarbeit für NAB 12-51 dar.

Allerdings ist der (zeitliche) Zusammenhang zwischen dem offiziell im November 2013 publizierten NAB 13-22 mit dem teilweise darauf aufbauenden, offiziell einen Monat später veröffentlichten NAB 12-51 nicht klar. So wird in NAB 12-51, Kap. 1.3 (Methodik), der NAB 13-22 nicht erwähnt, und es werden in NAB 12-51, Kap. 3.3, diverse Aufschlüsse mit Profil (und Datierung) beschrieben, ohne dass Bezug auf NAB 13-22 genommen würde, worin diese Profile grob beschrieben und zu einer genaueren Aufnahme vorgeschlagen werden. NAB 13-22 wird zwar in NAB 12-51 zitiert; trotzdem bleibt die Frage offen, inwiefern die Vorarbeiten von NAB 13-22 auch wirklich Verwendung fanden.

In Kap. 2.1. (Kartendaten; S. 5) wird die Verwendung von DTM-AV-Bildern erwähnt, doch wäre an dieser Stelle eine Erläuterung der Auswertungsmethodik wünschenswert.

4.2 NAB 12-57 Palynostratigraphie des Mittleren Jura. Teil I – Bohrungen Benken, Schlattingen-1 und Weiach sowie einige Aufschlussproben der Lägern und deren Korrelation. Teil II – Bohrung Riniken, Aufschlussproben Bernhardholz, Dangstetten und Lägern

Sehr guter und nützlicher Bericht, bildet die solide Basis für die Untersuchungen des ‹Braunen Doggers› in Etappe 2.

Die palynostratigraphischen Datierungen belegen Schichtlücken (bzw. Beprobungslücken: Hinweise auf Intervalle mit reduzierter Sedimentation) und Mächtigkeitsunterschiede zeitgleicher Einheiten; damit belegen sie Heterogenitäten im Aufbau des ‹Braunen Doggers›.

Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass die regionale Palynostratigraphie im untersuchten stratigraphischen Abschnitt auf die regionale Ammonitenbiostratigraphie kalibriert ist und folglich von dieser abhängig ist und zudem nicht genauer sein kann als diese.

4.3 NAB 12-51 Sedimentologie und Stratigraphie des «Braunen Doggers» und seiner westlichen Äquivalente

Gemessen an den ausgeführten Arbeiten und den gewonnenen Erkenntnissen ein guter Bericht, der allerdings zahlreiche formale Unzulänglichkeiten aufweist.

Die angewendeten Methoden (Kap. 1.3, S. 4) sind vollständig und zielführend, die Schlussfolgerungen (Kap. 7, S. 75f.) nachvollziehbar und zeigen die noch verbleibenden Wissenslücken auf.

Bei den ausgeführten Arbeiten wurden die zur Verfügung stehenden und für Etappe 2 neu gewonnenen Daten zum «Braunen Dogger» berücksichtigt und ausgewertet (Ausnahme: «harte Bänke», s. u.). Der Bericht zeigt aber auch auf, dass die aktuelle Aufschluss-/Datendichte im Verhältnis zur Variabilität von Fazies und Mächtigkeit in Abschnitten des «Braunen Doggers» zu gering ist, um die laterale Ausdehnung «harter Bänke» zuverlässig fassen zu können (vgl. auch «Schwellenzone», NAB 14-58). Für eine sichere Korrelierbarkeit ist die palynostratigraphische und reflexionsseismische Auflösung zu gering.

4.3.1 Wissenschaftliche Punkte

- S. 36, Kap. 3.4.3 (Aufschlüsse Frickberg), 1. Abschn.: Mindestens im Gebiet von Wildegg vollzieht sich der Übergang vom (am Plattformrand noch sehr mächtigen; Gonzalez 1993) Haupttrogenstein zur Klingnau-Formation über eine Distanz von rund 2 km. Gemessen an den zahlreichen im Jura vorhandenen Faziesübergängen ist nicht verständlich, warum dieser Faziesübergang als «nicht abrupt» eingestuft wird. Ebenfalls nicht klar ist, warum unter dem Titel «Aufschlüsse Frickberg» zum grossen Teil die Situation am Unterlauf der Aare, rund 15 km weiter östlich, beschrieben wird.
- S. 58, Kap. 5.2.2 (Synsedimentäre Tektonik): ergänzende Bemerkungen: (a) In dem vom alpinen Fernschub betroffenen Gebiet sind ungefähr N–S gerichtete, d.h. mehr oder weniger senkrecht zum Verlauf der meisten Überschiebungen und Antiklinalachsen des Faltenjuras liegende Faziesübergänge naturgemäss leichter zu lokalisieren als solche, die parallel zu den genannten Strukturen verlaufen (z.B. Burkhalter 1993, 1996). (b) Die genaue Korrelation zwischen (raschen) Faziesübergängen im Deckgebirge und Störungen im Grundgebirge erfordert in dem vom alpinen Fernschub betroffenen Gebiet eine solide palinspastische Rekonstruktion des Deckgebirges. Eine Retrodeformation des Deckgebirges wurde bisher nur ansatzweise vorgenommen (z.B. Burkhalter 1993, 1996, Wetzel et al. 2003). Aussagen zur Korrelation von Störungen sind deshalb eher spekulativ (siehe dazu auch Fussnote S. 70 und Beil. 12–16).
- S. 63, Kap. 5.3.1, Unterkap. Geringmächtige, sandige, biodetritische Kalksteinbänke im «Braunen Dogger», 3. Abschn.: Die Analogiebeispiele aus dem Oberen Muschelkalk und der Nordsee sind in der Kürze, in der sie hier beschrieben werden, zu wenig aussagekräftig.
- S. 63f., Kap. 5.3.2 (Eisenoolithen): In diesem Kapitel fehlt die Erörterung eines wesentlichen Unterschieds zwischen sandig-biodetritischen (und lithologisch verwandten) Bänken (Sandkalkbänken) und Eisenoolithhorizonten. Die Bezeichnung «harte Bänke» für sämtliche sandig-kalkigen und eisenoolithischen Einschaltungen in mehrheitlich tonreichen Abfolgen ist zwar praktisch, gleichzeitig aber auch irreführend, da sie eine

Einheitlichkeit dieser Einschaltungen suggeriert. Sandig-biodetritische Bänke sind Sedimentkörper, die durch Akkumulation von strömungstransportiertem Sediment entstanden sind – unabhängig davon, ob es sich um Sedimentkörpern mit positivem Relief (Barren) handelt oder um solche, die durch syndementäre Tektonik gebildeten «Sedimentfallen» zur Ablagerung kamen (Burkhalter 1996, vgl. NAB 14-58). Eisenoolithhorizonte hingegen entstanden primär durch Omission (Burkhalter 1993, 1994), verbunden mit Alteration und Aufarbeitung des Substrats. Ein Zusammenschwemmen von Eisenoiden zu Sedimentkörpern wie bei den sandig-biodetritischen Bänken kam vor, spielte aber mindestens im Gebiet des Juras eine untergeordnete Rolle (im Gegensatz zu Süddeutschland). Es ist deshalb von einer unterschiedlichen Geometrie von sandig-biodetritischen Bänken und Eisenoolithhorizonten auszugehen. Speziell bei relativ mächtigen Eisenoolithen ist zu prüfen, ob sie durch Zusammenfallen (Amalgamation) von zwei oder mehreren Eisenoolithhorizonten (durch lang andauernde Omission) oder durch (sekundäre) Sedimentakkumulation entstanden sind. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Genese sind Eisenoolithhorizonte und sandig-biodetritische Bänke (Sandkalkbänke) a priori unterschiedlich zu bewerten, speziell im Hinblick auf die Prognostizierbarkeit ihrer Geometrie und möglichen Interconnectedness.

Dieser Punkt beschreibt die wichtigste noch durchzuführende sedimentologische Studie an den Gesteinen des «Braunen Doggers».

4.3.2 Nomenklatorische und formale Punkte

Wie in Kapitel 3.2 erwähnt, weist NAB 12-51 eine mangelhafte Konsistenz zwischen der Beschreibung der lithostratigraphischen Einheiten und der Darstellung in zwei entsprechenden Figuren (Fig. 2, Fig. 45) sowie zahlreiche sonstige Mängel bei der stratigraphischen Nomenklatur auf. Diese formalen Unzulänglichkeiten bzw. Nachlässigkeiten haben jedoch keinen Einfluss auf die Qualität der im Bericht präsentierten Resultate.

- S. 5, Kap. 2.1 (Lithostratigraphie, Biostratigraphie, Leitbänke), 2. Abschn.: F.A. Quenstedt hat nicht den Dogger, sondern den Braunen Jura unterteilt (Geyer & Gwinner 1986).
- S. 5, Kap. 2.1 (Lithostratigraphie, Biostratigraphie, Leitbänke), 3. Abschn.: Lithostratigraphisch definiert werden Gesteinseinheiten im Prinzip schon seit längerem; ab den 1970er-Jahren setzte sich – mindestens beim massgebenden Geologischen Atlas der Schweiz 1:25000 – auch eine regelkonforme lithostratigraphische Nomenklatur durch.
- S. 5, Kap. 2.1 (Lithostratigraphie, Biostratigraphie, Leitbänke), 4. Abschn.: Mit «schwäbischer» Nomenklatur ist hier eine Mischung aus älteren in Süddeutschland verwendeten Namen und der von der LGRB publizierten, offiziellen baden-württembergischen Nomenklatur (Nitsch & Franz 2011) gemeint. Es fehlt eine Begründung, weshalb nicht die gesamte LGRB-Gliederung und Nomenklatur verwendet wurde und worauf sich die stratigraphischen Abweichungen zwischen Figur 2 und Nitsch & Franz (2011) stützen. Grundsätzlich ist aber die Verwendung der baden-württembergischen Nomenklatur im Gebiet des «Braunen Doggers» durchaus sinnvoll. Allerdings soll an dieser Stelle nicht unerwähnt bleiben, dass die Benennung der offiziellen baden-württembergischen Einheiten nicht den gültigen Richtlinien für die lithostratigraphische

Nomenklatur (Salvador 1994, vgl. Remane et al. 2005 für die Schweiz) entsprechend erfolgte.

- S. 6, Fig. 2 (s. a. Bemerkungen zu Fig. 3.3-10, NTB 14-02, S. 37): Die Figur 2 dient der räumlichen und zeitlichen Einordnung der beschriebenen Untereinheiten des «Braunen Doggers». Sie stimmt in zahlreichen Punkten nicht mit den Beschreibungen dieser Untereinheiten in Kapitel 2.1 überein, ebenso bestehen Diskrepanzen zur Figur 45, die einen Ausschnitt aus Figur 2 darstellt (und zu Nitsch & Franz 2011). Ausserdem bestehen in Figur 2 darstellerische Unsauberkeiten, die den aufmerksamen Leser verwirren.

Um glaubhaft zu wirken, müssen solche Figuren miteinander und mit der Beschreibung ihres Inhalts genau übereinstimmen.

Einige Bemerkungen zu Details:

- Es handelt sich offenbar um ein Wheeler-Diagramm. Dies sollte in der Figurenlegende erwähnt werden, ebenso, ob die Zeitskala linear ist oder nicht.
 - Unsicherheiten müssen durch einen geeigneten Grad der Schematisierung dargestellt werden, nicht durch wacklige Linien. Keinesfalls sind solche Figuren als Skizzen zu verstehen.
 - Die roten Punkte sind auf horizontalen Linien angeordnet. Eine ungeeignete Darstellung von stratigraphischer Kondensation.
 - Der Begriff «Region «Brauner Dogger»» (bzw. «Gebiet «Brauner Dogger»», s. Legende) wird ausserhalb von Figur 2 nirgends verwendet.
 - Die Abgrenzung des Verbreitungsgebiets des «Braunen Doggers» ist nicht klar (Klingnau-Formation gehört gemäss Darstellung eher dazu, was jedoch nicht stimmt).
 - Der Bezug zwischen der Lage von Formationsgrenzen und Ammonitenbiozonen ist vielerorts nicht klar. Haben «Zwischenpositionen» in der Höhe/Zeit eine Bedeutung (z.B. Grenze Murchisonae-Oolith-Formation/Wedelsandstein-Formation, Grenze Parkinsoni-Württembergica-Schichten/Variansmergel-Formation)? Wenn ja, ist diese Bedeutung in NAB 12-51 nicht beschrieben.
 - Passwang-Formation und «Brauner Dogger» beginnen mancherorts in der Opalinum-Zone.
 - Die Bohrung Hemmental ist nicht eingezeichnet.
 - Es bestehen etliche inhaltliche Abweichungen gegenüber der (allerdings ebenfalls fehlerhaften) Fig. 42 in NAB 12-51, die einen Ausschnitt aus Fig. 2 zeigt.
 - Die Grenze Rothenfluh-Member/Blagdeni-Schichten ist arbiträr, sollte also nicht durch eine Zickzacklinie dargestellt werden, die einen Faziesübergang symbolisiert. Dasselbe gilt auch für die Ostgrenze der Passwang-Formation, solange nichts Anderslautendes publiziert ist.
- S. 6, Kap. 2.1 (Lithostratigraphie, Biostratigraphie, Leitbänke): Die beschriebene Heterochronie des Subfurcaten-Ooliths ist auf Figur 2 nicht ersichtlich.
 - S. 7, Tab. 1: Die Spaltenbezeichnungen sind nicht korrekt. Statt «Namen heute im Gebrauch» sollte es (sinngemäss) heissen «In dieser Publikation verwendete Namen», und «Frühere Bezeichnungen» (davon gab/gibt es viele) sollte präzisiert werden.

- S. 8, Kap. 2.1.2 (Wutach-Formation): Der Ornatenton (laut Nitsch & Franz 2011 Ornatenton-Formation) gehört laut Figur 2 nicht zur Wutach-Formation. Zudem bezieht sich «während» auf die Zeit, somit muss es spätes (statt oberes) Bathonien usw. heissen.
- S. 8, Kap. 2.1.3 (Variansmergel-Formation): Gemäss Figur 2 (und Fig. 45) beginnt die Ablagerung der Variansmergel-Formation nach der Zigzag-Zone. Die Formation umfasst 5 von 8 Ammonitenbiozonen des Bathoniens, also nicht «fast das ganze Bathonien».
- S. 8, Kap. 2.1.4 (Klingnau-Formation): Dass die Klingnau-Formation auch von der Variansmergel-Formation überlagert wird, lässt sich aus Figur 2 nicht unmissverständlich herauslesen.
- S. 8, Kap. 2.1.5 (Parkinsoni-Württembergica-Schichten): Eine Begründung fehlt, weshalb die LGRB-Namen Hamitenton- und Dentalienton-Formation (s. Nitsch & Franz 2011) nicht verwendet wurden. Gemäss Figur 2 beginnt die Ablagerung der Parkinsoni-Württembergica-Schichten nach der Niortense-Zone. (Fig. 45 entspricht hingegen der Aussage in Kap. 2.1.5, wenn auch grafisch nicht eindeutig.)
- S. 9, Kap. 2.1.6 (Humphriesiolith-Formation): Die Aussage, wonach die Humphriesiolith-Formation im oberen/späteren Teil der Sauzei-Zone beginnt, stimmt weder mit Figur 2 noch mit Figur 45 überein. In Figur 2 beginnt die Formation nach der Sauzei-Zone, in Figur 45 beinhaltet die Formation lokal die gesamte Biozone.
- S. 9, Kap. 2.1.8 (Passwang-Formation): Geschichte, Definition und Geltungsbereich der Formation werden nicht korrekt wiedergegeben. Richtig wäre: Die Passwang-Formation wurde auf Beschluss des Stratigraphischen Komitees der Schweiz (SKS 2004) aus der von Burkhalter (1996) definierten Passwang-Alloformation plus den von Gonzalez & Wetzel (1996) definierten Rothenfluh-Schichten konstituiert. Dabei wurden die ursprünglich als «Schichten» aufgestellten Untereinheiten in den Rang von Members erhoben. Zeitlich beginnt die Passwang-Formation nicht in der Murchisonae-Zone, sondern (meist) bereits in der Comptum-Subzone der Opalinum-Zone. Der räumliche Geltungsbereich der Passwang-Formation endet im Osten gemäss Burkhalter (1996) am Unterlauf der Aare. Die (durchaus gerechtfertigte, aber bisher ohne publizierte Begründung erfolgte) Erweiterung dieses Bereiches weiter nach Osten geschah erst durch die Nagra. Einzig im Verbreitungsgebiet der Klingnau-Formation endet die Passwang-Formation oben bereits mit den Humphriesi-Schichten (die Blagdeni-Schichten, laterales Äquivalent des Rothenfluh-Members, sind Teil der Klingnau-Formation) (hierzu existiert eine Bemerkung auf S. 40).
- S. 9, Kap. 2.1.9 (Murchisonae-Oolith-Formation): Der «Dogger β » heisst heute Eisensandstein-Formation (vgl. Kap. 3.3.7; in Fig. 18 korrekt angeschrieben) und die Murchisonae-Schichten Sissach-Member der Passwang-Formation, wobei die Murchisonae-Oolith-Formation gemäss Figur 45 auch das laterale Äquivalent des Hauenstein- und Hirnichopf-Members der Passwang-Formation umfasst. In Weiach beginnt auch die Murchisonae-Oolith-Formation bereits in der höheren Opalinum-Zone (NAB 12-57).

- S. 10, Kap. 2.1.10 (Achdorf-Formation): Diese Formation wurde offenbar überwiegend aufgrund biostratigraphischer Überlegungen aufgestellt, was grundsätzlich nicht korrekt ist. Die Abfolge unterscheidet sich lithologisch kaum vom Opalinus-Ton und sollte besser in diesen gestellt werden. Diese Formation ist unnötig und sollte nicht verwendet werden, was für die Nagra unproblematisch sein sollte, da sie ohnehin ausserhalb des (allerdings schlecht definierten) Verbreitungsgebietes des «Braunen Doggers» liegt. Figur 2 gibt die stratigraphische Reichweite der Achdorf-Formation nicht korrekt wieder.
- S. 36, Kap.3.4.4 (Aufschlüsse Bad Lostorf – Ängi): Anstelle von Sissach-Formation ist wohl Passwang-Formation gemeint (oder das Sissach-Member der Passwang-Formation?).
- S. 39, Fig. 23, 3. Legendenspalte: Im Gebiet Eichberg/Wutach sind gemäss Figur 2 die Parkinsoni-Württembergica-Schichten durch die Hamitenton- und die Dentalienton-Formation ersetzt.
- S. 67, Fig. 45: Diese Figur stellt einen Ausschnitt aus Figur 2 dar. Wie bei Figur 2 beschrieben, stimmen die beiden Figuren stellenweise inhaltlich nicht überein, ebenso bestehen Diskrepanzen zur Beschreibung der lithostratigraphischen Einheiten in Kapitel 2. Das grafische Konzept von Figur 45 ist grundsätzlich besser als dasjenige von Figur 2 (siehe dort), jedoch auch nicht einwandfrei. So ist insbesondere nicht klar, ob es sich bei den teilweise nicht mit den Biozonengrenzen übereinstimmenden Grenzen der lithostratigraphischen Grenzen um eine bloss darstellerische Ungenauigkeit handelt oder ob hier bewusste Aussagen gemacht werden. Allerdings wäre in letzterem Fall nicht klar, worauf diese beruhen.

4.3.3 Varia

- S. 9, Kap. 2.1.7 (Wedelsandstein-Formation): In der Schweiz heisst schluffig siltig (Begriff wird andernorts im Bericht korrekt verwendet).
- S. 11, Kap. 3.1 (Einleitung): P. Bitterli-Dreher und R. Burkhalter haben unabhängig voneinander einen Expertenbericht verfasst. «Bitterli-Dreher & Burkhalter (2011)» ist kein korrektes Zitat (s. Burkhalter 2011).
- S. 49–52, Kap. 4 (Regionale Profil-Korrelation), Fig. 29–32 sowie Beil. 6, 7: Eine Darstellung mit massstäblichem seitlichem Abstand zwischen den Profilen wäre wünschenswert.
- S. 53, Kap. 5.1 (Beispiele für den Aufbau sedimentärer Sequenzen): In der zitierten Arbeit von Burkhalter (1996) steht, dass in der Passwang-(Allo)Formation einzelne Parasequenzen oder Teile davon fehlen können. Dass Sandstein und Tonstein zeitgleich nebeneinander abgelagert wurden, steht dort nicht. Ausserdem enthält die Passwang-Formation gemäss Burkhalter (1996) keinen Sandstein, sondern Sandkalk, sandigen Mergel usw.

- S. 63, Kap. 5.3.1, Unterkap. Geringmächtige, sandige, biotritische Kalksteinbänke im «Braunen Dogger», 2. Abschn.: In NAB 13-22 ist nicht beschrieben, wie weit die harten Rippen im Gelände verfolgt werden können.
- S. 66ff., Kap. 6.2 (Sedimentation und Zeit): In der nach der Publikation von NAB 12-51 erschienenen neuesten Ausgabe der International Stratigraphic Chart, v. 2015/01 weichen die absoluten [nicht: chronostratigraphischen] Alter der Stufengrenzen des Mittelern Juras teilweise deutlich von den älteren Werten ab, wobei die Dauer des Mittleren Juras neu mit 10,6 Ma angegeben wird, was rund 74% des bisherigen Wertes sind. Die grösste Kürzung erfuhr das Bajocien (von 4,0 auf 2,0 Ma).

Als Referenz für eine Beurteilung, ob die Beschreibung der Lithologie des «Braunen Doggers» und der Passwang-Formation im Osten ihres Verbreitungsgebiets (gemäss Burkhalter 1996) in den nachfolgend publizierten NAB und NTB vollständig und genau wiedergegeben ist, dienen die beiden folgenden Textauszüge aus NAB 12-51:

- «Brauner Dogger»: «Der «Braune Dogger» besteht grösstenteils aus dunkelgrauen, siltigen bis feinsandigen, leicht glimmerhaltigen Tonmergeln, selten kalkigen Tonsteinen. [...] Einzelne Abschnitte, die wenige Meter mächtig sind, enthalten bräunliche cm-grosse Siderit-Konkretionen. Selten sind Sandmergel mit 40–60% detritischem Quarz vorhanden. [...] Eingeschaltet in die Tonmergel sind [...]: 1. Wenige Biomikritische Kalkbänke [...], 2. Sandige, biotritische [besser: sandig-biotritische] Kalksteine und 3. Eisenoolithe.» (S. 19f., Kap. 3.2.4)
- Passwang-Formation im Osten ihres Verbreitungsgebiets: «[Die Passwang-Formation] ist beidseits der Aare mergelig, sandig und biotritisch mit eisenoolithischen Horizonten entwickelt. [...] die mergeligen, sandigen Einheiten der Passwang-Formation [...]» (S. 36, Kap. 3.4.3, 2. u. 3. Abschn.)

4.4 NAB 14-58 Reflexionsseismische Analyse des «Braunen Doggers»

Die in NAB 14-58 präsentierte Studie ist eine sinnvolle Ergänzung bzw. Weiterführung der in NAB 12-51 vorgestellten Arbeiten. Sie zeigt, dass im Untersuchungsgebiet Sedimentkörper vorkommen können, deren laterale Ausdehnung geringer ist als die Probendichte (d.h. der Abstand zwischen Bohrungen bzw. Aufschlüssen). Die Studie zeigt aber auch klar die Limitationen der angewandten Methode auf, und entsprechend sind die Ergebnisse mit bedeutenden Unsicherheiten behaftet.

Die Natur der festgestellten «Schwellenzone» kann nur mittels Bohrung(en) ermittelt werden. Auch wenn Hinweise bestehen, dass es sich bei der «Schwellenzone» um einen (oder mehrere?) unabhängig von synsedimentärer Tektonik gebildeten Sedimentkörper handeln könnte, so sollte diese Vermutung nicht zu einseitig gewichtet werden (s. S. 43), umso weniger, als auch für letzteren Mechanismus im Untersuchungsgebiet zahlreiche Hinweise vorhanden sind (s. S. 41).

4.4.1 Wissenschaftliche Punkte

- S. 40, Kap. 4.2.1 (Ablagerung in synsedimentären Senken: Strukturen und Mächtigkeitstrends), 3. Abschn. (s. a. Bemerkung zu NAB 12-51): Die genaue Korrelation zwischen Faziesübergängen im Deckgebirge und Störungen im Grundgebirge erfordert in dem vom alpinen Fernschub betroffenen Gebiet eine solide palinspastische Rekonstruktion des Deckgebirges. Eine Retrodeformation des Deckgebirges wurde bisher nur ansatzweise vorgenommen (Burkhalter 1993, 1996, Wetzler et al. 2003). Aussagen zur Korrelation von Störungen sind deshalb eher spekulativ.
- S. 42ff., Kap. 4.2.2 (Interpretation der «Schwellenzone»): Es stellt sich die Frage, inwieweit bei der gegebenen Auflösung der seismischen Daten von fehlender Beobachtbarkeit auf Nichtvorhandensein geschlossen werden darf. Konkret betrifft das mögliche Strukturen im Liegenden der «Schwellenzone». Es kann sich bei der «Schwellenzone» durchaus um einen unabhängig von differentieller Subsidenz gebildeten Sedimentkörper mit positivem Relief (Barre) handeln, wie sie in Süddeutschland auftreten, doch sollte die Interpretation der «Schwellenzone» auch synsedimentäre Bewegungen im Untergrund zulassen, zumal Anzeichen für letztere im Untersuchungsgebiet vorhanden sind. (Dasselbe gilt für Kap. 5 (Schlussfolgerungen), S. 48, 1. u. 2. Abschnitt.)

Aus wissenschaftlicher Sicht ist dies der wichtigste Kritikpunkt an NAB 14-58.

- S. 44, Kap. 4.2.2 (Interpretation der «Schwellenzone»), 2. Abschn.: Obwohl nicht explizit erwähnt, bezieht sich der Satz «Hinweise auf Sandbarren finden sich auch im Aargauer Jura» wohl auf die Passwang-Formation. Schrägschichtung ist untypisch für diese Einheit, da selten und nur lokal. Am deutlichsten ist sie noch in der Minette-Fazies des Sissach-Members im Gebiet des Blauen BL entwickelt (Burkhalter 1993, 1996). Der schrägschichtete Eisenoolith in der Bohrung Riniken stellt eine Sonderfazies im Verbreitungsgebiet der Formation dar, und bei der Spatkalkbank an der Basis des Sissach-Members im Weissensteingebiet fehlen Hinweise auf eine Ablagerung als Sandbarre. Hingegen könnte es sich bei den beiden Erzlagern bei der Typlokalität des Herznach-Members (Ifenthal-Formation) um eisenoolithische Sandbarren handeln,
- S. 48, Kap. 5 (Schlussfolgerungen), 1. Abschn.: Siehe dazu Bemerkungen zu Kapitel 5.3.2 (Eisenoolithe), S. 63f. in NAB 12-51.

4.4.2 Nomenklatorische und formale Punkte

Wie in Kapitel 3.1 beschrieben, haben die in NAB 14-58 festgestellten formalen Mängel (Gebrauch ungenau definierter Begriffe, «stillschweigende» Umdefinition der Stratigraphie eines wichtigen Bohrprofils) keinen Einfluss auf die Qualität der präsentierten Resultate.

- S. 1, Kap. 1 (Einleitung), 1. Abschn.: Es ist an der Zeit, das Verbreitungsgebiet bzw. den Geltungsbereich des «Braunen Doggers» genau zu definieren, und sei es auch mit arbiträren Grenzen.

- S. 3, Fig. 2: Diese Figur entspricht Figur 2 in NAB 12-51, allerdings wird nicht erwähnt, dass sie gegenüber NAB 12-51 leicht verändert wurde. Siehe auch Bemerkungen zu Figur 2 und Figur 45 in NAB 12-51 und zu Figur 3.3-10 in NTB 14-02.
- S. 3ff., Kap. 1.2 (Stratigraphische Übersicht): Die in der Beschreibung verwendeten Begriffe «Faziesraum West» und «Faziesraum Ost» sind in Figur 2 nicht vorhanden, umgekehrt geht aus der Beschreibung nicht klar hervor, ob der «Faziesraum Ost» und die «Region «Brauner Dogger»» deckungsgleich sind. Definition und Umfang der Passwang-Formation sind nicht korrekt zitiert bzw. wiedergegeben (s. Bemerkung zu Kap. 2.1.8 in NAB 12-51). Plattformfazies, Übergangsfazies und Beckenfazies sind durchaus übliche und verständliche Begriffe und brauchen nicht in Anführungszeichen gesetzt zu werden.
- S. 34, Fig. 15 (auch Beil. 1): Der laterale Geltungsbereich der Passwang-Formation endete im Osten gemäss Burkhalter (1996) am Unterlauf der Aare. Die (durchaus gerechtfertigte) Erweiterung dieses Bereiches weiter nach Osten erfolgte erst durch die Nagra (s. Bemerkungen zu NAB 12.51), eine Begründung und Beschreibung wurde aber meines Wissens bisher nicht publiziert. Es ist deshalb nicht nachvollziehbar, weshalb der Wechsel der seismischen Fazies E zur seismischen Fazies B mit dem (neuen) Ostende der Passwang-Formation gleichgesetzt wird.
- Beil. 7: Die stratigraphische Gliederung des Profils der Bohrung Riniken weicht von derjenigen in NAB 12-51 ab (Fig. 24, Beil. 6; s. a. Matter et al. 1987, Diebold et al. 2006), ohne dass eine Begründung hierfür gegeben wird. In Beilage 7 wurde der stratigraphische Abschnitt, der bislang (inkl. NAB 12-51) zum Hauptrogenstein (Plattformfazies, nahe am Plattformrand) gestellt wurde, der Klingnau-Formation (Beckenrandfazies) zugerechnet. Es ist zu wünschen, dass die Nagra derartige stratigraphische Uminterpretationen, aber beispielsweise auch die Erweiterung des Geltungsbereichs der Passwang-Formation (s. o.), erst nach vorheriger Absprache mit dem Schweizerischen Komitee für Stratigraphie und der Landesgeologie vornimmt und auch ausserhalb der Nagra-Berichte publiziert. Ausserdem ist die stratigraphische Gliederung in Beilage 7 fehlerhaft. Das Rothenfluh-Member liegt nur im Verbreitungsgebiet des Hauptrogensteins vor. Sein laterales Äquivalent im Verbreitungsgebiet der Klingnau-Formation heisst Blagdeni-Schichten (und gehört, wie richtig angegeben, zur Klingnau-Formation) (s. a. NAB 12-51, Kap. 2.1.8, S. 9).

4.4.3 Varia

- S. 1, Kap. 1 (Einleitung), 1. Abschn.: Es ist ausschliesslich der nomenklatorisch zwar nicht korrekte, aber brauchbare, verständliche und unverfängliche Name «Brauner Dogger» zu verwenden. «Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»» ist ein inhaltlich nicht korrekter Suggestivname. (Diese Bemerkung gilt für sämtliche Publikationen, in denen die Bezeichnung «Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»» verwendet wird.)
- S. 40, Kap. 4.2.1 (Ablagerung in synsedimentären Senken: Strukturen und Mächtigkeitstrends), 1. Abschn.: Zitat der Arbeit von Burkhalter (1993) fehlt.

- S. 48, Kap. 5. (Schlussfolgerungen), 2. Abschn.: Zitat stimmt so nicht. Burkhalter (1993, 1996) hat das Vorhandensein dieser Strukturen in seinem Untersuchungsgebiet postuliert, sich aber nicht zu deren Verlauf östlich davon geäußert.

5. Detailkommentare zu den begutachteten Technischen Berichten der Nagra (NTB)

5.1 NTB 14-02: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier II: sedimentologische und tektonische Verhältnisse (Kap. 3.3.3 u. 3.4)

Von den begutachteten NAB in den NTB 14-02 übernommene Punkte, die bereits bei den entsprechenden Bemerkungen zu den NAB behandelt wurden, werden hier noch einmal aufgelistet.

5.1.1 Wissenschaftliche Punkte

- S. 5, Kap. 1.3.1.2 (Mesozoikum), 2. Abschn.: Es fehlen Burkhalter (1993) und Burkhalter (1996) als Referenzen für synsedimentäre Tektonik im beschriebenen Gebiet.
- S. 35, Kap. 3.3.3 (‹Brauner Dogger› und westliche Äquivalente), 2. Abschn.: Die Passwang-Formation ist nicht mehrheitlich tonig ausgebildet und gehört folglich ebenso zu den Ausnahmen.
- S. 39, Kap. 3.3.3, Unterkap. Dimensionen von Sandkörpern, 1. Abschn.: Im Sissach-Member finden sich mit Ausnahme der Minette-Fazies vom Blauen BL keine nennenswerten Hinweise auf quarzsandige oder kalkarenitische Barren (s. a. Bemerkung zu NAB 14-58, S. 44, 2. Abschn.) – zudem ist nicht klar, wo diese Hinweise in Fig. 3.3-12 zu sehen sind.
- S. 39, Kap. 3.3.3, Unterkap. Dimensionen von Sandkörpern, 1. Abschn., weiter unten: Der Einfluss differenzieller Subsidenz bzw. synsedimentärer Tektonik auf die Verteilung von Sedimentkörpern darf nicht ausgeklammert werden.
- S. 39, Kap. 3.3.3, Unterkap. Dimensionen von Sandkörpern, 2. Abschn.: Die in NAB 12-51 gemachten Vergleiche mit ähnlichen Ablagerungsräumen sind sehr knapp gehalten (s. Bemerkung zu NAB 12-51, Kap. 5.3.1, Unterkap. Geringmächtige, sandige, biotritische Kalksteinbänke im ‹Braunen Dogger›, 3. Abschn.). Der Wert von bis zu 20 km für die laterale Ausdehnung von ‹harten Bänken› entbehrt einer soliden Grundlage.
- S. 39, Kap. 3.3.3, Unterkap. Dimensionen von Sandkörpern, 3. Abschn.: Die zitierte Figur 8 in NAB 12-51 sagt nichts aus über die laterale Kontinuität von Eisenoolithhorizonten (oder sie ist missverständlich).
- S. 39, Kap. 3.3.3, Unterkap. Dimensionen von Sandkörpern, 3. Abschn., weiter unten: Eisenoolithhorizonte (bzw. eisenoolithische Intervalle) sind unbedingt getrennt von

sandig-kalkigen Bänken zu betrachten (s. Bemerkungen zu NAB 12-51, Kap. 5.3.2, S. 63f.).

5.1.2 Nomenklatorische und formale Punkte

- S. 35, Kap. 3.3.3 (‹Brauner Dogger› und westliche Äquivalente), 2. u. 3. Abschn. sowie S. 36: Im zitierten NAB 12-51 ist eher implizit von diesen Faziesräumen die Rede, in NAB 14-58 bestehen dieselben Unklarheiten wie hier beschrieben, Fig. 3.3-1 zeigt eigentlich drei gleichwertige Faziesräume und in Fig. 3.3-10 sind die beschriebenen Faziesräume nicht zu finden. Ob der ‹Braune Dogger› im gesamten ‹Faziesraum Ost› auftritt oder nicht, geht weder aus der Beschreibung noch aus Fig. 3.3-10 hervor, sondern muss von andernorts zusammengesucht werden (z.B. Beilage A2-4 oder NTB 14-01, S. 113). Fazit: Es herrscht Unklarheit bei Definition und Gebrauch wichtiger (zentraler) Begriffe. Es sollten drei Faziesräume (Plattformfazies, Übergangsfazies und Beckenfazies würden sich als klare, übliche Bezeichnungen nach wie vor anbieten) ausgeschieden, klar definiert und eindeutig voneinander abgegrenzt werden (wenn nicht anders möglich auch mit arbiträren, dafür klaren Grenzen). (Falls man bei zwei Faziesräumen bleiben will, sollte die Zuordnung und die hierarchische Stellung der Übergangsfazies klar sein.) Im Speziellen sollte auch der Geltungsbereich des ‹Braunen Doggers› und seine Zuordnung zu einem der Faziesräume klar definiert und beschrieben werden.
- S. 37, Fig. 3.3-10: Diese Figur entspricht Figur 2 in NAB 12-51, allerdings wird nicht erwähnt, dass sie gegenüber NAB 12-51 leicht verändert wurde (vgl. Fig. 2 in NAB 14-58). In Fig. 3.3-10 bestehen dieselben darstellerischen Unsauberkeiten wie in der älteren Fassung, die den aufmerksamen Leser verwirren. Um glaubhaft zu wirken, müssen solche Figuren miteinander und mit der Beschreibung ihres Inhalts genau übereinstimmen.

Einige Bemerkungen zu Details:

- Es handelt sich offenbar um ein Wheeler-Diagramm. Dies sollte in der Figurenlegende erwähnt werden, ebenso, ob die Zeitskala linear ist oder nicht.
- Unsicherheiten müssen durch einen geeigneten Grad der Schematisierung dargestellt werden, nicht durch wacklige Linien. Keinesfalls sind solche Figuren als Skizzen zu verstehen.
- Die roten Punkte sind auf horizontalen Linien angeordnet. Eine ungeeignete Darstellung von stratigraphischer Kondensation.
- Der Begriff ‹Region ‹Brauner Dogger›› wird nirgends sonst verwendet.
- Die Abgrenzung des Verbreitungsgebiets des ‹Braunen Doggers› ist nicht klar (Klingnau-Formation gehört gemäss Darstellung eher dazu, was jedoch nicht stimmt).
- Der Bezug zwischen der Lage von Formationsgrenzen und Ammonitenbiozonen ist vielerorts nicht klar. Haben ‹Zwischenpositionen› in der Höhe/Zeit eine Bedeutung (z.B. Grenze Murchisonae-Oolith-Formation/Wedelsandstein-Formation, Grenze Parkinsoni-Württembergica-Schichten/Variansmergel-Formation)? (Wenn ja, ist diese in NAB 12-51 nicht beschrieben.)

- Passwang-Formation und «Brauner Dogger» beginnen vielerorts in der Opalinum-Zone.
 - Die Bohrung Hemmental ist nicht eingezeichnet.
 - Die Grenze Rothenfluh-Member/Blagdeni-Schichten ist arbiträr, sollte also nicht durch eine Zickzacklinie dargestellt werden, die einen Faziesübergang symbolisiert. Dasselbe gilt auch für die Ostgrenze der Passwang-Formation, solange nichts Gegenteiliges publiziert ist.
- S. 54, Kap. 3.4.4 (Jura Ost), 3. Abschn.: Die Aussage, wonach in der Bohrung Riniken über der Passwang-Formation bereits die Klingnau-Formation folgt, beruht auf einer ohne Begründung erfolgten Umdeutung des Bohrprofils (Beil. 7 in NAB 14-58, s. a. Bemerkungen hierzu, oben). In der ursprünglichen Aufnahme der Bohrung wurde der betreffende stratigraphische Abschnitt zum Hauptrogenstein gestellt (Matter et al. 1987, s. a. Diebold et al. 2006 und NAB 12-51). Eine solche «stillschweigende» Umdeutung ist problematisch, zumal sie die Frage aufwirft, ob hier nicht versucht wurde, den Tongehalt des betreffenden stratigraphischen Abschnitts (Randfazies des Hauptrogensteins) in den Vordergrund zu stellen.

5.1.3 Varia

- S. 5, Kap. 1.3.1.2 (Mesozoikum), 2. Abschn.: In Anbetracht der in NAB 12-51 und NAB 14-58 präsentierten Resultate sowie der hier zitierten weiteren Arbeiten erstaunt es, dass hier nur noch von «möglicherweise unter dem Einfluss von synsedimentärer Tektonik» stehender Subsidenz die Rede ist.
- S. 5, Kap. 1.3.1.2 (Mesozoikum), 2. Abschn., weiter unten: «... Einschaltungen von Mergel-, Silt- und Sandsteinen sowie sehr geringmächtigen Eisenoolithen ...». Wo im zitierten NAB 12-51 steht diese Ungleichgewichtung der Mächtigkeit von Eisenoolithen und derjenigen der anderen Einschaltungen?
- S. 35, Kap. 3.3.3 («Brauner Dogger» und westliche Äquivalente), 1. Abschn.: Es ist ausschliesslich der nomenklatorisch zwar nicht korrekte, aber brauchbare, verständliche und neutrale Name «Brauner Dogger» zu verwenden. «Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»» ist ein inhaltlich nicht korrekter Suggestivname (vgl. Beil. 3-1, A2-4, A3-4). (Diese Bemerkung gilt für sämtliche Publikationen, in denen die Bezeichnung «Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»» verwendet wird.)
- S. 36, Kap. 3.3.3 («Brauner Dogger» und westliche Äquivalente), unterste Zeile: In NAB 13-22 stehen explizit keine detaillierten Beschreibungen der Formationen.
- S. 38, Kap. 3.3.3, Unterkap. Ablagerungsraum und Genese, 1. Abschn.: Die Bildungsdauer des «Braunen Doggers» müsste gemäss der bei der Publikation von NTB 14-02 noch nicht zur Verfügung stehenden neuesten Ausgabe der International Stratigraphic Chart, v. 2015/01 aktualisiert werden
- S. 39, Kap. 3.3.3, Unterkap. Dimensionen von Sedimentkörpern, 1. Abschn.: Burkhalter et al. (1997) beschreiben den «Dogger β», der heute Eisensandstein-Formation (und nicht Murchisonae-Oolith-Formation) heisst.

5.2 NTB 14-01: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Textband (Kap. 3.3.2)

Von den begutachteten NAB in den NTB 14-01 übernommene Punkte, die bereits bei den entsprechenden Bemerkungen zu den NAB behandelt wurden, werden hier noch einmal aufgelistet.

Das Kommentieren der Bewertungsgrundsätze, die in NTB 14-01, Kap. 3.3.2 bei der Qualifizierung der verschiedenen Kriterien angewendet wurde, ist nicht Teil des Auftrages des ENSI an swisstopo. Es erstaunt aber, dass für die Nagra bei diesem Vorgang nicht der jeweils schwächste Punkt (Indikator) massgebend für die Beurteilung eines Kriteriums ist, sondern der Durchschnitt der einzelnen Punkte.

5.2.1 Wissenschaftliche Punkte

- S. 114, Kap. Hydraulische Barrierenwirkung: Eisenoolithhorizonte werden hier (und andernorts in den begutachteten Kapiteln von NTB 14-01, z. B. S. 119, 1. Abschn.) zu den Sandkalkbänken gezählt, was beim heutigen Kenntnisstand eine nicht zulässige Vereinfachung ist. Eisenoolithhorizonte (bzw. eisenoolithische Intervalle) sind getrennt von sandig-biotritischen Bänken (Sandkalkbänken) zu betrachten (s. Bemerkungen zu NAB 12-51, Kap. 5.3.2, S. 63f.). Laterale Ausdehnung der Sandkalkbänke und Eisenoolithhorizonte sowie eine mögliche Interconnectedness werden hier nicht thematisiert.
- S. 115, Kap. Geochemische Bedingungen: In diesem Kapitel werden nur die «tonreichsten Abfolgen» des «Braunen Doggers» bewertet (ohne dass genau beschrieben wird, welche Untereinheiten des «Braunen Doggers» damit gemeint sind). Zu den geochemischen Bedingungen in den weniger tonreichen Abfolgen steht nichts.
- S. 118, Kap. Nutzungskonflikte: Hier wurde das Vorhandensein der in NAB 14-58 beschriebenen «Schwellenzone» nicht berücksichtigt, deren Lithologie nicht bekannt ist und durch eine Bohrung ermittelt werden sollte.

5.2.2 Nomenklatorische und formale Punkte

- S. 114, Kap. Räumliche Ausdehnung: Hier ist mit «räumlicher Ausdehnung» die Mächtigkeit, d.h. nur die vertikale räumliche Ausdehnung gemeint (vgl. z. B. Tab. 2.3-7). Eine unglückliche Wortwahl, die offenbar auch den/die Autor(en) dieses Kapitels verwirrt.

5.2.3 Varia

- S. 113, Kap. 3.3.2 (Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»): Es ist ausschliesslich der nomenklatorisch zwar nicht korrekte, aber brauchbare, verständliche und unverfängliche Name «Brauner Dogger» zu verwenden. «Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»» ist ein inhaltlich nicht korrekter Suggestivname (vgl. Fig. 3.1-1). (Diese Bemerkung gilt für

sämtliche Publikationen, in denen die Bezeichnung «Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger» verwendet wird.)

- S. 113, Kap. 3.3.2 (Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»), 1. Abschn.: Hier steht eine gute Charakterisierung der Lithologien des «Braunen Doggers», die überdies eine weitere Bestätigung liefert, dass der Zusatz «Tongesteinsabfolge» nicht gerechtfertigt ist.
- S. 113, Kap. 3.3.2 (Tongesteinsabfolge «Brauner Dogger»), 2. Abschn.: Der Satz «Dort [in den Standortgebieten Zürich Nordost und Nördlich Lägern] weist der «Braune Dogger» die erforderliche Mächtigkeit [...] sowie eine ausreichende laterale Ausdehnung auf.» ist missverständlich formuliert.
- S. 113, Fussnote 82: Aussage präzisieren.

6. Zitierte Literatur

Burkhalter, R.M. (1993): Die Passwang-Alloformation (unteres Aalenien bis unteres Bajocien) im zentralen und nördlichen Schweizer Jura – Sequenzstratigraphie, synsedimentäre Tektonik, Genese von Eisenoolithen und -stromatolithen. – Diss. Univ. Bern.

Burkhalter, R.M. (1994): Ooidal ironstones and ferruginous microbialites: origin and relation to sequence stratigraphy (Aalenian and Bajocian, Swiss Jura mountains). – *Sedimentology* 42, 57–74.

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. (2011): Der «Braune Dogger». Beurteilung des Kenntnisstandes und der geplanten weiteren Untersuchungen der Nagra zuhanden des ENSI, gestützt auf NTB 10-01. In: ENSI (Hrsg.): Beurteilung der von der Nagra geplanten Untersuchungen zum Wirtgestein «Brauner Dogger» (S. 37–45). – ENSI 33/124.

Burkhalter, R.M., Bläsi, H.-R. & Feist-Burkhard, S. (1997): Der «Dogger β » 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 1:25000*, Erläut. 110.

ENSI (2015): Sachplan geologische Tiefenlager, Etappe 2: Gutachten des ENSI zum Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete. Wegleitung für Experten des ENSI. – *Memo ENSI*, 30. 1. 2015.

Geyer, O.F. & Gwinner, M.P. (1986): *Geologie von Baden-Württemberg*. (3. Aufl.). – Schweizerbart, Stuttgart

Gonzalez, R. (1993): Die Hauptrogenstein-Formation der Nordschweiz. – Diss. Univ. Basel.

Gonzalez, R. & Wetzel, A. (1996): Stratigraphy and paleogeography of the Hauptrogenstein and Klingnau formations (middle Bajocian to late Bathonian), northern Switzerland. – *Eclogae geol. Helv.* 89/2, 695–720.

International Stratigraphic Chart, v. 2015/01 (www.stratigraphy.org/index.php/ics-chart-timescale).

Matter, A., Peters, T., Isenschmid, C., Bläsi, H.-R. & Ziegler, H.-J. (1987): Sondierbohrung Riniken, Geologie. – Nagra tech. Ber. NTB 86-02 (auch: Geol. Ber. Landeshydrol. u. -geol. 5).

Nitsch, E. & Franz, M. (2011): Lithostratigraphische Übersicht des Mitteljuras in Baden-Württemberg [pdf]. – Landesanst. Geol. Rohst. Bergbau [LGRB], Bad.-Württemb. (www.lgrb-bw.de).

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 zu stratigraphischen Nomenklatur. – *Eclogae geol. Helv.* 98/2, 385–405.

Salvador, A. (1994): International stratigraphic guide. A guide to stratigraphic classification, terminology, and procedure. – *Geol. Soc. Amer.*

SKS [Schweizerisches Komitee für Stratigraphie] (2004): Lithostratigraphie. Richtlinien zur Anwendung der lithostratigraphischen Nomenklatur. – *GEOForumCH actuel* 19, 8–15.

Wetzel, A., Allenbach, R. & Allia, V. (2003): Reactivated basement structures affecting the sedimentary facies in a tectonically «quiescent» epicontinental basin: an example from NW Switzerland. – *Sediment. Geol.* 157, 153–172.

Die folgenden Berichte der Nagra werden im Text unter ihren NAB- bzw. NTB-Nummern zitiert:

Nagra NAB 12-51:

Bläsi, H.R., Deplazes, G., Schnellmann, M. & Traber, D. (2013): Sedimentologie und Stratigraphie des «Braunen Doggers» und seiner westlichen Äquivalente. – *Nagra Arbeitsber.* NAB 12-51.

Nagra NAB 12-57:

Feist-Burkhard, S. (2012): Palynostratigraphie des Mittleren Jura. Teil I – Bohrungen Benken, Schlattingen-1 und Weiach sowie einige Aufschlussproben der Lägern und deren Korrelation. Teil II – Bohrung Riniken, Aufschlussproben Bernhardholz, Dangstetten und Lägern. – *Nagra Arbeitsber.* NAB 12-57.

Nagra NAB 13-22:

Heuberger, S., Naef, H. & Büchi, M. (2013): Aufschlussdatenbank des «Braunen Doggers» in den Perimetern Lägern, Klingnau–Zurzach, Küssaberg– Dangstetten (D) und Rechberg (D). – *Nagra Arbeitsber.* NAB 13-22.

Nagra NAB 14-58:

Meier, B. & Deplazes, G. (2014): Reflexionsseismische Analyse des «Braunen Doggers». – *Nagra Arbeitsber.* NAB 14-58.

Nagra NTB 14-01:

Nagra (2014a): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Textband. – *Nagra tech. Ber.* NTB 14-01.

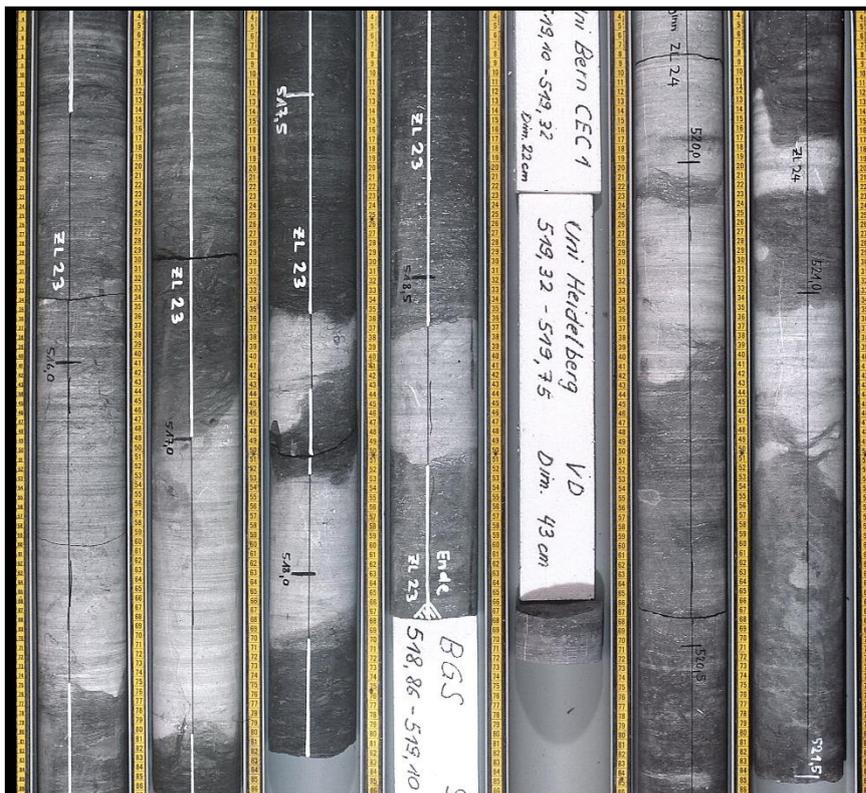
Nagra NTB 14-02-II:

Nagra (2014b): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier II: sedimentologische und tektonische Verhältnisse. – *Nagra tech. Ber.* NTB 14-02.

Expertenbericht Dr. Peter Bitterli-Dreher

Beurteilung der sedimentologischen und stratigraphischen Aspekte des „Braunen Doggers“ in den Berichten der Nagra zu den Standortgebieten „Nördlich Lägern“ und „Zürich Nordost“.

Expertenbericht zuhanden des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates, ENSI



Bohrkerne aus der Bohrung Benken. Sie zeigen sandige Tonmergel des Wedelsandsteins mit eingeschalteten, knauerigen Kalkbänken (hell), die als potentielle Wasserfließpfade im „Braunen Doggers“ gelten.

Endingen, Dezember 2015

Zusammenfassung

Unter den Gesteinen, die bei der geologischen Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle in der Schweiz untersucht werden, ist auch eine Gesteinsabfolge, die als „Brauner Dogger“ bezeichnet wird. Es handelt sich um tonreiche Gesteinsschichten, welche vom unteren Aaretal bis in die Region Schaffhausen vorkommen und auf den geologischen Karten mit Brauntönen dargestellt werden. Die tonreichsten Abfolgen des „Braunen Doggers“, d.h. die Parkinsoni-Württembergica-Schichten, zeigen Tongehalte im Bereich von 45-55%. Die Nagra hat die Abfolge sedimentologisch und stratigraphisch untersucht. Mit Hilfe von Palynomorphen konnte die Abfolge präziser datiert und die chronostratigraphischen Grenzen in den Bohrungen korreliert werden. Die Abfolgen zeigen einen zyklischen Aufbau, der auf Meeresspielschwankungen zurückgeführt wird. Von besonderem Interesse sind eingeschaltete, tonarme „harte Bänke“, weil sie potentiell Wasser führend sein könnten. Es handelt sich einerseits um biomikritische und sandige Kalkbänke, andererseits um eisenoolithische Kalke oder Kalkmergel. Da die Genese der beiden Gruppen unterschiedlich ist, müssen sie separat interpretiert werden. Ihre Ausdehnung im Untersuchungsgebiet ist nur unvollständig bekannt, es wurde darum versucht mit Beispielen aus der Literatur vergleichbare Datensätze zu gewinnen. Die Korrelation der „harten Bänke“ zwischen den Bohrungen gelang nicht, da die Bohrungen zu weit auseinander liegen. Bei Bohrungen im Rahmen von Standortabklärungen, die wesentlich näher beieinander liegen, könnte dies jedoch gelingen.

Mit einer gezielten Auswertung von Seismik-Linien wurde beabsichtigt, die punktuellen Beobachtungen aus Aufschlüssen und Bohrungen zu einem räumlichen Bild zu kombinieren. Dazu wurde versucht, die bestehenden Seismik-Interpretationen durch zusätzliche seismische Horizonte feiner zu unterteilen. Dies gelang jedoch nur gebietsweise. Die Abfolge wurde in sechs seismische Faziestypen unterteilt werden, die unterschiedliche seismische Eigenschaften aufweisen. Da nicht alle Faziestypen mit Bohrungen erschlossen sind, ist bei Einzelnen der lithologische Aufbau nicht klar. Die Auswertung der seismischen Profile ergab keine Hinweise auf Nord-Süd verlaufende Störungen, hingegen scheinen die Randzonen des Permokarbondrogens die Sedimentation der jüngeren Ablagerungen beeinflusst zu haben.

Das Untersuchungsgebiet lag zur Jurazeit östlich einer ausgedehnten Karbonatplattform, auf der zeitweise Seichtwasser-Ablagerungen entstanden. Im östlich anschliessenden Sedimentationsbecken wurden bei grösserer Wassertiefe vor allem feinkörnige Ablagerungen gebildet. Die sedimentologische Bearbeitung und vor allem die Mächtigkeitsverteilung gleichaltriger Schichten weist auf einen gegliederten Sedimentationsraum. Die dabei beobachteten Fazies- und Mächtigkeits-Unterschiede wurden teilweise auf Nord-Süd verlaufende synsedimentäre Bruchzonen zurückgeführt, was aber die seismischen Resultate, wie erwähnt, nicht bestätigen. Ein wesentliches Element der Sedimentation waren vermutlich wandernde submarine Sandwälle, die das Relief des Meeresbodens bestimmten. Sie könnten der transparenten seismischen Fazies A entsprechen, die bislang nicht mit Bohrungen beprobt worden ist.

Die Untersuchungen der Nagra wurden umfassend angegangen und umfangreiche Datensätze gewonnen. Das sedimentologische Modell beruht allerdings weitgehend auf den 3 Tiefbohrungen Weiach, Benken und Schlattigen. Die Untersuchungsergebnisse sind korrekt in den zusammenfassenden technischen Bericht NTB 14-02 eingeflossen. Das sedimentologische Kernproblem des Gebietes ist die Charakterisierung der „harten Bänke“ im Hinblick auf ihre Verbreitung und Wasserführung. Dazu wären Bohrungen mit geringerem Abstand nötig. Aus gegenwärtiger Sicht kann die Frage nach der Explorierbarkeit des „Braunen Doggers“ vorsichtig positiv beantwortet werden.

7. Einleitung

Bei der Auswahl geeigneter Standortgebiete für geologische Tiefenlager sind die Gesteinseigenschaften von entscheidender Bedeutung. Aus der Palette möglicher Gesteinsschichten hat die Nagra geeignete ausgewählt und einer genaueren Prüfung unterzogen. Darunter befindet sich auch eine Abfolge des mittleren Juras, die verhältnismässig tonreich ist und in den Standortgebieten „Nördlich Lägern“ und „Zürich Nordost“ auftritt. Die Nagra definiert die entsprechende Gesteinsabfolge wie folgt (Nagra, 2014b, p.35):

Mit dem Begriff Tongesteinsabfolge „Brauner Dogger“ werden tonreiche Gesteinseinheiten zwischen dem Top Opalinuston und der Basis Malm zusammengefasst, welche im Geologischen Atlas der Schweiz mit braunen Farbtönen dargestellt sind und vom unteren Aaretal bis in die Region Schaffhausen vorkommen.

Das ENSI hat bereits 2011 zu diesen Arbeiten Stellung genommen und zum „Braunen Dogger“ 11 Forderungen für zusätzliche Untersuchungen in Etappe 2 gestellt (ENSI, 2011).

Mit der Auftragserteilung hat das ENSI die folgenden konkreten Fragen zusammengestellt, auf welche dieser Expertenbericht eingehen soll:

1. Hat die Nagra alle zum "Braunen Dogger" vorhandenen relevanten Informationen berücksichtigt (vgl. NAB 13-22)?
2. Sind die Ausführungen der Nagra in NAB 12-51 und 12-57 nachvollziehbar, die gemachten Untersuchungen sinnvoll?
3. Ist die vertikale Verteilung, die zu erwartende laterale Ausdehnung und Korrelation der harten Bänke genügend detailliert bekannt und beschrieben, um die Bewertung des "Braunen Doggers" durch die Nagra nachvollziehen zu können?
4. Wie ist die räumliche Explorierbarkeit und Charakterisierbarkeit des "Braunen Doggers" in den Standortgebieten zu beurteilen?
5. Sind die sedimentologisch-stratigraphischen Ausführungen zum "Braunen Dogger" korrekt in NTB 14-02 (Dossier II, Kap. 3.3.3 und 3.4) bzw. NTB 14-01 (Kap. 3.3.2) zusammengefasst worden?
6. Welche Arbeiten wären bei einer weiter gehenden Exploration des "Braunen Doggers" vorzusehen?

Zur Charakterisierung des „Braunen Doggers“ in den Standortgebieten „Nördlich Lägern“ und „Zürich Nordost“ hat die Nagra vier Arbeitsberichte und einen zusammenfassenden Bericht vorgelegt. Es sind dies:

NAB 12-51: Sedimentologie und Stratigraphie des „Braunen Doggers“ und seiner westlichen Äquivalente.

NAB 12-57: Palynostratigraphie des Mittleren Jura.

Teil 1 – Bohrungen Benken, Schlattigen-1 und Weiach sowie einige Aufschlussproben der Lägern und deren Korrelation.

Teil 2 – Bohrung Riniken, Aufschlussproben Bernhardholz, Dangstetten und Lägern.

NAB 14-58: Reflexionsseismische Analyse des „Braunen Doggers“.

NAB 13-22: Aufschlussdatenbank der „Braunen Doggers“ in den Perimetern Lägern, Klingnau-Zurzach, Küssaberg-Dangstetten (D) und Rechberg (D).

NTB 14-02: SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen – Dossier II - Sedimentologische und tektonische Verhältnisse.

Im Technischen Bericht NTB 14-01 (Nagra, 2014a) fasst die Nagra die Ergebnisse der Untersuchungen zusammen und zieht Schlussfolgerungen für das weitere Vorgehen.

Nachfolgend werden die Kernthemen Sedimentologie/Stratigraphie (inkl. Palynostratigraphie) und Reflexionsseismische Analyse des „Braunen Doggers“ vorgestellt und anschliessend beurteilt. Der Bericht mit der Aufschlussdatenbank ist eine Datenzusammenstellung, in der die vorhandenen Felddaten zum „Braunen Dogger“ (Aufschlussbeschreibungen), übersichtlich zusammengestellt wurden. Sie wurde umfassend ausgeführt und muss hier nicht weiter fachlich kommentiert werden. Die Beurteilung der Kernthemen wird anhand der Zusammenfassungen in den beiden Kernberichten NAB 12-51 und NAB 14-58 vorgenommen.

8. Sedimentologie des „Braunen Doggers“

8.1 Überblick über die Arbeiten und Resultate der Nagra zur Sedimentologie des „Braunen Doggers“

Im nachfolgenden Text sind einige Anmerkungen des Verfassers zu den Ausführungen der Nagra eingeschaltet, die die Beschreibungen ergänzen. Sie sind durch kleinere Schrift hervorgehoben.

Zur Charakterisierung des „Braunen Doggers“ standen die Resultate mehrerer Bohrungen zur Verfügung. Darunter vor allem die Tiefbohrungen Weiach-1, Benken, Schlattingen-1 und Riniken, in denen Bohrkerne gewonnen wurden. Die Bohrprofile wurden durch geologische Aufnahmen geeigneter Aufschlüsse in der Umgebung des Gebietes Nördlich Lägern ergänzt. Im Gebiet Zürich Nordost stützen sich die Berichte auf das Datenmaterial der seinerzeitigen Standortuntersuchungen ab. Da die untersuchten Gesteinsabfolgen teilweise arm an Makrofossilien sind, wurden sie mit Hilfe der Palynostratigraphie, die sich im „Braunen Dogger“ vor allem auf Dynoflagellaten-Zysten abstützt, datiert. Damit gelang eine praktisch lückenlose Datierung der Gesteinsschichten.

Grundmaterial des „Braunen Doggers“ sind siltige bis feinsandige, leicht glimmerhaltige Tonmergel. Sie liegen mehrheitlich als homogene, tonreiche Abfolgen vor, deren Tonmineralgehalte 40 Gew.-% übersteigen. In dieser Form sind sie bezüglich Nuklidtransport dem Opalinuston gleichzustellen. Die mächtigste tonreiche Abfolge ist die Parkinsoni-Württembergica-Schicht. Darin eingeschaltet beobachtet man sandig-tonige Ablagerungen mit Tonmineralgehalten von 20-40 Gew.-% und Sandkalkabfolgen mit Tonmineralgehalten < 20 Gew.-%. Die tonig-siltigen Abfolgen enthalten teilweise „harte Bänke“, die als potentielle Wasserfliesswege berücksichtigt werden müssen.

Die Abfolge des „Braunen Doggers“ zeigt eine gewisse Zyklizität der Ablagerungen. Diese werden als „Shallowing-upward“-Sequenzen interpretiert, die auf periodische Schwankungen des Meeresspiegels zurückgeführt werden. Ideale „Shallowing-upward“-Sequenzen zeigen tonige und mergelige Gesteine an der Basis, die im Verlauf des Zyklus in gröbere, biodetritische Gesteine übergehen, die ein seichteres Ablagerungsmilieu anzeigen (Regression). Im Dach der Zyklen liegen geringmächtige, eisenoolithische Gesteine, die meist grössere Zeitintervalle mit reduzierter Sedimentation belegen. Ihre Bildung erfolgte mit dem Ansteigen des Meeresspiegels, das heisst in zunehmend tieferem Wasser (Transgression). Die Wassertiefe im Verlauf der Zyklen pendelte vermutlich im Tiefenbereich von 20-50 m.

Gegen Westen grenzt das Untersuchungsgebiet an die Ablagerungen der Burgunder Plattform, wo geringere Wassertiefen vorherrschten (Abb. 8.1)

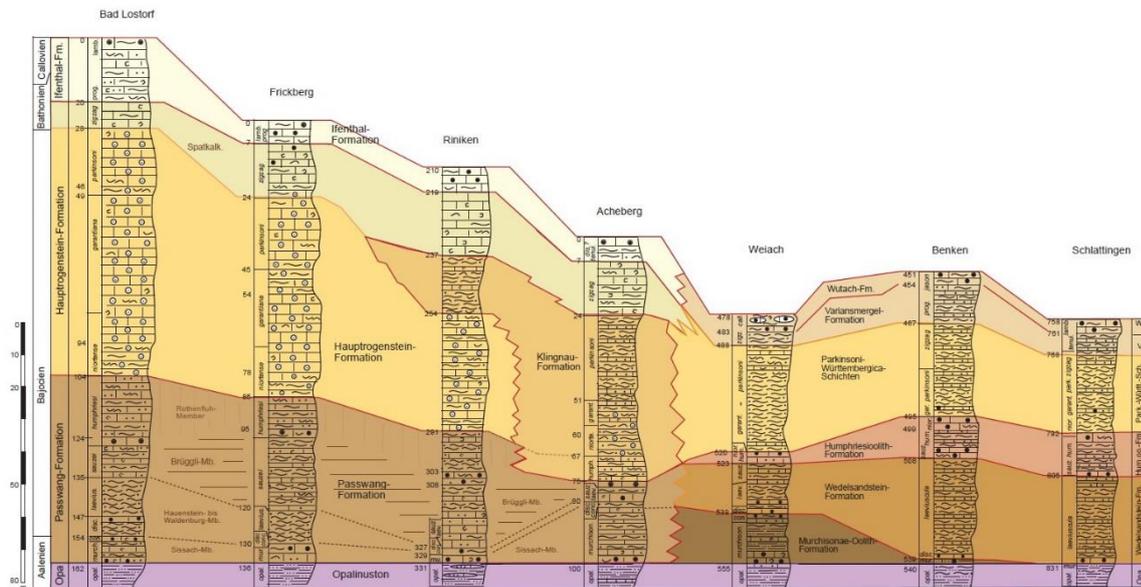


Abb. 8.1: West-Ost Profilerie durch die Ablagerungen des Braunen Doggers. Gut erkennbar die Mächtigkeitsabnahme der Abfolge von der Burgunder Plattform ins schwäbische Becken. Die Korrelationen erfolgten mit Hilfe der Palynomorphen-Stratigraphie (NAB 12-51, Beilage 6).

Mit Hilfe der Palynostratigraphie wurde das Verteilungsmuster der verschiedenen Faziestypen ermittelt. Damit konnte eine Sedimentationsgeschichte des Ablagerungsraums gezeichnet werden. Diese biostratigraphischen Analysen ergaben, dass die Sedimentation in einem bestimmten Zeitintervall örtlich recht unterschiedlich ausfallen konnte. Dies kommt in den paläogeographischen Karten zum Ausdruck (NAB 12-51, Beilagen 12-16), die ausgeprägte Zonen unterschiedlicher Mächtigkeit zeigen. Die örtlich unterschiedliche Ablagerungsgeschichte wird auf die unterschiedliche Subsidenz der Teilgebiete zurückgeführt. In NAB 12-51 wird vermutet, dass synsedimentäre Tektonik die Subsidenz steuerte.

Die Zyklen enthalten in den tonreichen Abfolgen des „Braunen Doggers“ Einschaltungen von „harten Bänken“, die für eine allfällige Wasserführung des Gesteinskörpers von besonderer Bedeutung sind. Definiert werden die harten Bänke als „*Kalkig-sandige Schichten mit mehr als 10 cm Mächtigkeit*“. Die Nagra unterscheidet folgende Typen harter Bänke in „Braunen Dogger“ (NAB 12-51, p. 20):

- Biomikritische Kalkbänke
- Sandige, biodetritische Kalkbänke
- Eisenoolithe

Biomikritische Kalkbänke treten eher selten auf. Es handelt sich um Kalke, die eine autochthone Bivalven-Serpuliden und Brachiopodenfauna enthalten. Sie werden im Bericht nicht separat ausgeschieden, sondern mit den sandigen, biodetritischen Kalkbänken zusammen dargestellt.

Sandige, biodetritische Kalksteine treten in allen Formationen auf. Sie sind meist 10-20 cm mächtig, maximal wurden bis 60 cm beobachtet. Die Kalke enthalten 25-40% detritischen Quarz, bei dem zwei Korngrößen vorherrschen (0.07 mm - 0.08 mm; 0.1 mm - 0.12 mm). Das gut sortierte Gestein enthält 20-50% biogene Komponenten. Die Zementation erfolgt durch Fe-Calcit oder Mikrosparit, letzterer dürfte allerdings aus Mikrit entstanden sein. Als späte Zementation beobachtet man Fe-Dolomit, auch in Wühlgängen tritt diagenetischer Fe-Dolomit oder Siderit auf. Die Ablagerungsgefüge sind meist wegen der Bioturbation nicht erhalten oder gestört.

Die **Eisenoolithe** des Gebietes werden im Bericht nicht detailliert beschrieben. Es werden lediglich 5 eisenoolithische Faziestypen aufgeführt, die auf die Einteilung von Burkhalter (1996) zurückgehen.

Burkhalter unterscheidet eisenschüssige Kalke, Eisenoolithe und Eisen-Endostromatolithen. Die Eisenoolithe teilt er in drei Gruppen ein:

- Eisenoolithische Pack- und Wackestones
- Eisenoolid führende biotritische Kalke
- Minette-ähnliche Eisenoolithe

Abb. 8.2A und 8.2B zeigen die Mikrofazies eisenoolithischer Gesteine aus den Bohrungen des Untersuchungsgebietes. Die Eisenoolithe gehören zu den ersten beiden Gruppen, Minette-ähnliche Eisenoolithe wurden aus dem Gebiet nicht beschrieben.

Als **eisenschüssige Kalke** bezeichnet Burkhalter (1996) sandhaltige, biotritische Kalke (Wacke- oder Packstones) mit einem Gehalt an limonitischen Komponenten > 10% und einer Grundmasse aus eisenhaltigem Mikrit oder Sparit (Abb. 8.2C und 8.2D). Die limonitischen Komponenten sind meist Biogene, die von Algen angebohrt wurden und deren Bohrlöcher nun mit Limonit gefüllt sind. Weiter treten eigentliche Eisen-Onkoide und limonitische Aggregatkörner auf. Man beobachtet Abfolgen von Biogenen zu limonitisierten Biogenen und schliesslich zu Eisen-Onkoiden und Aggregatkörnern. Diese Entwicklung belegt ein zunehmend tiefer werdendes Ablagerungsmilieu, also den Beginn einer Transgression.

Anmerkung: Die limonitischen Komponenten der eisenschüssigen Kalke sind keine eigentlichen Eisenoolithe, es handelt sich lediglich um limonitisch umkrustete Komponenten, meist Biogene. Oft sind auch Aggregatkörner (auch als Fe-Grapestones bezeichnet) ausgebildet, da oft mehrere Komponenten durch sessile Foraminiferen zusammengebunden sind (Flügel, 1978). Dieser Gesteinstyp kann auch als Grapestone-Fazies bezeichnet werden. Sie ist beispielsweise auf den Bahamas typisch für die ersten Sedimente beim Beginn der transgressiven Phase mit Meeresspiegelanstieg nach der Eiszeit.

Die eigentlichen **Eisenoolithe** werden in 3 Gruppen unterteilt:

Einerseits eisenoolithische Wacke- und Packstones (Abb. 8.2A und 8.2B). Es handelt sich um mergelige oder kalkige Eisenoolithe die in geringmächtigen, lateral weit verbreiteten Bänken auftreten. Der Gehalt an Eisenooliden liegt zwischen 4 und 30%. Sie sind fossilreich und stark durchwühlt. Das Ablagerungsmilieu ist nach Burkhalter (1996) generell ruhig mit episodisch strömungsbeeinflussten Bedingungen.

Eisenoolidführende, biotritische Kalke sind eisenschüssige Kalke mit 4-15% Eisenooliden. Sie sind Silt- und Feinsand führend und bioturbiert und zeigen Pack- oder Grainstone-Textur. Häufig finden sich Intraklasten und bis zu 10 cm grosse Eisenonkoide. Die Eisenoolithe sind oft diagenetisch verändert, es finden sich dann Fe-calcitische oder ankeritische Füllungen. Die eisenoolithischen Kalke treten als geringmächtige Bänke von grosser lateraler Verbreitung auf. Die Texturen weisen auf ein höherenergetisches Ablagerungsmilieu hin.

Minette-ähnliche Eisenoolithe sind lokal auftretende andeutungsweise trogförmig oder tabular geschichtete, meist aber bioturbierte, eisenoolithische, biotritische, Feinsand führende Kalke. Die Ablagerungstextur ist in der Regel Grainstone, selten auch Packstone. Die Eisenoolithe sind meist kleiner als in den anderen Typen. Sie sind den Minette-Eisenoolithen Lothringens ähnlich, die als Gezeiten-Sandwellen interpretiert wurden (Teyssen, 1984).

Abb. 8.2

Mikrofazies der Eisenoolithe und der eisenschüssigen Kalke im Untersuchungsgebiet des „Braunen Doggers

Die rot und blau gefärbten Teile der Dünnschliffe geben Hinweise zur Mineralogie.

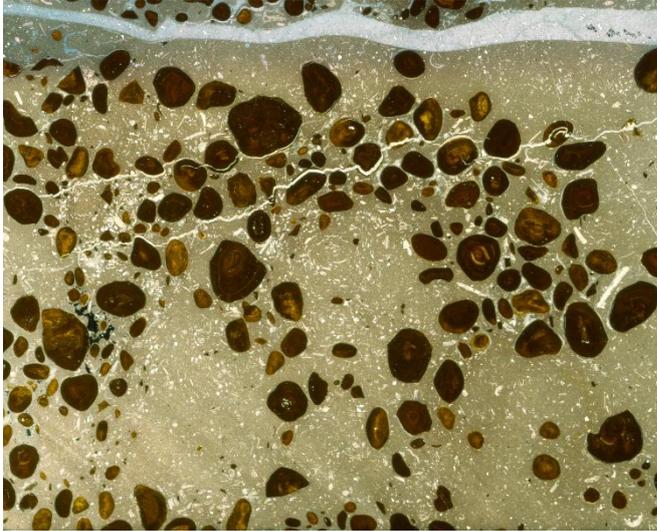


Abb. 8.2A

Dünnschliff Bohrung Schlattingen, 759.70 m. Wutach-Formation.

Eisenoolithischer Mergelkalk (Oobiomikrit). Die Eisenooide liegen in einer mikritischer Matrix. Neben runden Eisenooiden treten auch zerbrochenen Ooide auf, die erneut umkrustet wurden. Möglicherweise ein Hinweis auf eine primäre Genese in einem Ablagerungsmilieu höherer Wasserenergie. Im unteren Teil Grabgänge. Bildbreite: ca. 12 mm

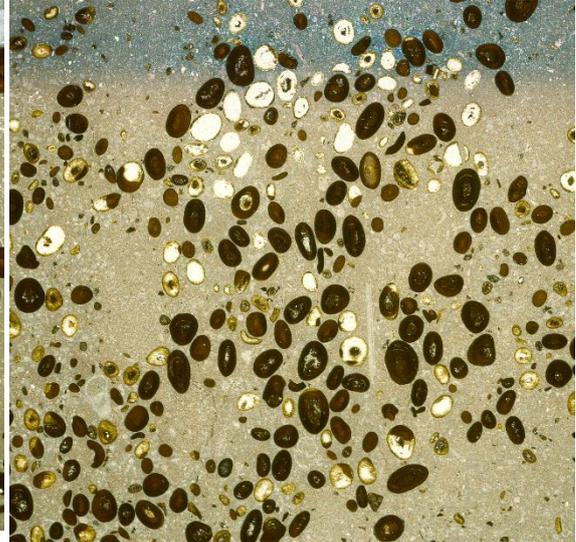


Abb. 8.2B

Dünnschliff Bohrung Schlattingen, 793.61 m. Humphriesoolith-Formation

(„Subfurcatenoolith“). Eisenooide in einer mikritischen Matrix. Runde bis elliptische Eisenooide mit kleinen und grösseren Kernen (meistens Biogene). Grabspuren ohne Ooide.. Bildbreite: ca. 13 mm.

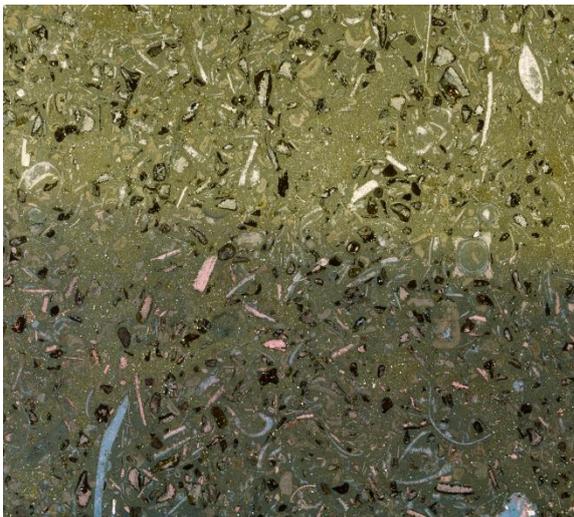


Abb: 8.2C

Dünnschliff Läg-14. Sissach-Member der Passwang-Formation. West-Lägern 1, Aufschluss S Rütene. Biotritischer Kalkstein (Biomikrit) mit zahlreichen braunen Komponenten, bei denen es sich um mit Limonit imprägnierte Biogene handelt. Dieses Gestein ist kein Eisenoolith. Bildbreite ca. 25 mm.

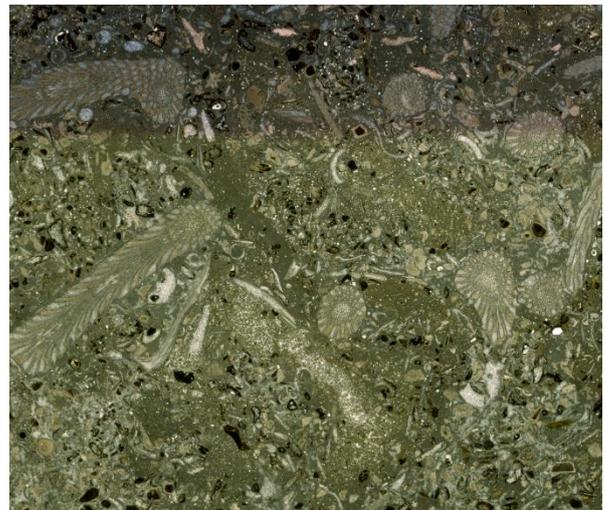


Abb: 8.2D

Dünnschliff Bohrung Benken 506.75 m. Humphriesoolith-Formation (Unterste, eisenoolithische Bank). Biotritischer Kalkstein (Biomikrit) mit gut erhaltenen Bryozoenskeletten. Daneben braune limonitisierte Fossilrümpfer. Teilweise handelt es sich um limonitisierte Foraminiferen. Bildbreite ca. 25 mm.

Lokal treten in den kondensierten Schichten Eisen-Endostromatolithen auf. Es handelt sich um Krusten, zu deren Aufbau neben den mikrobiellen Laminae auch sessile Foraminiferen, Bryozoen und Serpuliden beitragen. Sie bilden meist einen Deckenbewuchs in Höhlungen (Grabbauten). Sie werden als Flachwasserbildungen interpretiert, da angenommen wird, dass die Höhlungen durch Auskolkung entstanden.

Anmerkung: Die Bildung der Hohlformen („Auskolkung“) könnte auch durch die zahlreich vorhandene Fauna bewerkstelligt werden. So graben beispielsweise Krebse entsprechende Gänge, die sie vom Sediment freihalten und so die Besiedlung der Wände mit einer Epifauna ermöglichen. Solche Serpulidenkrusten sind in den eisenoolithischen Horizonten weit verbreitet, es gibt aber keine eindeutigen Anzeichen, dass sie im Flachwasser abgelagert wurden. Sie oft werden nach der bewohnten Phase mit eisenoolithischem Sediment eingedeckt, dessen Fossilbestand auf ein Ablagerungsmilieu von 20-30 m Wassertiefe hinweist.

Im Bericht NAB 12-51 wird eine Statistik der harten Bänke im „Braunen Dogger“ der Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen aufgeführt (Tab. 1). Dabei zeigt sich, dass der Anteil der Eisenoolithe erheblich ist und den Anteil der sandigen, biodetritischen Bänke deutlich übersteigt.

Tab.1: Statistik der harten Bänke (einschliesslich der Eisenoolithe) im „Braunen Dogger“ der Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen-1 (NAB 12-51, Tabelle 2).

	Bohrung Weiach	Bohrung Benken	Bohrung Schlattingen-1
Mächtigkeit [m] des „Braunen „Doggers“	76.3	87.5	73.7
Anzahl sandige, biodetritische Kalkbänke	9	30	20
Gesamtmächtigkeit [m] der sandigen, biodetritischen Kalkbänke [m]	3.72	8.10	3.80
Mächtigste sandig, biodetritische Kalkbank [cm]	60	60	43
Anteil der Kalkbänke an der Mächtigkeit des „Braunen Doggers [%]	4.9	9.3	5.2
Gesamtmächtigkeit der Eisenoolithe [m]	7.46	11.38	8.00
Anteil der Eisenoolithe an der Mächtigkeit des „Braunen Doggers [%]	9,8	13.0	10.9

Die Dimensionen der harten Bänke

Entscheidend für die Einschätzung der Gesteine des „Braunen Doggers“ in der Sicherheitsanalyse sind Ausdehnung und Verbundenheit der „harten Bänke“. Es müssen darum Annahmen zur Ausdehnung dieser Bänke gemacht werden.

Für die *sandigen-biodetritischen Bänke* werden Beispiele aus der Passwang-Formation (Jura) und der Eisensandstein-Formation (Schwäbischer Jura) aufgeführt. Grundlage ist eine Arbeit von Bayer & McGhee (1985), die allerdings der Evolution der Organismen in epikontinentalen Becken gewidmet war. Das darin aufgeführte Sedimentationsmodell bildet die Grundlage der Ausführungen im Arbeitsbericht. Abgeleitet aus einer Abbildung in der Publikation wurden die Dimensionen der Sandkalk- und auch der Eisenoolith-Vorkommen übernommen. Die Originaldaten stammen aus Lucius (1945) und aus Wild (1951). Es ergaben sich folgende Dimensionen für die Gesteinskörper:

Sandkalkkörper: 1-2 km breit, 4-15 km lang, bis 5 m mächtig.

Eisenoolithe: 3-4 km breit, 6-8 km lang, bis 1 m mächtig.

Die Vorkommen zeigen teilweise Schrägschichtung, was auf Bodenströmungen und Seegang hinweist. Geologische Profilerien aus diesen Vorkommen werden im NAB 12-51 aber keine aufgeführt.

Für den Schweizer Jura wird auf Burkhalter (1996) hingewiesen, der zwei grössere Sandkalkkörper erwähnt: Ein Sandkalkkörper des Sissach-Members im östlichen Jura, der ca. 10 x 15 km gross und bis 10 m mächtig ist. Ein biodetritischer Kalksteinkörper der Brüggli-Schichten der ca. 8 x 15 km gross und 5 m mächtig ist.

Die Entstehung dieser Vorkommen wird auf episodische, durch Stürme induzierte Strömungen in einem Ablagerungsraum zwischen Normal- und Sturmwellenbasis zurückgeführt.

Geringmächtige, sandig-biodetritische Kalkbänke

Es handelt sich überwiegend um 10-20 cm mächtige Bänke, die in Tonmergelabfolgen eingeschaltet sind. Die laterale Ausdehnung dieser „harten Bänke“ ist nicht bekannt. Es gelang nicht, die Bänke von Bohrung zu Bohrung zu korrelieren. Im Gebiet Acheberg konnten entsprechende Bänke auf dem digitalen Höhenmodell über Distanzen von 1-3 km verfolgt werden. Die Nagra führt ein rezentes Beispiel aus der Nordsee auf, wo in Wassertiefen von 10-20 m Sandlagen von 6.5 cm – 25 cm auftreten. Es handelt sich um Sturmlagen, über die Ausdehnung werden keine Angaben gemacht. Ein weiteres Beispiel sind biodetritische Kalklagen in mikritischen Kalksteinabfolgen des Muschelkalks. Diese Vorkommen weisen eine Ausdehnung von bis zu 60 x 60 km auf. Auch diese Vorkommen werden als sturminduzierte Ablagerungen gedeutet. Die geringmächtigen, sandig-biodetritischen Kalkbänke finden sich in den siltig-tonigen Abfolgen. Sie entstanden also in den Phasen mit tieferem Wasser (Abb. 8.3).

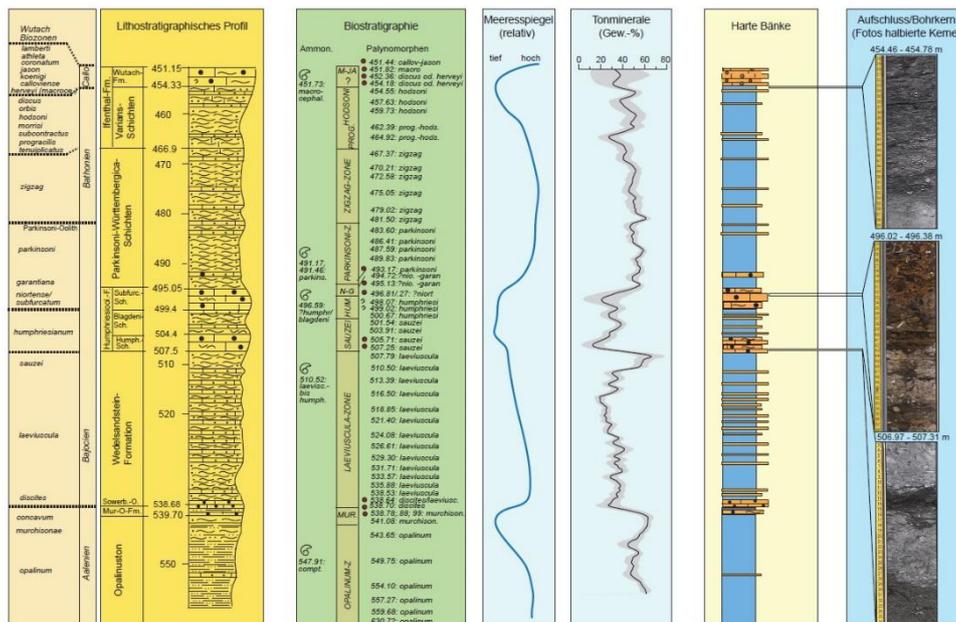


Abb. 8.3: Meeresspiegelschwankungen und harte Bänke am Beispiel der Bohrung Benken. Die Eisenoolithe werden meist am Ende einer Ablagerungssequenz gebildet, wenn der Meeresspiegel ansteigt. Die sandig, biodetritischen Kalkbänke entstehen in den Phasen mit tieferem Wasser, ihre Bildung wird nicht vom Meeresspiegel gesteuert (NAB 12-51, Beilage 9).

Eisenoolithische Bänke

Die eisenoolithischen Bänke sind in ihren Dimensionen und auch lithologisch uneinheitlich. Als Beispiel wird das Herznach-Member erwähnt, das im Gebiet Herznach-Wölflinswil 4 bis 5 m mächtig ist und gegen Osten teilweise auf wenige Dezimeter schrumpft. Im Untersuchungsgebiet des „Braunen Juras“ zeigt die lithologisch gleiche Wutach-Formation ebenfalls rund 4 m Mächtigkeit.

Zeitlich-räumliche Entwicklung des „Braunen Doggers“

Ausgehend von der biostratigraphischen Korrelation der Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen wurden Zeit-Raum- und Mächtigkeitsdiagramme zusammengestellt. Im Zeit-Raum-Diagramm werden die Gesteinsschichten entsprechend der Zeitdauer ihrer Ablagerung aufgetragen (Wheeler-Diagramm, Abb. 8.4). Dabei zeigt sich, dass während rund der Hälfte der Zeit eisenoolithische Kondensationshorizonte gebildet wurden. Im Vergleich dazu dominieren im Mächtigkeits-Diagramm die sandig-tonigen Gesteinsschichten und die Eisenoolithe bilden lediglich dünne Lagen innerhalb der sandig-tonigen Abfolgen (Abb. 8.5). In der Abbildung sind allerdings die Eisenoolithe zu dick dargestellt, da nicht die eigentliche Mächtigkeit der Eisenoolithe abgebildet wird, sondern die Formationen oder Member mit Eisenoolith-Bänken. So besteht beispielsweise die Murchisonae-Oolith-Formation in Weiach zu mehr als der Hälfte der Mächtigkeit aus Tonsteinen.

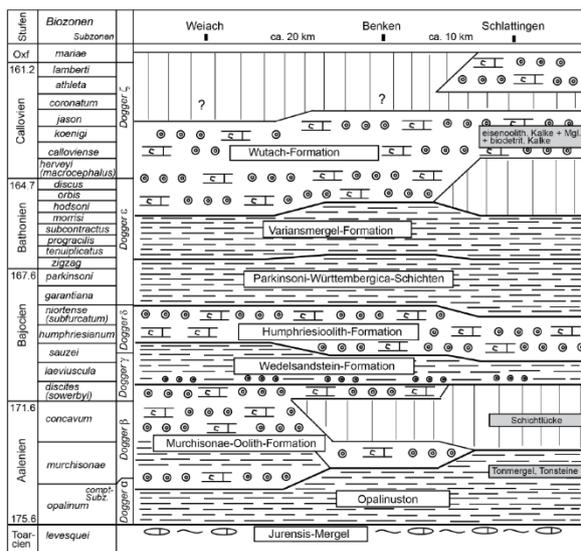


Abb. 8.4: Zeit-Raum-Diagramm (Wheeler-Diagramm) des „Braunen Doggers“ im Gebiet der Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen-1 (NAB 12-51, Fig. 45).

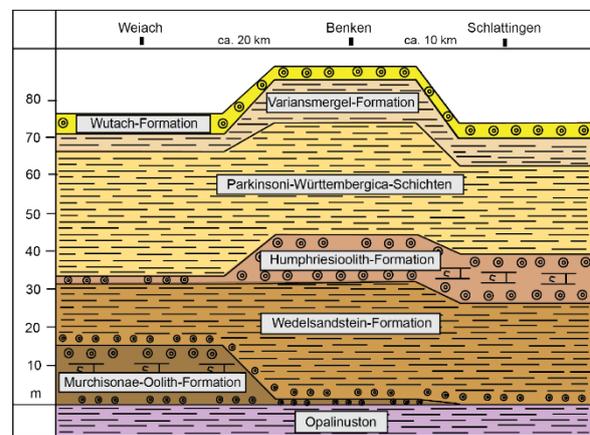


Abb. 8.5: Mächtigkeits-Diagramm der Formationen des „Braunen Doggers“ im Gebiet der Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen-1 (NAB 12-51, Fig. 46).

Legt man die absoluten Datierungen der Stufengrenzen zugrunde und teilt die entsprechenden Zeitintervalle auf die Ammoniten-Zonen auf, so ergeben sich für die mittlere Zeitdauer der Ammoniten-Zonen folgende Werte (Ma = Millionen Jahre):

Stufe	Zeitdauer	Anzahl Biozonen	Dauer/Biozone (Mittel)
Callovien	3.5 Ma	7 Biozonen	0.5 Ma/Biozone
Bathonien	2.9 Ma	8 Biozonen	0.35 Ma/Biozone
Bajocien	4.0 Ma	7 Biozonen	0.57 Ma/Biozone
Aalenien	4.0 Ma	3 Biozonen	1.3 Ma/Biozone

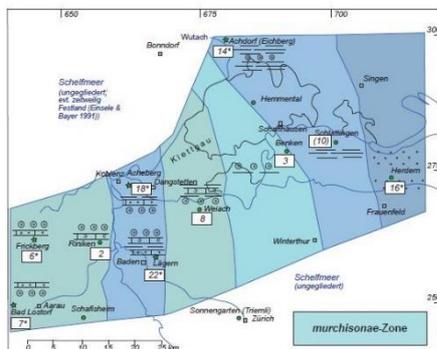
Die Datierungen, die verwendet wurden, stammen aus Gradstein et al. (2004) und Ogg et al. (2008). Die Zeitdauer der Biozonen variiert verhältnismässig stark. Zusammen mit den Mächtigkeiten in den einzelnen Bohrungen können Sedimentationsraten berechnet werden. Für die nicht dekomprimierten Abfolgen ergeben sich Raten von 8 mm/1000 a bis zu 54 mm/1000 a.

Die Abfolgen werden auf „shallowing-upward“-Zyklen zurückgeführt. Solche Sequenzen bestehen aus drei oder vier Elementen. An der Basis liegen Tonmergel, in die im Verlauf des Zyklus zunehmend sandige und biodetritusreiche Lagen eingeschaltet werden. In einem vollständigen Zyklus folgen darüber spätige, biodetritische Kalke, die meist schräg geschichtet sind. Sie weisen auf eine Wassertiefe von wenigen Metern hin. Die Wassertiefe nimmt also im Verlauf eines Zyklus zuerst ab, während die Wasserenergie zunimmt. Den Abschluss eines Zyklus bildet eine verhältnismässig geringmächtige eisenoolithische Lage, sie entstand unter ruhigeren Ablagerungsbedingungen, das heisst bei zunehmender Wassertiefe. Die Eisenoolithe zeigen also an, dass das Ablagerungsmilieu tiefer wird. Die Schwankungen des Meeresspiegels steuern demnach die Ablagerungssequenzen.

Anmerkung: Die Meeresspiegeländerungen gehen einerseits auf die plattentektonische Aktivität zurück (Zyklen 3. Ordnung). Wird bei den mittelozeanischen Rücken viel warme, junge Kruste gebildet, hebt sich diese wärmere ozeanische Kruste und verdrängt Meerwasser. Der Meeresspiegel steigt und die Schelfmeere wachsen (Transgression). Die Zyklen im Untersuchungsgebiet werden andererseits als Parasequenzen betrachtet, die auf Veränderungen der Orbitalparameter zurückgehen. Parasequenzen sind Meeresspiegel-Zyklen 4. Ordnung. Sie werden auf Milankovitch-Zyklen zurückgeführt, sie entsprechen Perioden von 50'000-100'000 Jahren (Schäfer, 2005). Diese Parasequenzen überlagern die Zyklen 3. Ordnung, deren Zeitdauer 0.5 – 3 Millionen Jahre beträgt. Die Zeitdauer der Parasequenz-Zyklen liegt damit in der Grössenordnung der Ammonitenzonen.

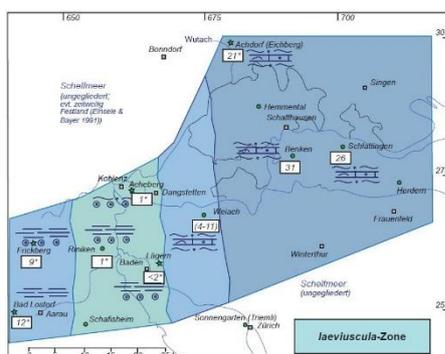
Im Arbeitsbericht werden die Sedimentationsverhältnisse in Form paläogeographischer Karten für 5 Ammonitenzonen dargestellt. In Abb. 8.6 sind diese Karten zusammengefasst.

Abb. 8.6:
Paläogeographische Karten des „Braunen Doggers“ im Untersuchungsgebiet
 (Zusammengestellt aus NAB 12-51, Beilagen 12-16)



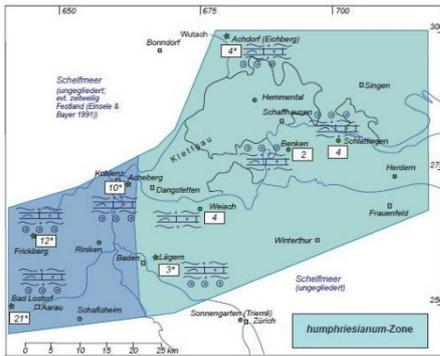
Paläogeographie der Murchisonae-Zone

Im Westen die N-S streichende Kalksand-Barre von Tegerfelden Klingnau mit bis zu 20 m Mächtigkeit. Im Osten Tonsteine und Mergel (Schlattingen) und am Ostrand des Gebietes Sandsteine (Herdern). Zwischen diesen Vorkommen geringmächtige kondensierte Eisenoolithe.



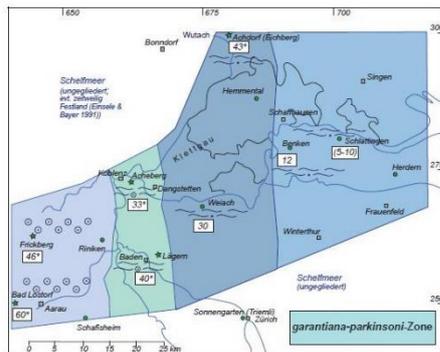
Paläogeographie der Laeviuscula-Zone

In dieser Zone zeichnet sich das schwäbische Becken ab, mit geringmächtigen, kondensierten Ablagerungen im Gebiete des Unteren Aaretals. Gegen Osten mächtige Abfolgen aus siltigen bis feinsandigen Tonmergeln, in die sandige oder biodetritische Kalkbänke eingeschaltet sind.



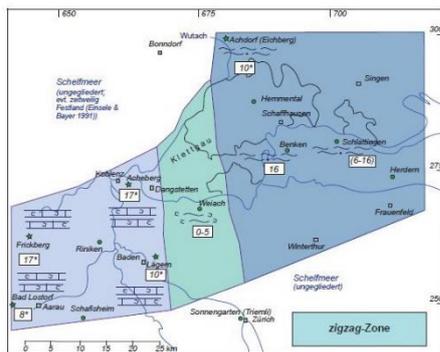
Paläogeographie der Humphriesium-Zone

Im östlichen Gebiet werden geringmächtige, zum Teil kondensierte Abfolgen gebildet. Weiter westlich kommen mächtigere Abfolgen zur Ablagerung. Das Sedimentationszentrum lag zu diesem Zeitpunkt im Gebiet zwischen dem Acheberg und Bad Lössel. Abb. 2.4 zeigt einen Ausschnitt aus dem östlichen Gebiet. Die grosse Mächtigkeit der Humphriesioolith-Formation ist darin begründet, dass die Formation 3 Ammonitenzonen und damit ein grösseres Zeitintervall umfasst.



Paläogeographie Garantiana-Parkinsoni-Zone

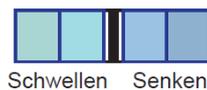
In dieser Zone erreicht die wachsende Burgunder Plattform im Westen das Untersuchungsgebiet. Auf ihr werden Flachwasser-Karbonate (z.B. Kalkoolithe) abgelagert. Am Plattformrand wachsen die bioklastischen Kalke des Spatkalks über die östlich anschliessenden Beckenablagerungen. Im Osten kommen siltige bis feinsandige Mergel zur Ablagerung. Diese Beckenablagerungen sind im Gebiet der Bohrung Weiach am mächtigsten ausgebildet.



Paläogeographie der Zigzag-Zone

Im Westen dominieren die Flachwasserkarbonate der Burgunder Plattform und erreichen ihre grösste Ausdehnung bis ins untere Aaretal. Im Osten dauert die Sedimentation feinsandiger bis siltiger Mergel an. In der Bohrung Weiach wurde diese Zone nicht nachgewiesen.

Legende:



8.2 Palynostratigraphische Untersuchungen

Die Resultate der Untersuchungen zur Palynostratigraphie

Mit dem NAB 12-57 legt die Nagra eine palynostratigraphische Arbeit vor, mit der die Abfolge des „Braunen Doggers“ von 3 Bohrungen und einigen Aufschlüssen mittels der organischen Bestandteile der Sedimentgesteine chronostratigraphisch untersucht wurde. Weitere Untersuchungen zur Palynofazies werden im vorliegenden Bericht nicht aufgeführt. Solche wurden jedoch in früheren Arbeiten beschrieben, z.B. Burkhalter et al. (1997) oder Feist-Burkhardt & Pross (2010).

Unter entsprechenden Ablagerungsbedingungen können bei der Bildung von Sedimentgesteinen organische Substanzen erhalten bleiben. Dies ist bei reduzierendem Sedimentationsmilieu oder bei schneller Einbettung, d.h. bei hoher Sedimentationsrate gewährleistet. Die Palynofazies der mesozoischen Gesteine besteht einerseits aus einer marinen Fraktion, die autochthon gebildet wurde. Dazu gehören Dinoflagellatenzysten, Acritarchen und Prasinophyten, dazu Foraminiferentapeten. Andererseits besteht sie aus einer kontinentalen Fraktion, die allochthoner Natur ist, d.h. die aus dem kontinentalen Milieu ins

Meer verfrachtet wurde. Es handelt sich dabei um Pollenkörner und Sporen, sowie Reste von höheren Pflanzen. Zum organischen Material gehören auch degradierte organische Substanzen.

Aus den Palynomorphen-Faunen können Parameter abgeleitet werden, die Aussagen zum sedimentären Ablagerungsraum erlauben. Abb. 8.7 zeigt einige Möglichkeiten dieser Analysen auf.

Schlussendlich ist die Palynofazies-Analyse auch ein Hilfsmittel in der Sequenzanalyse. So zeigen „Shallowing-Upward“-Sequenzen eine Abnahme der relativen Häufigkeit des marinen Planktons und eine Zunahme des opaken Anteils im Plankton. Eine mit der Abfolge im „Braunen Dogger“ vergleichbare Palynofazies-Analyse aus der schwäbischen Alb wird in Feist-Burkhardt & Götz (2002) beschrieben.

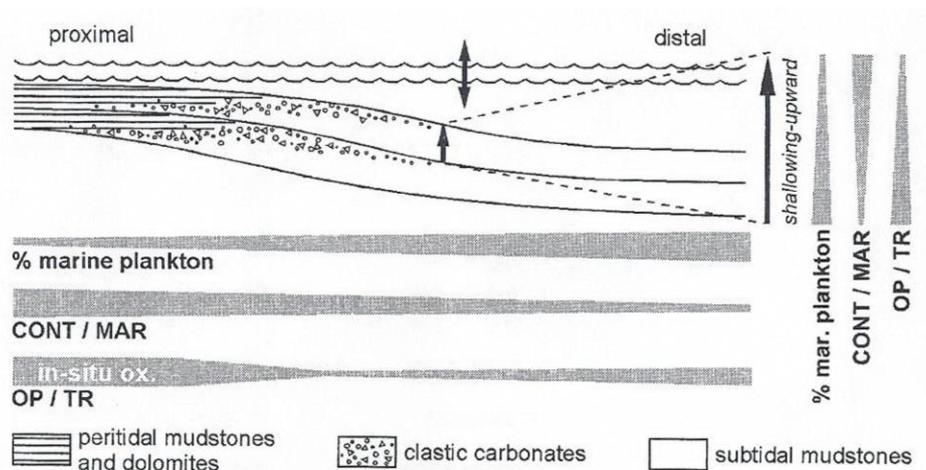


Abb. 8.7: Schematische Darstellung der paläogeographischen Trends verschiedener Palynomorphenfaziesparameter (Feist-Burkhardt & Götz, 2002).
CONT/MAR: Verhältnis der kontinentalen zur marinen Fraktion der Palynomorphen;
OP/TR: Verhältnis der opaken zur transparenten Fraktion der Palynomorphen.

Bewertung der Arbeiten der Nagra zur Palynostratigraphie

Die Palynomorphen-Analyse erlaubte eine durchgehende Datierung der Formationen und Member im östlichen Faziesraum. Die Arbeiten führten dazu, dass die chronostratigraphische Einstufung einiger Horizonte geändert werden musste, damit wurde die Stratigraphie des „Braunen Doggers“ auf ein solideres Fundament gestellt. Die Proben enthielten in der Regel einen guten palynologischen Rückstand mit reicher Flora. In den Bohrungen zeigte sich gegen das Hangende, d.h. in den jüngeren Schichten zunehmend ein grösserer Anteil an marinem Plankton.

Es stellt sich die Frage, warum bei der sedimentologischen Beschreibung des „Braunen Doggers“ keine Palynofazies-Parameter erhoben wurden, da ja bereits eine umfangreiche Bearbeitung der organischen Anteile vorlag, ein erheblicher Teil der Arbeit damit bereits gemacht war. Daraus könnten Erkenntnisse zum Ablagerungsmilieu der Formationen und zur Paläogeographie gewonnen werden.

8.3 Beurteilung der Nagra Arbeiten zur Sedimentologie des „Braunen Doggers“ (Bericht NAB 12-51)

Der vorliegende Bericht (Nagra NAB 12-51) fasst die Arbeiten zur sedimentologischen Charakterisierung des „Braunen Doggers“ zusammen, die gemäss dem Untersuchungsprogramm im Nagra NTB 10-01 durchgeführt wurden. Die Arbeiten umfassen auch die zusätzlichen Untersuchungen, wie sie im Bericht des Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorates (ENSI, 2011) gefordert wurden.

Das Untersuchungsprogramm war breit angelegt und umfasste auch Auswertungen an neuen und reprozedierten Reflexionsseismik-Linien des Gebietes. Da die Seismik-Arbeiten nach der Erarbeitung des Sedimentologie-Berichtes ausgewertet wurden, sind die Resultate der Seismik-Auswertung nicht erkennbar in den Sedimentologie-Bericht eingeflossen. Einzelne Schlussfolgerungen der beiden Berichte sind deshalb nicht aufeinander abgestimmt.

Eine grundlegende Verbesserung der Datenlage brachte die Datierung von Gesteinsproben mit Palynomorphen. Da Makrofossilien, insbesondere Ammoniten, in Bohrungen nur selten gefunden werden, ist die Bestimmung der Gesteinsalter mit diesen nur selten möglich. Die Altersbestimmung mit Hilfe der Palynomorphen erlaubt es nun die Schichten engmaschig zu datieren. Die Palynomorphenstratigraphie wurde auf Ammoniten-Zonen kalibriert. Die Bearbeitung der Palynomorphen beschränkte sich auf die zeitliche Einordnung der Proben. Weiter gehende Untersuchungen zum Ablagerungsmilieu und zur Beckenanalyse wurden nicht ausgeführt.

Die Schlussfolgerungen des Berichtes Nagra NAB 12-51 fassen die wichtigen Ergebnisse der Untersuchungen zusammen. Wir kommentieren nachfolgend die Ergebnisse des Programms anhand dieser Schlussfolgerungen (NAB 12-51, p. 75-76). Die Zitate aus dem Arbeitsbericht sind kursiv geschrieben.

Sedimentäre Genese 1: Der „Braune Dogger“ besteht analog zur Passwang-Formation des Schweizer Juras und allgemein des Doggers des Schwäbischen Juras aus „shallowing-upward“- Sequenzen, deren Ursache relative Schwankungen des Meeresspiegels sind. Die Grenzen der Abfolgen werden von eisenoolithischen Horizonten, die durch Mangelsedimentation entweder aufgrund von Meeresspiegelanstieg oder -absenkung entstanden sind, markiert. In vielen eisenoolithischen Bänken ist das Sediment kondensiert (NAB 12-51, p. 75).

Das Untersuchungsgebiet ist zur Jurazeit Teil eines inneren (epikontinentalen) Schelfmeeres. In solchen Ablagerungsräumen bilden Seegang und Gezeiten die wesentlichen Kräfte für die Sedimentation und für die Umlagerung von Sediment. Durch die Wirkung der Corioliskraft entstehen im Uhrzeigersinn drehende Strömungen, die den Sedimentversatz beeinflussen können (z.B. Wetzel et al. 2013). Diesem Strömungssystem werden Meeresspiegeländerungen überlagert, die einen wesentlichen Einfluss auf die Wassertiefe des Schelfmeeres haben.

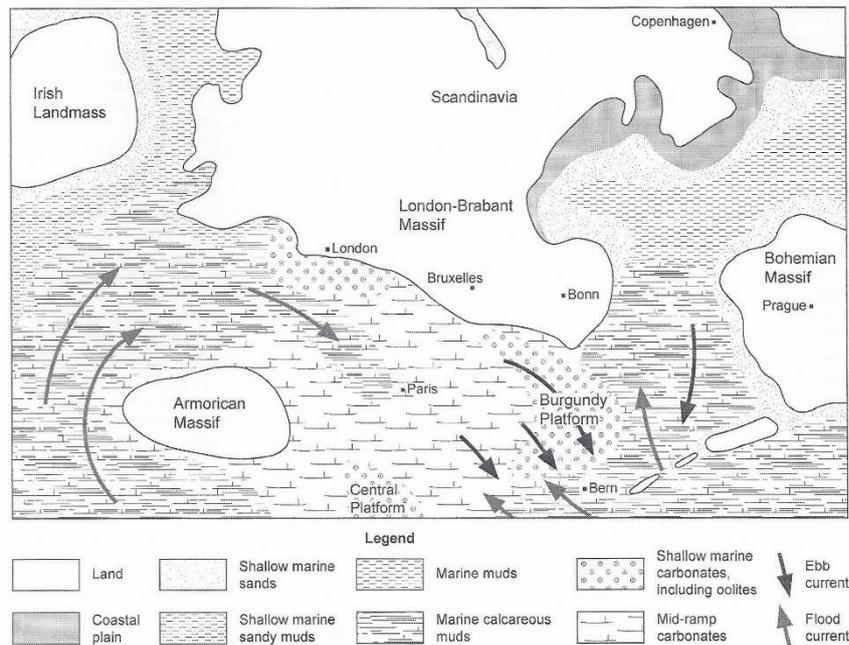


Abb. 8.8: Paläogeographische Situation des mittteleuropäischen Schelfmeeres zur Zeit des mittleren Juras. Das vermutete Strömungsmuster war durch starke Gezeitenströmungen und eine im Uhrzeigersinn drehende grossräumige Strömung gekennzeichnet. Im östlichen Teil des Schelfs wird Sediment auch von Norden, aus der hessischen Strasse angeliefert. Die Strömungsmuster wurden mit Hilfe der Tonmineralogie und der Faunen ermittelt (Wetzel et al., 2013).

Die paläogeographische Situation des Untersuchungsgebietes ist aus Abb. 8.8 ersichtlich. Das schwäbische Becken liegt zwischen der Burgunder Plattform im Westen und dem Böhmischem Festland im Osten. Gegen Süden nehmen Wetzel et al. (2013) einen Inselbogen an, dabei handelt es sich um die Reste des Vindelizischen Rückens, der allmählich überflutet wurde. Südlich dieser Inselkette liegt der offene Tethys-Ozean. Die Inseln sind vermutlich während der Sedimentation des „Braunen Doggers“ zunehmend überflutet worden.

Zur Zeit der Ablagerung des „Braunen Doggers“ unterlag der Meeresboden einer mässigen Subsidenz. Allia (1996) hat versucht diese Subsidenzbewegungen abzuschätzen. Für das Intervall des „Braunen Doggers“ ergab sich im Gebiet der Bohrung Weiach eine Subsidenz des Meeresbodens von rund 120 m bis zum Ende des Bathoniens, danach im Callovien eine Hebung von rund 50 m. Die Auswertungen hängen aber stark von den Annahmen zur Ablagerungstiefe der einzelnen Schichten ab. Der Meeresspiegel geht mit der Meeresspiegelkurve dritter Ordnung (Haq et al., 1988) in die Überlegungen ein. Das Ergebnis ist in Abb. 8.9 dargestellt. Die Mächtigkeit des kompaktierten „Braunen Doggers“ im Untersuchungsgebiet beträgt etwa 75-90 m. Die unkompaktierte Sedimentmächtigkeit dürfte demnach in etwa der Subsidenz entsprechen. Das heisst, dass die Änderungen der Wassertiefe bescheiden ausfielen. Möglicherweise wurde das Relief des Meeresbodens lediglich von den Sandwällen bestimmt, die unter dem Einfluss der Meeresströmungen wanderten.

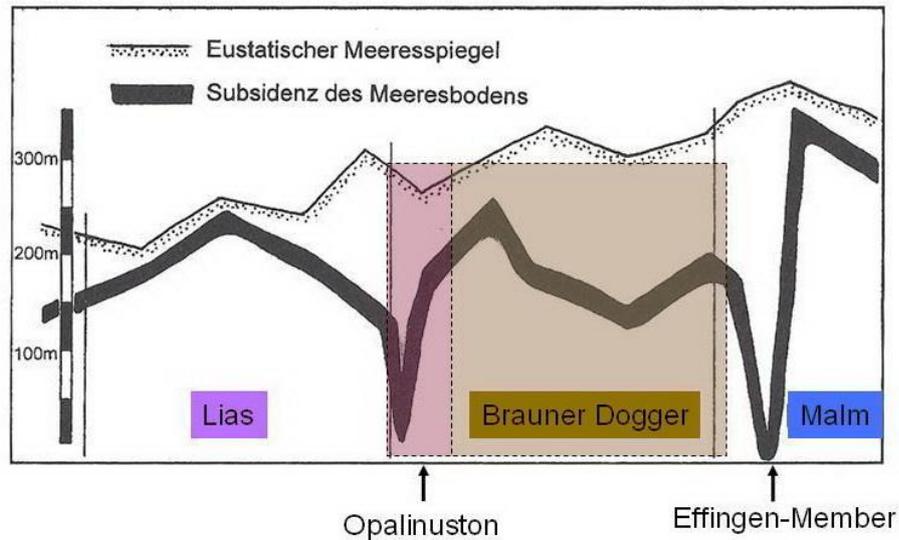


Abb. 8.9: Subsidenzverlauf des Meeresbodens während der Jurazeit für das Gebiet der Bohrung Weiach. Zum Vergleich ist die Meeresspiegelkurve 3. Ordnung eingezeichnet. Vor allem während der Ablagerung des Opalinustons und des Effingen-Members ereigneten sich starke Absenkungen des Meeresbodens. Nach Allia (1996), verändert.

Die zeitliche Abfolge der Schichten (Abb. 8.3) zeigt weiter, dass die Sedimentation eisenoolithischer Sedimente rund die Hälfte der Zeitspanne umfasst. Die Sedimentation der wesentlich mächtigeren Sandkalk- und Tonmergel-Abfolgen erfolgte demgegenüber in verhältnismässig eher kurzen Zeitintervallen, meist innerhalb der Dauer einer Ammoniten-Zone. Da die Eisenoolithe immer auch aufgearbeitetes Sediment enthalten, sind die Altersdaten für diese kondensierten Lagen schwieriger einzuschätzen.

Betrachtet man beispielsweise das Einsetzen der eisenoolithischen Fazies an der Basis des „Braunen Doggers“ (Aalenien) auf dem Zeit-Raum-Diagramm (Abb. 8.3) so zeigt sich, dass die eisenoolithische Sedimentation gegen Osten sukzessive später einsetzt und das Gebiet der Bohrung Schlattigen nicht erreicht. An der Lägern wurden seinerzeit im Aalenien-Eisenoolith Ammoniten der *murchisonae*- und der *Concavum*-Zone geborgen (Senftleben, 1923), während der darunter liegende spätige Sandkalk gemäss den Untersuchungen im Bericht (NAB 12-51, Fig. 12) in der unteren *Murchisonae*-Zone gebildet wurde. Man könnte die Situation derart interpretieren, dass die Eisenoolithe auf den Hartgründen des Plattformrandes gebildet wurden und durch Ereignisse (Stürme, interne Wellen etc.) in die tieferen Beckenteile verfrachtet wurden. Diese Schüttungen erreichten im Maximum das Gebiet von Benken. Da ein grosser Zeitraum für die Sedimentation der Eisenoolithe zur Verfügung stand, kam es wohl auch häufig zur teilweisen Aufarbeitung der Sedimente.

Im Bericht NAB 12-51 wird die Genese der eisenoolithischen Sedimente nicht eingehend diskutiert. Aktuelle Modelle zur Eisenoolith-Bildung gehen meist davon aus, dass die Ooid-Bildung bei periodischer Aufarbeitung des Sedimentes geschieht (z.B. Collin et al. 2005). Die Bildung der Eisenoolithe wird in einem Tiefenbereich knapp über bis knapp unterhalb der Sturmwellenbasis vermutet (Abb. 8.10), d.h. im Übergangsbereich vom proximalen zum distalen Schelf. Die Eisenoolithe im tieferen Bereich sind aus dem Bildungsgebiet eingeschwemmt.

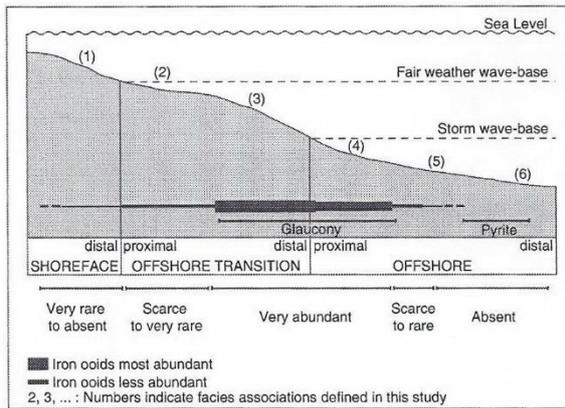


Abb. 8.10: **Bildungsgebiet der Eisenoolithe an einem Beispiel aus dem Callovien-Oxfordien im französischen Jura**

(nach Collin et al. 2005)

Relative Häufigkeit von Eisenoolithen, Glaukonit und Pyrit längs eines Schelfprofils.

Gesteine der Faziesgürtel:

- (1) Tonige und mergelige Kalke
- (2) Feinkörnige Kalke mit seltenen Eisenoolithen
- (3) Dunkle Kalke mit reichlich Eisenoolithen
- (4) Rotbraune Kalke mit reichlich Eisenoolithen
- (5) Tonige Kalke und Mergel, Kieselschwämme
- (6) Mergel

Zur Ermittlung der Eignung eines potentiellen Standortgebietes muss nicht zwingend ein Modell der Eisenoolith-Bildung bekannt sein. Es genügt, wenn die Eisenoolith-Bänke zwischen den Beobachtungspunkten korreliert werden können. Die Eisenoolith-Bänke sind gute Markerhorizonte für die Korrelation der Abfolgen zwischen den Bohrungen. Man vermisst aber im Bericht eine kurze Diskussion der zurzeit im Vordergrund stehen Modellvorstellungen zu dieser Problematik.

Sedimentäre Genese 2: Die harten, sandigen, biodetritischen Bänke stellen generell Ereignislagen dar: Stürme mobilisierten Quarzsand und biodetritische Komponenten im Flachwasser und verfrachteten diese in flache Senken des rund 20-50 m, zeitweilig aber nur wenige Meter tiefen Epikontinentalmeeres (NAB 12-51, p. 75).

Die Kalk- oder Sandkalk-Bänke werden in der zitierten Literatur meist als Ablagerungen von Sturmereignissen (Tempestite) betrachtet. Allerdings finden sich in den Arbeiten nur selten Angaben über sedimentäre Merkmale die dies belegen. Ein Beispiel aus dem östlichen Untersuchungsgebiet findet sich in Burkhalter et al. (1997), wo „Event-Beds“ mit aufgearbeitetem Material beschrieben werden, die im Dach der Parasequenzen auftreten. Im Nagra-Bericht werden allerdings keine sedimentären Strukturen in den „harten Bänken“ aufgeführt, die diese als Tempestite kennzeichnen würden. Für die Interpretation wäre das wesentlich, denn Sturmablagerungen erstrecken sich meist über grosse Areale. Führt man die Bänke hingegen auf die Wirkung von Ebb- und Flut-Strömungen zurück, könnte möglicherweise die Ausdehnung der Vorkommen geringer ausfallen. Auch hier wäre eine etwas breitere Diskussion der Vorkommen erwünscht. Abb. 8.11 zeigt einige Beispiele von Abfolgen mit „harten Bänken“ aus der Bohrung Benken.

Sedimentäre Genese 3: Die lokal variablen Ablagerungsbedingungen führten zu verschiedenen Schichtabfolgen, so dass die drei lückenlosen Profile der Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen-1 nicht exakt miteinander korreliert werden können (NAB 12-51, p. 75).

Diese Aussage ist etwas hart formuliert. Die sedimentologischen Abfolgen konnten durchaus korreliert werden. Die Sandbarre des Wedelsandsteins beispielsweise ist in allen Bohrungen beschrieben und altersmässig erfasst. Man müsste nun aufgrund dieser Fakten ein Modell der Entstehung vorschlagen. Hängen die Vorkommen zusammen, oder handelt es sich um „Linsen“, ähnlich der Seismik-Fazies A (NAB 14-58, p. 23). Was eindeutig über die Distanzen zwischen den Bohrungen (9.25 km und 17 km) nicht korreliert werden konnte sind die geringmächtigen, sandig-biodetritischen Kalkbänke.

Biostratigraphie: Die biostratigraphische, zeitliche Gliederung untermauert das Ergebnis der beschränkten lateralen Ausdehnung von Schichten und Formationen. In den Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen-1 werden während bestimmten Zeitabschnitten weder lithologisch noch mächtigkeitsmässig gleiche Abfolgen gebildet (NAB 12-51, p.75).

Die lithologische Abfolge des „Braunen Doggers“ wurde bis anhin vor allem mit eisenoolithischen Leitbänken vorgenommen, da diese in der Regel fossilreich sind und die entsprechenden Ammonitenfunde liefern können (Bläsi, 1987). Diese Datierungen zeigen,

dass die kondensierten Eisenoolithe einen erheblichen Teil des Zeitintervalls „Brauner Dogger“ umfassen (Abb. 8.3). Die sandigen und tonigen Schichten dazwischen beinhalten meist nur eine Ammonitenzone oder nur Teile davon. Es stellt sich darum die Frage, ob das Auflösungsvermögen der Palynomorphen-Stratigraphie ausreichend ist, um den Aufbau der sedimentologischen Gesteinskörper detaillierter nachzuzeichnen. Als Beispiel mag die Wedelsandstein-Fazies in der Bohrung Benken gelten, die innerhalb einer Ammoniten-Zone (Laeviuscula-Zone) entstanden ist. In Benken mehr als 31m mächtig entspricht diesem Zeitintervall am Acheberg ein geringmächtiger eisenoolithischer Kondensationshorizont.

In der Bohrung Weiach könnte die Abfolge des Wedelsandsteins zwei unterschiedlichen Schüttungsphasen zuzuordnen sein, denn die Formation enthält zwei lithologisch unterschiedliche Teile (Abb. 8.12). Die Palynomorphen-Stratigraphie zeigt dies, indem die untere Fazies zur Laeviuscula-Zone datiert wurde, während die obere Fazies vermutlich bereits zur Sauzei-Zone gehört. Das Auflösungsvermögen könnte somit ausreichen um solche Schüttungen zu unterscheiden. Eine weitere Frage bleibt offen: Wie zuverlässig können umgelagerte Sandkalkabfolgen datiert werden? Ist beispielsweise das Palynomorphen-Spektrum in der sauzei-Zone von Benken eine solche Mischfauna?

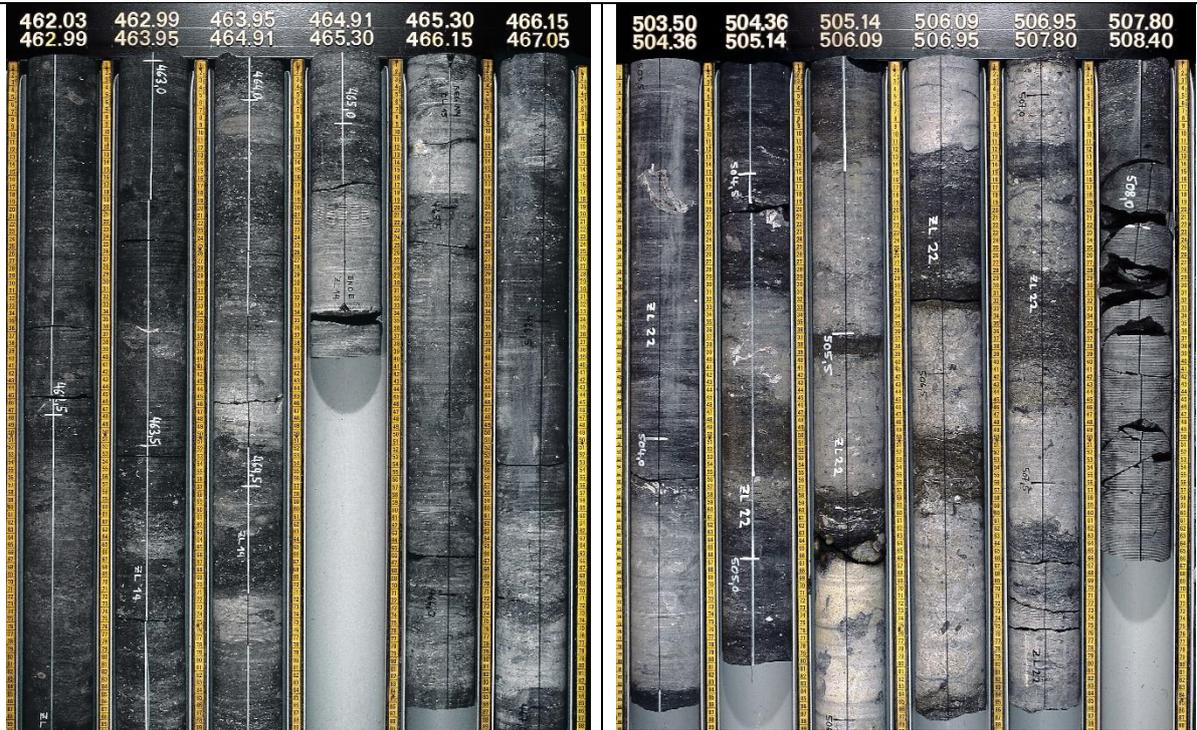
Paläogeographie und Fazies: *Die Darstellung der Sedimentationsgeschichte im Zeit-Raum-Diagramm und in fünf paläogeographischen Zeitschnitten macht deutlich, dass das Gebiet des „Braunen Doggers“ während der Ablagerung und Bildung der Formationen in mehrere Faziesbereiche gegliedert gewesen sein muss. Markant sind die stark verschiedenen Sedimentationsraten während der laeviuscula-, der garantiana- und parkinsoni- sowie der zigzag- bis herveyi-Zone in Weiach, Benken und Schlattingen-1 (NAB 12-51, p. 75).*

Dass das Gebiet in Faziesbereiche gegliedert war ist unbestritten. Allerdings ist die Zahl der Beobachtungspunkte gering, die Zusammenfassung zu N-S-streichenden Faziesräumen ist darum kaum ausreichend abgestützt.

Im NTB 14-02, Dossier II werden illustrative Mächtigkeitskarten des Opalinustons und des „Braunen Doggers“ präsentiert. Im Kapitel 5.3 des Berichtes werden auch die Unsicherheiten bei der Erstellung dieser Kompilationen diskutiert und teilweise als erheblich eingestuft. Die Ungewissheiten der Tiefenangaben sind nachvollziehbar, sie betreffen in den Regel alle hier im Vordergrund stehenden Horizonte (Basis Opalinuston, Top Opalinuston, Basis Malm). Die Mächtigkeiten sind darum möglicherweise weit weniger betroffen. Als Beispiel zeigt sich bei der Bohrung Weiach ein Mächtigkeitsminimum des „Braunen Doggers“ von 80 m, das gegen SW auf 3 km Distanz auf 150 m anschwillt. Derartige Unterschiede können nicht lediglich auf die Unsicherheiten der Auswertung zurückgeführt werden. Zudem zeigen die Seismik-Linien im Umfeld der Bohrung Weiach (91-NO-75, 90-SE-01, 82-NX-60, 82-NS-70), dass die Schichten in diesem Gebiet kaum Mächtigkeitschwankungen aufweisen. Insofern ist auch das Mächtigkeitsprofil (Abb. 8.5) zwischen den Bohrungen Weiach-Benken-Schlattingen täuschend, da es bei Weiach eine N-S streichende Senke suggeriert.

Die Mächtigkeitskarten des „Braunen Doggers“ (Abb. 8-13-A) und des Opalinustons (Abb. 8-13-B) zeigen im Gebiet Nördlich Lägern keine Mächtigkeitsänderungen, die auf N-S streichende Strukturen zurückgeführt werden könnten und die die Sedimentation beeinflusst hätten. Auch die Schwellenzone tritt nicht hervor. Auffallend sind hingegen die Mächtigkeitsminima des „Braunen Doggers“ im Gebiet der grossen Störungszonen des Trograndes, denen Mächtigkeitsmaxima des Opalinustons gegenüberstehen. Wenn diese Mächtigkeiten nicht tektonisch bedingt sind, wären sie ein Hinweis auf einen Einfluss der paläozoischen Strukturen auf die Sedimentation der Abfolge.

Abb. 8.11: Beispiele von Abfolgen mit harten Bänken aus der Bohrung Benken (Kernphotos der Nagra)



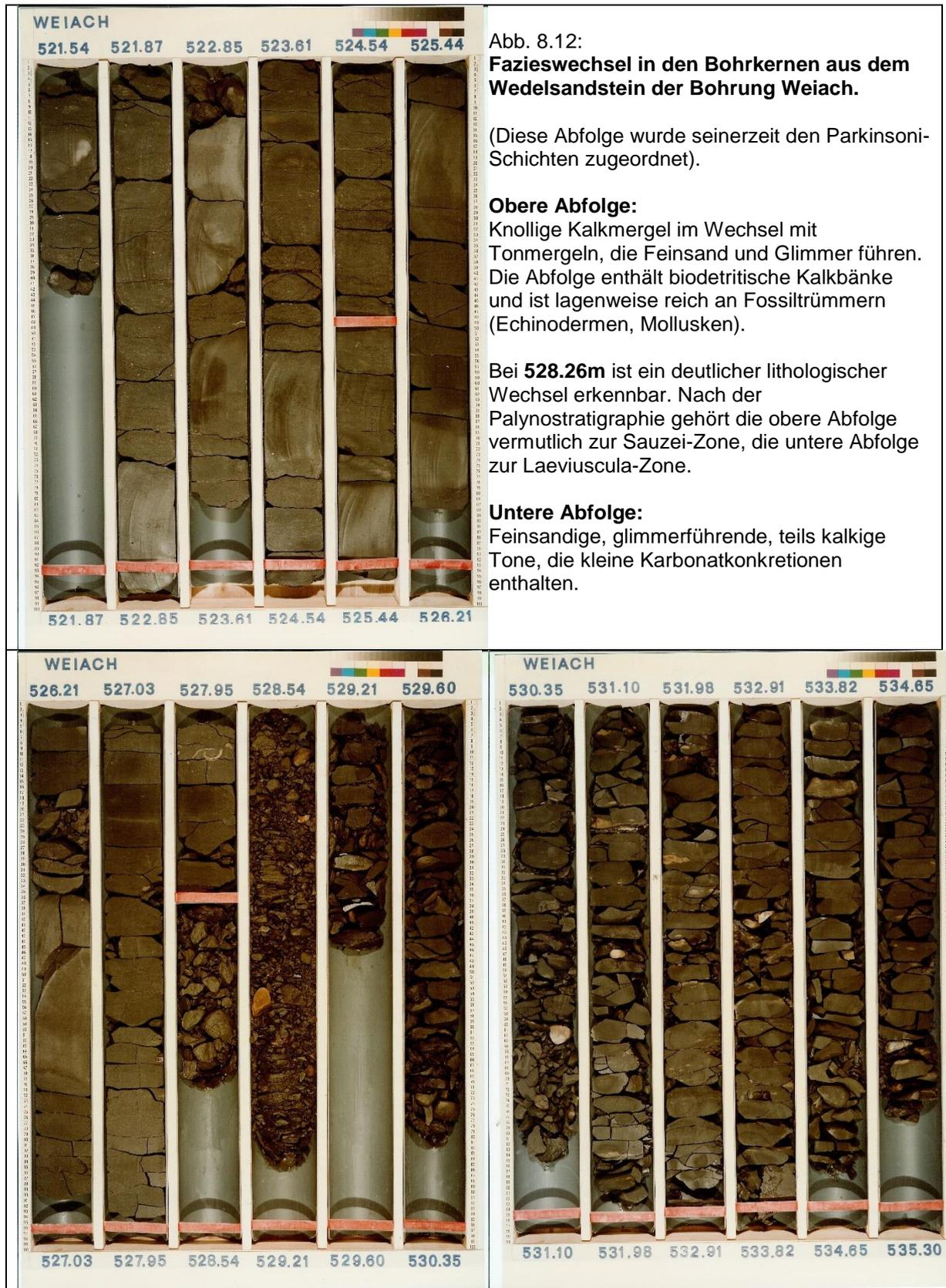
Biodetritische Kalklagen in Tonmergeln (links) und Kalkmergel (rechts). Variansmergel-Formation.

Biodetritische Kalkbank (links) und eisenoolithische Kalkbänke in Tonmergeln (rechts). Humphriesiolith-Formation.



Sandig-bioturbierte Kalkbänke in siltig-sandigem Tonmergel mit Muschelschalen. Wedelsandstein-Formation.

Helle kalkreiche, unscharf begrenzte Bänke in sandigem Mergel und mergeligem Sandstein. Wedelsandstein-Formation.



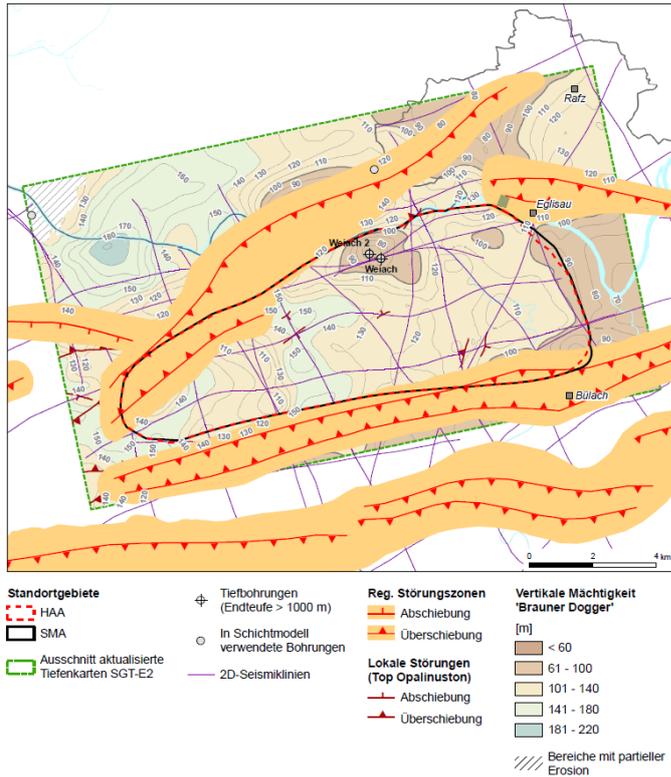


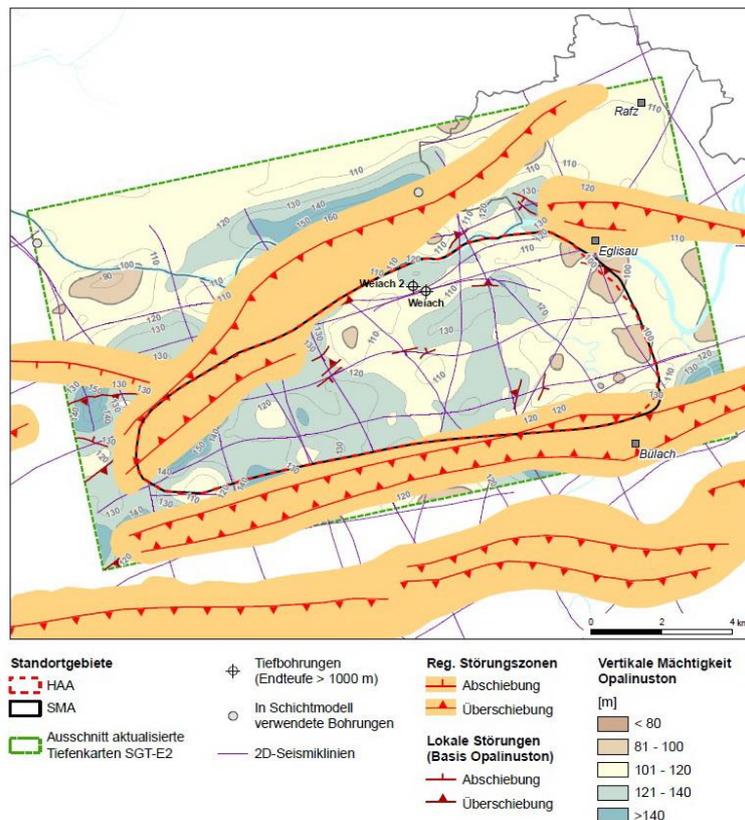
Abb. 8.13-A:
Mächtigkeitskarte des
„Braunen Doggers“ im Gebiet
Nördlich Lägeren.

Die Karte zeigt ein unruhiges Bild mit ausgeprägten lokalen Maxima und Minima. Auffallend sind die Gebiete geringer Mächtigkeit im Bereich der Störungszonen und das ausgeprägte Minimum im Gebiet der Bohrung Weiach (NTB 14-02, Dossier II, Beilage A2-10).

Abb. 8-13-B:

Mächtigkeitskarte des
Opalinustons im Gebiet
Nördlich Lägeren.

Die Karte zeigt ausgeprägte Mächtigkeitsmaxima über den Störungszonen des Permokarbons. Gegen Westen wird der Opalinuston allmählich mächtiger. Eine Zone grösserer Mächtigkeit stimmt einigermaßen mit der so genannten Schwellenzone der seismischen Fazies überein. Unklar ist, ob auch syndesimentäre tektonische Vorgänge die Mächtigkeit beeinflussten (NTB 14-02, Dossier II, Beilage A2-9).



Legt man die fünf paläogeographischen Karten (Abb. 8.6) übereinander, dann zeigen sich wenig räumliche Übereinstimmungen der Faziesgürtel, es müsste demnach jedes Mal eine andere Störung oder Flexur aktiv gewesen sein. Die seismische Erkundung des Gebietes zeigt

auf, dass keine mesozoischen oder paläozoischen Störungen an den Orten der postulierten Fazieswechsel beobachtet werden können, insbesondere keine N-S-verlaufenden. Jedenfalls müsste, um die in Verlauf der Zeit rasch wechselnden Faziesgürtel zu erklären, ein ausserordentlich komplexes tektonisches Geschehen angenommen werden. Dafür gibt es aber, wie erläutert, keine Hinweise.

Aus unserer Sicht entstanden die Ablagerungen des „Braunen Doggers“ eher durch den Aufbau und die Verfrachtung grosser Sandwälle in einem von Gezeiten dominierten Flachmeer. Die Bankung der Schichten in den grossen Aufschlüssen bei Kadelburg (D) zeigt eine gewisse Ähnlichkeit mit „Combined Flow Ripples“ (Abb 8.14 und 8.15), die durch den kombinierten Einfluss einer konstanten Strömung und der Wirkung von Wellen zustande kommen (Harms et al. 1975). Allerdings sind die Bänke des Sandkalkes dicker als die Rippelschichtung im schematischen Beispiel, das Bänke von einigen Zentimetern Mächtigkeit zeigt. Die sedimentären Strukturen in den Bänken wurden durch Bioturbation weitgehend verwühlt. Die Kombination von Meeresströmung und Gezeitenwellen könnten im grösseren Massstab zu Ausbildung von fleckenhaften Schüttungskörpern führen.



Abb. 8.14: Unruhig gebankte, teilweise schräg geschichtete Sandkalke des Sissach-Members, Bernhardholz NE Kadelburg (D). Die Abfolge beim Bernhardholz wird etwa senkrecht zur vermuteten Paläoströmungsrichtung angeschnitten. Die Bänke sind 10-30 cm mächtig.

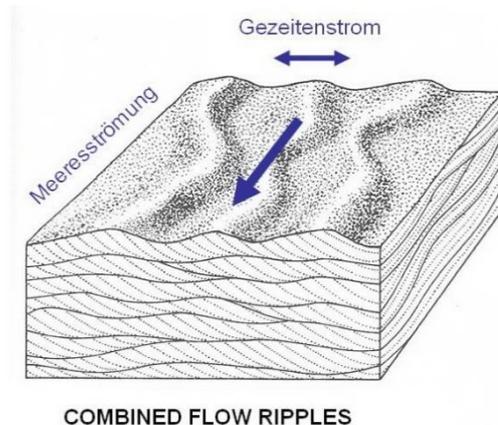


Abb. 8.15: Rippelschichtung bei konstanter Strömung und Wellenbewegung.
Masstab: Breite des Blocks 30-40 cm
Aus Harms et al. (1975).

Synsedimentäre Tektonik: Die lokal wechselnde Ablagerungsgeschichte kann durch unterschiedliche Subsidenz der Teilgebiete erklärt werden. Dafür verantwortlich sind am ehesten synsedimentäre Störungen und Flexuren. Die mögliche Position und Orientierung von Fazieswechseln wurde von der guten N-S-Korrelierbarkeit und den Lithologiewechseln in E-W-Richtung hergeleitet. Zwischen den relativ weit auseinander liegenden Profilen können die Grenzen der Faziesbereiche ebenso wie in N-S, auch in NNW-SSW oder NW-SE Richtung eingezeichnet werden (NAB 12-5, p. 75).

Die Annahme synsedimentärer Tektonik ist in den vergangenen Jahrzehnten für einige Formationen der Nordschweiz postuliert worden. Allia (1996) beschreibt beispielsweise für die Beckenbildung des Opalinustonmeeres ein System von wiederbewegten Bruchzonen des Permokarbons. Die neuen Seismik-Linien im Untersuchungsgebiet zeigen kaum Indizien für entsprechende synsedimentäre Störungen (NAB 14-58). Entsprechende Bruchzonen müssten aber bei der vorliegenden Seismikqualität erkennbar sein. Es müssen also andere Gründe für die lateral sehr unterschiedliche Sedimentation verantwortlich sein.

Die Faziesentwicklung wird im Arbeitsbericht NAB 12-51 anhand von 5 Zeitpunkten dargestellt, die fünf Ammonitenzonen entsprechen (Abb. 8.6). Es entsteht der Eindruck rasch wechselnder Sedimentationsbedingungen. Seichte Gebiete in einer Ammonitenzone werden in der

nächsten Zone teilweise zu tieferen Becken. Im Arbeitsbericht wird die örtlich unterschiedliche Subsidenz für die Mächtigkeitsschwankungen verantwortlich gemacht. Es wird vermutet, dass synsedimentäre Störungen in den betreffenden Zeitabschnitten aktiv waren. Wie erwähnt, konnte die Analyse der seismischen Linien diese Vermutung nicht bestätigen, entsprechende N-S-verlaufende Störungen unterhalb des Mesozoikums fehlen im Untersuchungsgebiet (NAB 14-58).

Unbestritten ist, dass das ganze Gebiet einer geringen Subsidenz unterlag, die im betrachteten Zeitraum rund 120 m betragen haben muss, d.h. etwa der Mächtigkeit des „Braunen Doggers“ entsprach (Abb. 8.9). Sie dürfte auf die allmähliche Abkühlung der kontinentalen Kruste nach den plattentektonisch unruhigen Zeiten im frühen Dogger (Aalenien) zurückzuführen sein. So entstand der Opalinuston bei kräftiger Subsidenz in einem Zeitraum von maximal 2 Millionen Jahren (Gradstein et al. 2004), während der „Braune Dogger“ mit einer vergleichbaren Mächtigkeit während rund 11.3 Millionen Jahren abgelagert wurde. Entsprechend ist die Sedimentationsrate für den „Braunen Dogger“ klein (NTB 99-08). Mit den Altersdaten aus Gradstein et al. (2012) ergibt sich für den „Braunen Dogger“ eine Sedimentationsrate für das kompaktierte Sediment von lediglich 7-8 mm/1000 a, wobei sich diese auf die Rate vor allem auf die nicht kondensierten Sedimente konzentriert.

Wenn keine tektonischen Ursachen für die Erklärung der stark wechselhaften Sedimentation geltend gemacht werden können, muss ein alternatives Sedimentationsmodell entwickelt werden.

Anmerkung zur Dauer der Sedimentation des Opalinustons: Die Zeitdauer für die Ablagerung des Opalinustons wird hier mit rund 2 Millionen Jahren angenommen. Die aktuellsten Altersdaten nach Gradstein et al. (2012) geben für die massgeblichen Ammonitenzonen folgende Werte für das erste Auftreten der Leitammoniten:

Pleydellia aalensis	174.43 Ma
Leioceras opalinum	174.15 Ma
Ludwigia murchisonae	172.13 Ma

Diese Werte unterliegen erheblichen Fehlerintervallen, die teilweise von Unsicherheiten im liegenden Toarcien stammen. Aus diesen Daten ergibt sich für das Ablagerungsintervall des Opalinustons, der im Untersuchungsgebiet die Opalinum- und Teile der Murchisonae-Zone umfasst (NAB 12-57), eine Zeitdauer von maximal 2 Millionen Jahren. Allerdings muss beachtet werden, dass die Basis des Opalinustons kondensiert ist und möglicherweise einen erheblichen Teil des Zeitintervalls umfasst. Dies kann beispielsweise in der Tongrube Siblingen beobachtet werden, wo die Basislage mit Ammoniten, darunter *Leioceras opalinum* und *Lytoceras torulosum*, angereichert ist (Etter, 1990). Der nicht kondensierte Opalinuston könnte demnach in einem kürzeren Zeitintervall entstanden sein.

Dimension sandiger, biodetritischer Bänke: Die Entstehung und die Ausmasse dieser „harten Bänke“ werden mit (den oben erwähnten) Beispielen der proximalen und distalen Sturmablagerungen in der von Gezeiten beeinflussten Nordsee und im Oberen Muschelkalk des Germanischen Beckens verglichen. Die maximale Ausdehnung der „harten Bänke“, der einzelnen überwiegend 10-20 cm mächtigen, hart zementierten, sandigen, biodetritischen Kalklagen und –bänke liegt aufgrund der Interpretation ihrer Entstehung in der Dimension der einzelnen Ablagerungsbereiche, also etwa maximal 5-10 x 20 km. (NAB 12-51, p. 76).

Die Ausdehnung der sandigen und sandig-biodetritischen Bänke ist ein Kernproblem des Wirtgesteins „Brauner Dogger“. Die Bänke könnten potentiell Wasser führend sein, deshalb ist es nötig ihre Dimensionen zu kennen. Zwar wurden bei den bisherigen Bohrungen im Untersuchungsgebiet keine bedeutenden Wasserzutritte im „Braunen Dogger“ beobachtet, aber ein umfassender Nachweis, dass dies das gesamte Gebiet betrifft, ist schwierig zu erbringen. Wie bereits erwähnt gelang es nicht, die sandigen, bioklastischen Kalkbänke zwischen den Bohrungen zu korrelieren. Allerdings sind die Distanzen zwischen den 3 Bohrungen mit 9.25 km und 17 km recht gross. In einem Lagergebiet mit 2-3 km Ausdehnung wird sich diese Problematik in weit geringerem Ausmass stellen.

Damit die Frage der Ausdehnung der Bänke abgeschätzt werden kann, wurden im Bericht vergleichende Beispiele aufgeführt und auch rezente Beobachtungen (z.B. Nordsee) erwähnt. Allerdings sind das präsentierte Material und die Evidenz dafür recht mager. Die erwähnten

Dimensionen (siehe Absatz harte Bänke) sind teilweise derart, dass man eine Korrelation zwischen den Bohrungen Benken und Schlattingen für möglich erachten würde. Möglicherweise könnte dazu mehr Information aus der Literatur zusammengetragen werden. Zum Beispiel zeigen Sanns & Schweizer (1987) an einem Beispiel aus dem oberen Aalenien (Dogger β) der südlichen schwäbischen Alb, dass einige in Tonstein eingeschaltete Karbonatbänke über eine Profilserie von mehr als 50 km Länge korreliert werden konnten. Allerdings wurden dazu die Daten in Aufschlüssen erhoben, was zusätzlich Aussagen über die Schüttungsrichtungen und sedimentäre Strukturen erlaubte.

Dimensionen der eisenoolithischen Horizonte: In die Tonmergelabfolge des „Braunen Doggers“ sind variabel ausgebildete eisenoolithische Horizonte und Körper eingelagert. Einige der Horizonte erstrecken sich über die ganze Region, wie beispielsweise der Subfurcaten-Oolith, der in unterschiedlichen Mächtigkeiten in den Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen-1 und bis an den Eichberg anzutreffen ist. Mächtigere Körper, wie derjenige der Herznach-Formation, der Wutach-Formation und der Eisensandstein-Formation sind nur als bis ca. 5 km breite Sedimentkörper vorhanden. (NAB 12-51, p. 76).

Die Eisenoolithe sind im Gegensatz zu den sandig-biotritischen Bänken lateral stark wechselnde Gesteine. Die lithologische Bezeichnung bezieht sich auf den in weiten Grenzen schwankenden Gehalt an Eisenooide. Die Eisenoolithe des Gebietes sind zudem meist tonhaltig. Die Eisenoolithe des Doggers stehen im Jura oft über einem Hartgrund (Diskontinuität) an, der eine frühdiaagenetische Zementation des Meersbodens belegt. Im östlichen Gebiet sind sie aber meist in die tonig mergeligen Abfolgen eingestreut. Im Gebiet des Juras finden sich die ältesten Eisenooide in Grabgängen und Höhlungen der Hartgründe, was belegt, dass ihre Bildung mit der Hartgrundphase zusammenhängt (z.B. Bitterli, 1979).

Zur lithologischen Zusammensetzung der Eisenoolithe gibt NAB 12-51 keine spezifischen Daten. In den Dossiers von NTB 14-02 werden die Gesteine des „Braunen Doggers“ zusammenfassend beschrieben. Es werden kaum Daten zu den einzelnen Lithologien und insbesondere zu den Eisenoolithen aufgeführt. Im Geologie-Bericht zur Bohrung Weiach (Matter et al., 1988) und im Untersuchungsbericht zur Bohrung Benken (NTB 00-01, 2001) werden die eisenoolithischen Horizonte detailliert beschrieben. Es zeigt sich, dass meist ein breites Spektrum von Gesteinen mit unterschiedlichem Tongehalt auftritt. Häufig sind Mergel, Kalkmergel und kalkige Tone, aber auch Tone und Kalke treten auf. Ein ähnliches Bild zeigt eine Zusammenstellung von Daten zu den Eisenoolith-Vorkommen von Blumberg, Geisingen und Waldshut (Sauer & Simon in Frank et al. 1975). Auch bei dieser Übersicht zeigt sich ein Wechsel von Tonmergeln und Mergel mit Mergelkalken und Kalken.

Das Studium der Eisenoolithe im Arbeitsbericht stützt sich stark auf Burkhalter (1995). Das ist insofern nicht durchwegs zielführend, als Burkhalter Sedimente im Gebiet der späteren Burgunder-Plattform beschrieb, während die Ablagerungen im östlich anschließenden schwäbischen Becken wohl in einem tieferen Ablagerungsmilieu entstanden. Ein Beispiel dieses tieferen Ablagerungsmilieus charakterisierten Burkhalter et al. (1997) anhand von Proben aus Bohrungen im östlichen schwäbischen Becken.

Für die Abschätzung der Dimensionen eisenoolithischer Gesteinskörper werden Beispiele aus dem nördlichen schwäbischen Becken verwendet (Bayer & McGhee, 1985). Diese schwäbischen Vorkommen wurden damals als Barren-Bildungen interpretiert. In neueren Darstellungen (z.B. Etzold et al., 1994) wird eine von den Gezeiten gesteuerte Anreicherung der Eisenooide in Senken des Reliefs am Meeresboden vermutet. Aufgrund der Faunen sind die Eisenoolithe auch keine küstennahen Ablagerungen. Die Eisenoolithe des Untersuchungsgebietes, soweit sie im Arbeitsbericht beschrieben werden, sind meist Biomikrite (Wackestones, oder Wacke- bis Packstones). Diese tonhaltigen Sedimente sind kaum Barrenbildungen, da die mikritische Grundmasse bei einer Barrenbildung ausgewaschen worden wäre.

Bereits einleitend wurde auf ein Modell von Collin et al. (2005) hingewiesen, welches belegt, dass die Ooidbildung in einem begrenzten Tiefenbereich unter und über der Sturmwellenbasis erfolgt. Da die Eisenooide oft mit einem Knauerhorizont aus exhumierten Knauern beginnt, skizzierte Bitterli-Dreher (2001) das folgende Modell für die Eisenoolithbildung in tonigen Abfolgen des Doggers (Abb. 8.16). Es geht von einem Meeresbodenrelief aus, wobei auf submarinen Kuppen oder Schwellen, die über die Sturmwellenbasis reichen, durch zeitweise Erosion Knauerhartgründe aus frühdiagenetischen Konkretionen entstanden. Dietze et al. (2014) beschreiben ein Profil aus der Achdorf-Formation der Tongrube Geisingen, in dem Konglomeratbänke an der Basis des Geisingen- und des Sowerby-Ooliths auftreten. In den Höhlungen zwischen den Knauern bildeten sich die Eisenooide in den obersten Lagen des Sedimentes, wo noch reduzierende Bedingungen herrschen. Abb. 8.17A und 8.17B zeigen ein Beispiel aus der Achdorf-Formation in der Tongrube Kandern. Periodische Aufarbeitung des Sedimentes fördert das Wachstum der Ooide und bewirkt auch deren Umlagerung in tiefere Meeresgebiete unterhalb der Sturmwellenbasis, wo Eisenoolithe mit einer Bivalvenfauna entstehen. Ein Beispiel ist der Subfurcaten-Oolith der Bohrung Benken mit zahlreichen Bivalvenschalen. Die Ablagerung fand in einem belebten Ablagerungsraum statt, denn die eisenoolithischen Gesteine sind oft von Grabspuren durchzogen (Abb. 8.18A). Die Eisenooidebildung ist auf den Kuppen auch durch wiederholte Aufarbeitung eines weichen Sedimentsubstrates ohne Knauer vorstellbar.

Die laterale Dimension von Eisenoolithen ist schwer zu fassen. Meist bilden die Eisenoolithe dünne Schichten von wenigen Dezimetern Mächtigkeit. Grössere Mächtigkeiten wie etwa im Gebiet Herznach-Wölflinswil sind meist nur kleinräumig entwickelt. In Falle des Herznacher Vorkommens scheint es, dass die Anreicherung des Eisenoolithes in einer Senke am Fuss einer WSW-ENE streichen Schwellenzone erfolgte. Im Erzlager von Herznach sind im Eisenoolith Aufarbeitungsflächen vorhanden, die zeigen, dass der Erzkörper durch wiederholte Schüttungen entstand (eigene Beobachtungen bei den Bohrungen Hübstel und Dachseln im Gebiet des Erzlagers Herznach (Bitterli-Dreher, 2011 und 2014)). Amsler (1922) beschreibt Beobachtungen bei der Erzprospektion, die ihn ebenfalls auf ein Modell aufeinanderfolgender Schüttungen führen. In Lagen angeordnete Eisenooide in tonig-mergeligem Gestein der Bohrung Schlattigen-1 könnten als eingeschwemmte Ooidlagen interpretiert werden (Abb. 8.18B).

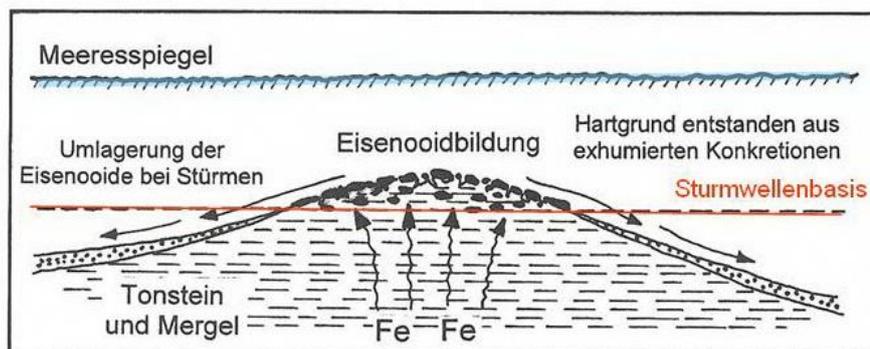


Abb. 8.16: Modell der Eisenoolithbildung in tonigen Abfolgen des Doggers. Bitterli, 2001, verändert. Erläuterung im Text.

Die Essenz für Standortuntersuchungen ist, dass eisenoolithische Horizonte in den meisten Fällen gut zwischen Bohrungen korreliert werden können, da sie entweder eine Makrofauna oder Palynomorphen enthalten. Eisenoolithe sind darum gute Zeitmarken innerhalb der Abfolgen. Das Gestein der Eisenoolithe des Gebietes ist praktisch immer tonhaltig. In der Literatur existiert dazu umfangreiches Datenmaterial mit chemischen Analysen (Fehlmann & Rickenbach, 1962, Frank et al., 1975).



Abb. 8.17A: Syndimentär exhumierte, frühdiagenetische Knolle aus einer Knollenlage (Hartgrund) an der Basis der Ornatentonformation („Ancepsoolith“). Tongrube Kandern, BRD. Die Knollen liegen an der Basis des Eisenooliths (Lage 1a). Die Knolle ist auf der Unterseite mit Pyrit imprägniert, in den Bohrgängen steckt eisenoolithisches Sediment. Die Bildung von Eisenoolithen setzte demnach zum Zeitpunkt der Knollenlage ein. Das Sediment enthält nach Dietl et al. (2012) lediglich Ammoniten des Galilaei-Horizontes (Unter-Callovien), die Bildung der Knollenlage dürfte darum einem Zeitraum von einigen Zehntausend Jahren entsprechen. Breite der Knolle: 13 cm.

Abb. 8.17B: Geologisches Profil (Dietl et al. 2012)

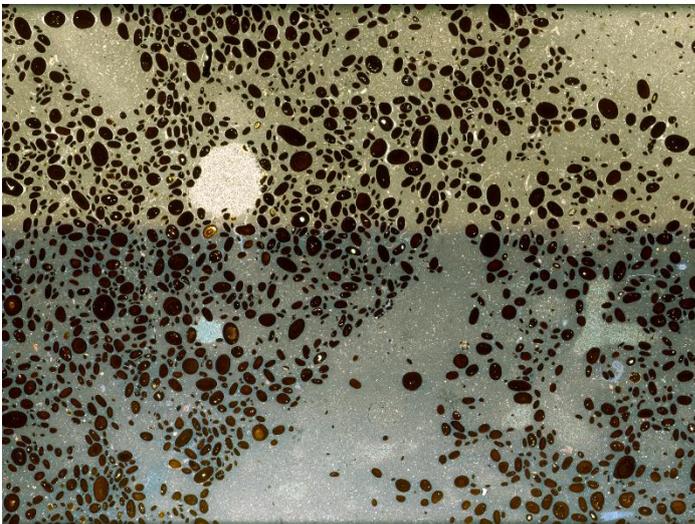
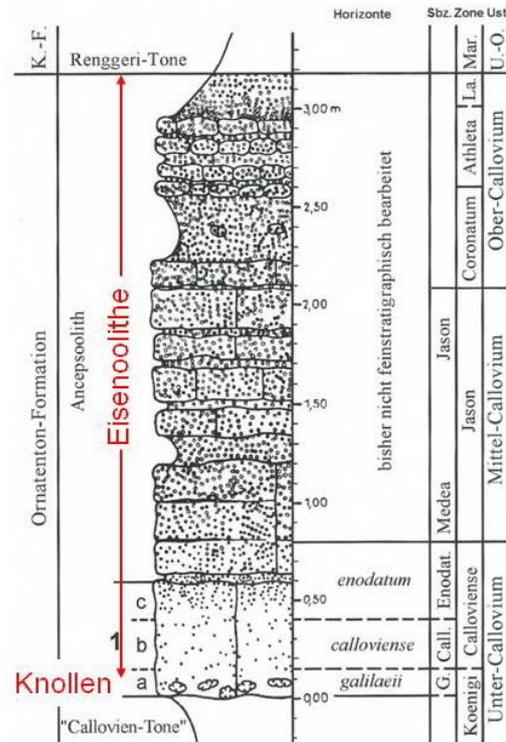


Abb. 8-18A: Dünnschliff einer Probe (757.85 m) aus der Wutach-Formation der Bohrung Schlattingen-1. Eisenoolithisches Gestein mit zahlreichen Grabgängen. Die Grundmasse ist mikritisch (Schlamm) und Ton- und Quarzreich. Die Eisenoolithe wurden von der grabenden Fauna beiseite geschoben und liegen teilweise tangential am Rand der Grabgänge. Dies belegt die primäre Natur der Eisenoolithe, sie sind nicht diagenetisch entstanden. Das Sediment bildete einige Zeit den Meeresboden. Bildbreite etwa 35 mm. Der untere Teil des Dünnschliffs ist für die Unterscheidung der Karbonatminerale gefärbt.

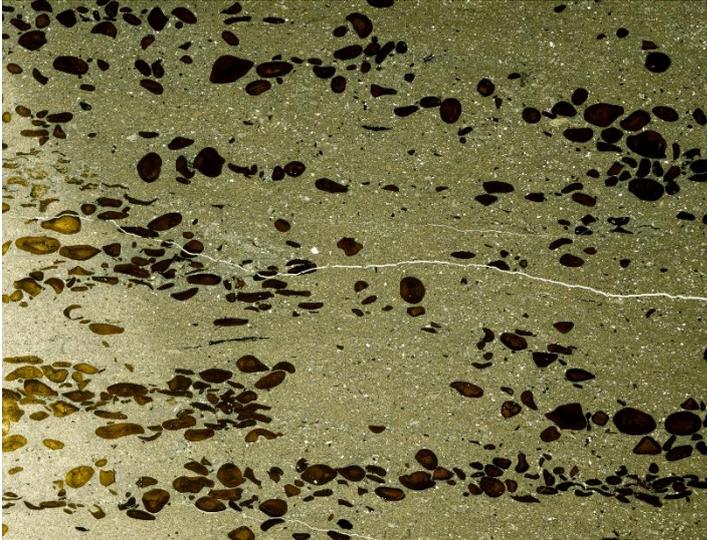


Abb. 8-18B: Dünnschliff einer Probe (SLA 791.90 m) aus dem Subfurcatenoolith der Bohrung Schlattingen-1. Vermutlich deformierte Eisenooide in Lagen angeordnet. Es dürfte sich um Schüttungen der Ooide über einen schlammigen Meeresboden handeln. Die Schichten wurden von grabenden Organismen teilweise gestört (z.B. Mitte unten). Die Deformation der Ooide könnte auf die Kompaktion des Gesteins zurückgehen. Bildbreite ca. 23 mm. Der dunklere Teil ist gefärbt.

Kenntnislücken

Position, Richtung, Art und Frequenz der möglichen synsedimentären Brüche sind wenig bekannt (NAB 12-51, p. 76).

Dieser Punkt ist aufgrund der Seismik-Resultate in den Hintergrund getreten. Ob die paläozoischen Strukturen eine gewisse Bedeutung haben müsste weiter verfolgt werden. Sie liegen aber nicht in den eigentlichen Standortgebieten.

Ebenso bestehen Kenntnislücken in der Ausbildung der Formationen zwischen Benken und Weiach sowie zwischen Weiach und West-Lägern (NAB 12-51, p. 76).

Diese Lücken bestehen, sie können nur durch zusätzliche Bohrungen geschlossen werden.

9. Bemerkungen zur Stratigraphie des „Braunen Doggers“

Gesteinsabfolgen werden zum einen mit lithostratigraphischen Einheiten geordnet, daneben besteht eine chronostratigraphische Ordnung nach dem Alter der Gesteinsschichten. Die Lithostratigraphie dient der Gliederung von Gesteinsabfolgen in unterscheidbare Gesteinseinheiten unabhängig von deren Alter. Lithologisch einheitliche Gesteinskörper werden als Formationen oder Member bezeichnet, wenn sie auf einer geologischen Karte 1:25'000 dargestellt werden können. Gemäss den Richtlinien zur stratigraphischen Nomenklatur (Remane et al. 2005) werden diese lithologischen Einheiten nach einer Typuslokalität benannt, also mit einem Orts- oder Flurnamen. In Ausnahmefällen kann ein alter überlieferter Name weiter geführt werden, wie beispielsweise im Falle des Opalinustons oder des Hauptrogensteins, er muss dann aber formell als Formation definiert werden.

Das Untersuchungsgebiet des „Braunen Doggers“ umfasst ein Areal, in dem ein Faziesübergang von Plattform-Ablagerungen in Beckenablagerungen eines seichten Epikontinentalmeeres stattfindet. Die lithostratigraphischen Einheiten des Juras sind darum im Untersuchungsgebiet des „Braunen Doggers“ für die Gesteinsbezeichnungen teilweise ungeeignet. Die Gesteinsabfolge im Untersuchungsgebiet hat Ähnlichkeit mit den Abfolgen im Wutachgebiet, wo gute Aufschlüsse die Schichtfolge offen legen. Die Nagra verwendet darum zur Bezeichnung der Gesteinskörper einige der in Süddeutschland definierten Formationsnamen. In der Schweiz sind diese „schwäbischen Formationen“ vor allem in den Bohrungen erschlossen worden, aber einzelne Formationen stehen im Gebiet des Randens an. Die entsprechenden Formationen, soweit sie im Gebiet des Schweizer Randens an der Erdoberfläche auftreten, werden auf den Karten des geologischen Atlas mit traditionellen

Formationsnamen bezeichnet. Nachfolgend werden die entsprechenden Bezeichnungen auf den beiden Blättern des geologischen Atlas der Schweiz, auf denen der Dogger des Randens ansteht, aufgelistet.

Bezeichnungen des Doggers auf Blatt 1011 Beggingen (Hofmann et al, 2000):

Bezeichnung auf Kartenblatt und Erläuterungen	Stufe	Quenstedt'sche Stufen
„Macrocephalus-Oolith“ und „Grenzkalk“	Callovien	Braunjura ζ
Varians-Schichten (Knorri-Tone)	mittl. und ob. Bathonien	Braunjura ε
Württembergica-Schichten	unt. Bathonien	
Parkinsoni-Schichten	ob. Bajocien	Braunjura δ ₂
Humphriesi- und Blagdeni-Schichten	mittl. Bajocien	Braunjura δ ₁
Oberer Wedelsandstein	unt. Bajocien	Braunjura γ ₂
Sowerbyi-Schichten (Sonninien-Schichten)	unt. Bajocien	Braunjura γ ₁
Murchisonae-Schichten (Ludwigien-Schichten)	Aalénien	Braunjura β
Opalinuston	Aalénien	Braunjura α/β

Bezeichnungen des Doggers auf Blatt 1031 Neunkirch (Hofmann, 1981):

Bezeichnung auf Kartenblatt und Erläuterungen	Stufe	Quenstedt'sche Stufen
„Grenzkalk“ und Macrocephalus-Oolith	Callovien	Braunjura ε/ζ
Varians-Schichten	Bathonien	Braunjura ε
Parkinsoni-Schichten	ob. Bajocien	Braunjura ε
Blagdeni-Schichten und Humphriesi-Schichten	mittl. Bajocien	Braunjura δ
„Blaukalke“; Sauzei- und Sowerbyi-Schichten	unt. Bajocien	Braunjura γ
Murchisonae-Schichten	Aalénien	Braunjura β
Opalinus-Ton	Aalénien	Braunjura α

Für die Beschreibung der Gesteinsabfolgen im Gebiet des „Braunen Doggers“ hat die Nagra nun die stratigraphischen Einheiten für das Gebiet vom Aargauer Jura bis in den schwäbischen Jura zusammengefasst (Abb. 9.1). Dabei wurden Formationen aus der nördlichen Schweiz mit Formationen aus Süddeutschland kombiniert, wobei letztere als informelle Einheiten eingeführt werden. Informelle Einheiten sollen gemäss den Regeln als solche gekennzeichnet werden und baldmöglichst durch formelle Einheiten ersetzt oder eliminiert werden (Remane et al. 2005).

Die neueren Formationen aus Süddeutschland wurden bislang vor allem in den Erläuterungen zum Geologischen Kartenblatt 8117 Blumberg (GLA 2004) verwendet. Die Blätter die die Nordschweiz berühren (z.B. Blatt 8316/8416 Klettgau/Hohentengen, GLA 1994) führen noch die traditionellen Formationsbezeichnungen auf. In Geyer et al. (2011) werden die verschiedenen neuen Einheiten gesamthaft dargestellt, aber es fehlen oft Hinweise auf die grundlegenden Arbeiten, in denen die Formationen und ihre Typuslokalitäten definiert wurden.

Die auffälligsten Unterschiede der stratigraphischen Prozeduren der Jura-Formationen in Süddeutschland und der Schweiz sind folgende:

In der Schweiz werden heutzutage grössere Einheiten zu Formationen zusammengefasst. Die lithologisch einheitlichen Gesteinskörper werden als Member dieser Formationen definiert. Ziel dieses Vorgehens ist eine Vereinfachung und Straffung der geologischen Kartenlegenden. In Süddeutschland wurden zahlreiche Versuche unternommen, das Schichtengebäude neu zu ordnen. Dabei wurden teilweise ältere Einheiten übernommen und lediglich in der Namengebung angepasst (z.B. Variansmergel-Formation). Daneben wurden aber auch neue Einheiten definiert und beschrieben (z.B. Wutach-Formation, Achdorf-Formation).

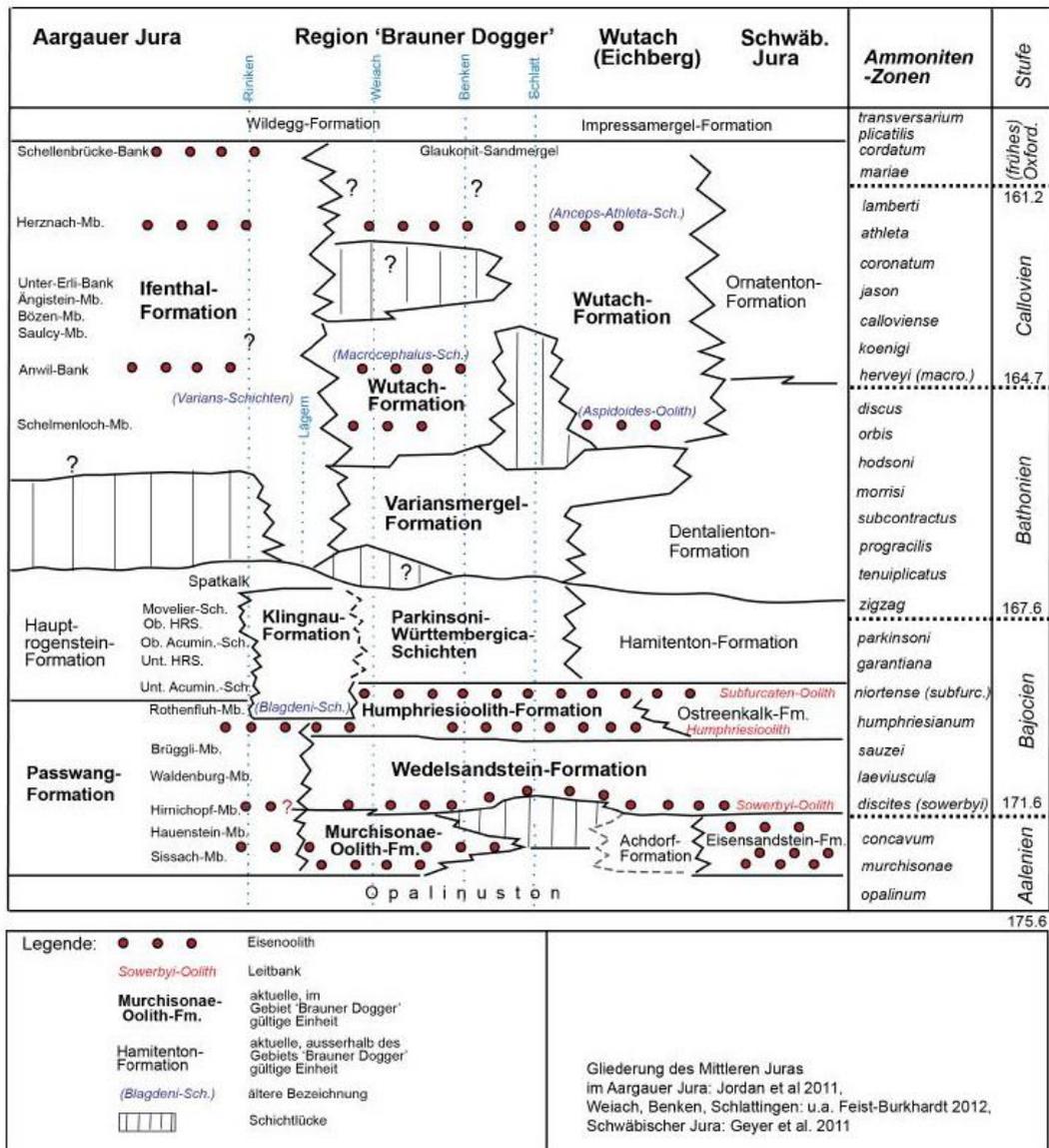


Abb. 9.1: Stratigraphische Einheiten in der Region des „Braunen Doggers“ und angrenzender Gebiete (NAB 12-51, Fig. 2).

Beim Verschmelzen der beiden Systeme ergeben sich naturgemäss einige Ungereimtheiten. So fällt ins Auge, dass die Zahl der Formationen gegen Osten zunimmt, und diese teilweise geringmächtig werden. Den drei Formationsgliedern des Doggers der Burgunder Plattform in der nördlichen Schweiz stehen so 6 Formationen im schwäbischen Faziesraum gegenüber. Dabei ergibt sich naturgemäss das Problem, dass nicht jeder Formation im einen Faziesraum eine Formation im anderen Faziesraum entspricht.

Einige Beispiele mögen dies illustrieren. Das geologische Landesamt Baden Württemberg hat 2001 auf seiner Website eine stratigraphische Übersicht publiziert, in der die Dentalienton-Formation und Hamitenton-Formation bis ins Hochrheingebiet galten. In Geyer et al. (2011) werden sie in einer Profilsreihe dargestellt, die bis ins Wutachgebiet reicht. Im lithostratigraphischen Lexikon Deutschlands „LithoLex“ (www.bgr.de/app/litholex) werden beide Formationen bis ins Wutachgebiet erwähnt, dort erreichen sie ihre grösste Mächtigkeit (Abb. 85, p. 247). Das Hochrheingebiet wird nicht mehr erwähnt. Im Bericht der Nagra (NAB 12-51) wird darum die ältere Bezeichnung Parkinsoni-Württembergica-Schichten verwendet und neben die Hamitenton-Formation der schwäbischen Alb gestellt. Lithostratigraphisch

besteht aber kaum ein wesentlicher Unterschied, die Tonfazies zieht sich von der Wutach bis zum Hochrhein. Die Variansmergel-Formation, die im LithoLex noch nicht eingetragen wurde, ersetzt nun in der nördlichen Schweiz das Schelmenloch-Member der Ifenthal-Formation, von dem sie sich aber lithologisch kaum unterscheidet.

Wie unschlüssig das Vorgehen teilweise ist, zeigt beispielsweise die Achdorf-Formation, die lediglich im Wutach-Gebiet definiert wurde und die lateral in traditionelle Formationen oder Schichtlücken übergeht. Sie wurde seinerzeit in der Bohrung Benken übernommen, wo Ammoniten der Murchisonae-Zone in der Tonfazies beobachtet wurden. Aufgrund der Palynostratigraphie werden diese Lagen nun im NAB 12-51 wieder zum Opalinuston geschlagen (Opalinum-Zone). Dies ist lithostratigraphisch in Ordnung, denn es besteht kein wesentlicher lithostratigraphischer Kontrast zum Opalinuston. Dazu ist aber anzumerken, dass seinerzeit in diesen Tonlagen in Benken Ammoniten der Murchisonae-Zone auftraten (plattgedrückte Ludwigien?). Es besteht darum hier die Chance, Ammonitenstratigraphie und Palynostratigraphie zu vergleichen. Leider finden sich im Schlussbericht zur Bohrung Benken keine Angaben zu diesen Ammoniten. Eventuell finden sich Hinweise in den Tagesrapporten der Bohrung Benken, oder die entsprechenden Kerne werden überprüft.

Mit der Wutach-Formation wurden die eisenoolithischen Schichten des späten Bathonien und Callovien und frühen Malm zusammengefasst, die im Wutachgebiet mit mergeligen Zwischenschichten übereinander liegen (Dietl, 2010). Eine Überlagerung von unterschiedlich alten Eisenoolithen liegt in der Schweiz auch im Gebiet von Erlinsbach vor (Jordan et al. 2006), auch dort liegen die Eisenoolithe des späten Bathonien und frühen Callovien (Anwil-Bank) und des Herznach-Members (Mittel Callovien-Unter Oxfordien) übereinander. Sie wurden zusammen mit dem geringmächtigen Schelmenloch-Member als Ifenthal-Formation (Herznach-Member und Anwil-Bank) kartiert. Der lithologische Aufbau des Herznach-Members und der Wutach-Formation sind sehr ähnlich, der Namenswechsel erfolgt darum ohne lithologische Begründung. Die Unterschiede sind lediglich paläontologischer Natur. Die Wutach-Formation wurde 2012 im LithoLex eingetragen, die Verbreitung wurde mit „auf das Wutach-Gebiet beschränkt“ angegeben.

Die Beispiele zeigen, dass ein erheblicher Diskussionsbedarf besteht. Die Problematik wurde bereits ins Schweizerische Komitee für Stratigraphie (SKS), Arbeitsgruppe Ostjura eingebracht. Es ist nun die Aufgabe dieses Gremiums hier in Zusammenarbeit mit den deutschen Kollegen eine grenzübergreifende Lösung zu erarbeiten.

Die wichtigsten stratigraphischen Änderungen in den Berichten der Nagra sind folgende:

- **Bohrung Weiach:** Der „Humphriesi-Oolith „rutscht“ nach oben und ersetzt den Subfurcaten-Oolith. Neu wird eine Wedelsandstein-Formation anstelle eines Teils der Parkinsoni-Schichten ausgeschieden.
- **Bohrung Benken:** Die Humphriesioolith-Formation ersetzt Humphriesi-, Blagdeni- und Subfurcaten-Schichten. Die Achdorf-Formation wird fallen gelassen, es verbleibt lediglich die Murchisonae-Oolith-Formation.
- **Bohrung Schlattigen:** Auf dem Opalinuston ruht direkt der Sowerbyi-Oolith, der die Basis der Wedelsandstein-Formation bildet („Sowerbyi-Bank“). Die Murchisonae-Oolith-Formation tritt nicht auf. Während der entsprechenden Ammonitenzone (Murchisonae-Zone) wurde Opalinuston abgelagert.

Mit Gradstein et. al. (2012) haben die Gesteinsalter erneut geändert. Da im Dogger eine intensive Suche nach GSSP-Lokalitäten im Gang ist, gibt es viele neue Daten. So wird heute für die Dogger-Malm-Grenze 163.5 Ma angegeben, anstelle von 164.7 Ma in Gradstein et al. (2004).

Unter den Ammonitenzonen wird in den Nagra-Berichten der Begriff der Tenuiplicatus-Zone verwendet. Diese ist eine Subzone der Zigzag-Zone. Auch Gradstein et al. (2012) führen nur die Zigzag-Zone auf. Schlegelmilch (1985) führt die Schicht mit *Asphinctites tenuilobatus* als oberste Subzone der Zigzagiceras-Zone auf (Oberstes Unter-Bathonien).

Bemerkung zur Klingnau-Formation: Im Gebiet der Typlokalität (die fast völlig verschüttet ist) enthält die Abfolge auch Mergellagen mit Kalkooiden. Man findet solche Gesteine auch weiter östlich in den Rebbergen des Surbtals. Die Ooidschüttungen ziehen sich demnach einige Kilometer ins schwäbische Becken hinein.

10. Reflexionsseismische Analyse des „Braunen Doggers“

10.1 Zusammenfassung der Arbeiten und Resultate der Nagra zur reflexionsseismischen Analyse des „Braunen Doggers“

Mit dem Bericht NAB 14-58 werden die Arbeiten zur Charakterisierung der sedimentologischen Eigenschaften des „Braunen Doggers“ mit Hilfe von Resultaten der Seismik-Erkundungen zusammengefasst. Der Bericht ergänzt somit den Bericht NAB 12-51, der die sedimentologischen und stratigraphischen Grundlagen dazu darstellte.

Das Ziel der Untersuchungen ist es, Mächtigkeit und lithologische Ausbildung des „Braunen Doggers“ längs der Seismik-Linien aufzuzeigen. Weiter sollen Daten zur lateralen Kontinuität der „Harten Bänke“ gewonnen werden. Untersuchungsgebiet ist die Region der beiden Standortgebiete Nördlich Lägern und Zürich Nordost, gegen Westen wird auch der Faziesübergang zu den Plattformsedimenten des Juras einbezogen.

Folgende grundlegenden Aspekte wurden abgeklärt:

- Gibt es zwischen den reflexionsseismischen Horizonten Basis Malm (BMA) und Near Top Opalinuston (nTOp) weitere seismische Horizonte im „Braunen Dogger“?
- Analyse der seismostratigraphischen Hinweise auf laterale Fazieswechsel und Darstellung der Geometrie seismischer Faziesseinheiten.
- Gibt es Zusammenhänge zwischen seismofaziellen Wechseln und den Strukturen im Grundgebirge und im Permokarbon-Trog?
- Darstellung der Genese der erkannten Einheiten.

Datengrundlage waren die neuen 2D-Seismiklinien der Kampagnen 2011/12 und einige reprozessierte Linien älterer Kampagnen. Mit Hilfe geophysikalischer Logs aus 14 Bohrungen wurde die Sedimentgesteinsabfolge charakterisiert. Das Auflösungsvermögen im Intervall BMA-nTOp beträgt etwa 17 m für das Gebiet Nördlich Lägern.

Resultate der seismischen Faziesanalyse

Ein Vergleich der Bohrlochlogs mit der Stratigraphie (Fig. 4, NAB 14-58) ergab im westlichen Teil des Untersuchungsgebietes keine klaren Korrelationen. Die Verhältnisse zwischen den Bohrungen Schafisheim und Riniken konnten in keinem stratigraphischen Niveau korreliert werden. Im östlichen Gebiet zeigten die Parkinsoni-Württembergica-Schichten eine gute Korrelierbarkeit und eine hohe laterale Kontinuität. Allerdings zeigen die tieferen Horizonte ebenfalls keine korrelierbaren Logkriterien. Dieser Sachverhalt wird im Bericht klar festgehalten:

Eine detaillierte Logkorrelation der lithostratigraphisch definierten Formationen und Member lässt sich mit Hilfe von zugeordneten Logkriterien nicht vornehmen (NAB 14-58, p. 47).

Die Reflexionseigenschaften der Abfolgen erlauben aber die Definition von seismischen Faziesseinheiten, welche Hinweise auf Fazieswechsel innerhalb der Doggerabfolge liefern. Die Bohrungen Riniken und Tegerfelden-2 dienen zur Charakterisierung der Übergangsfazies, die Bohrung Weiach für die Beckenfazies. Abb. 10.1 und 10.2 zeigen Beispiele der Bohrungen Riniken und Tegerfelden-2 im westlichen Gebiet, Abb. 10.3 und 10.4 illustrieren Beispiele des östlichen Untersuchungsgebietes.

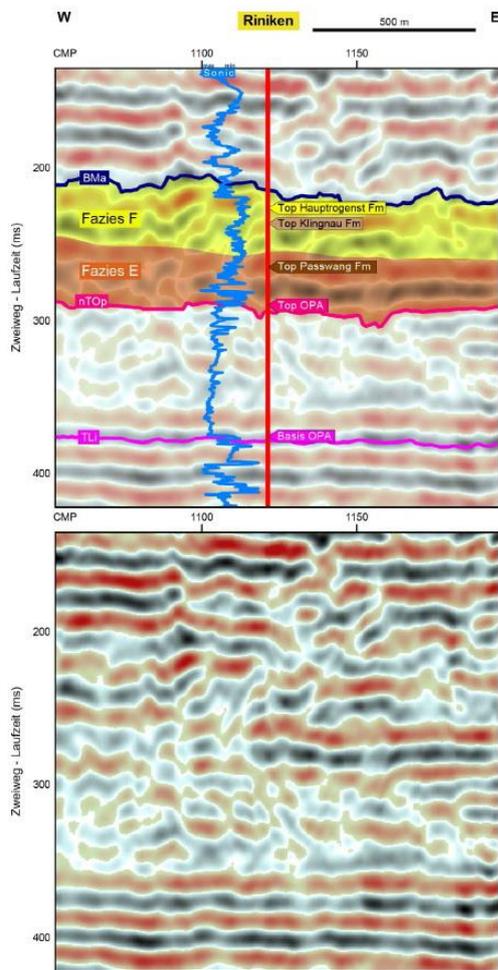


Abb. 10.1: Bohrung Riniken, Vergleich des Sonic-Logs mit der Seismik-Linie 82 NS-70 und Einteilung in seismische Faziesseinheiten (NAB 14-58, Fig. 6).

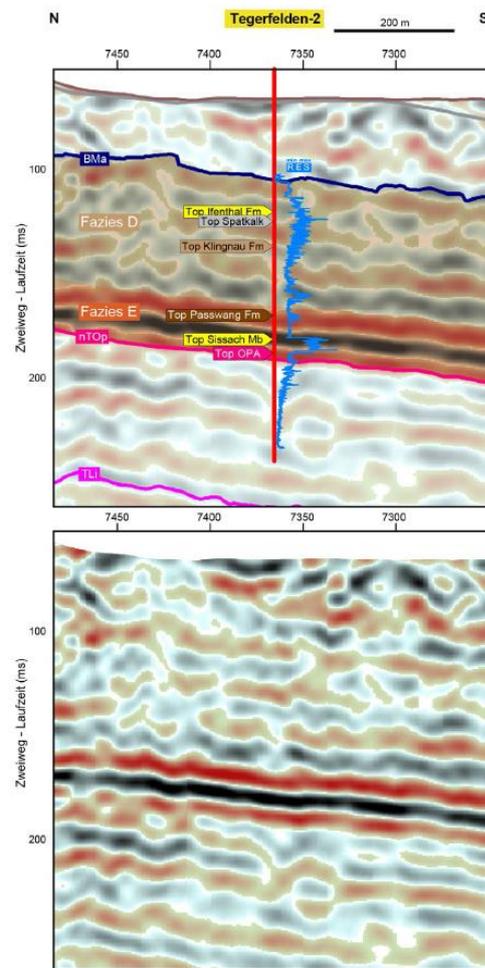


Abb. 10.2: EWS-Bohrung Tegerfelden-2, Vergleich des Widerstands-Logs mit der Seismik-Linie 11 NS-12 und Einteilung in seismische Faziesseinheiten (NAB 14-58, Fig. 7).

Insgesamt konnten auf den Seismik-Linien 6 seismische Faziestypen erkannt werden:

- In der Beckenfazies des östlichen Gebietes wurden die Fazies A, B und C ausgeschieden.
- In den westlichen Gebieten wurden die Fazies D, E und F abgetrennt, die auch als Übergangsfazies bezeichnet werden.

Fazies A: Im östlichen Gebiet, welches für das Projekt im Vordergrund steht, zeigen sich diskordante Lagerungen mit Downlap- und Onlap-Geometrien. Linsenförmige, wenig reflektive Bereiche werden als Fazies A bezeichnet (Abb. 3.5). Sie ist in die höher reflektive Fazies B eingebettet. Die Anordnung der beiden Fazies wird als Schwellenzone interpretiert. Diese Fazies wurde bislang nicht durch Bohrung erschlossen.

Fazies B: Im östlichen Gebiet ist der untere „Braune Dogger“ durch eine hochamplitude Seismikfazies gekennzeichnet. Man beobachtet kontinuierliche mittel- bis hochfrequente Reflexionen mit hohen Amplituden. Diese Fazies kann in den Bohrungen Weiach und Benken beobachtet werden (Abb. 4.3 und 4.4), es handelt sich um eine Abfolge aus Eisenoolithen, sandigen Kalken und mächtigen Ton-Mergellagen.

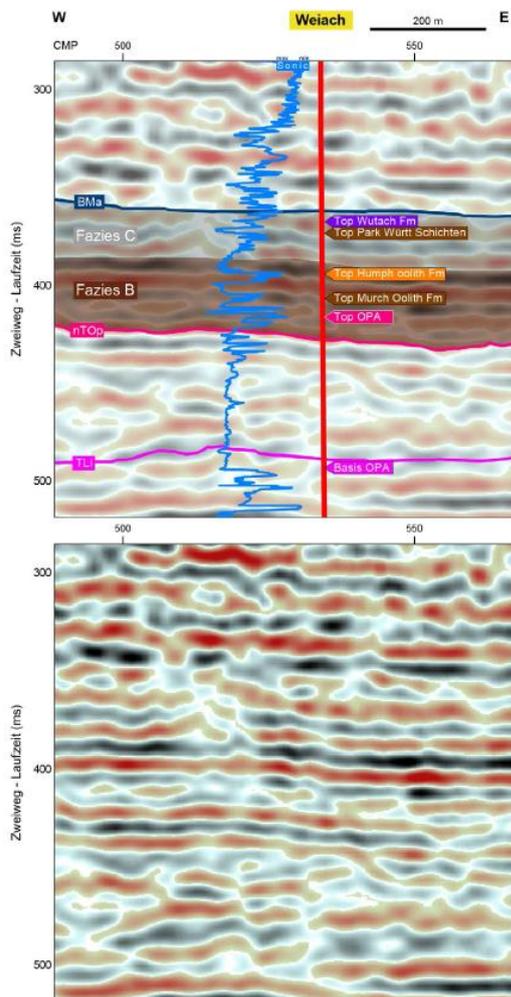


Abb. 10.3: Bohrung Weiach, Vergleich des Sonic-Logs mit der Seismik-Linie 91-NO-75 und Einteilung in seismische Fazieseinheiten (NAB 14-58, Fig 8).

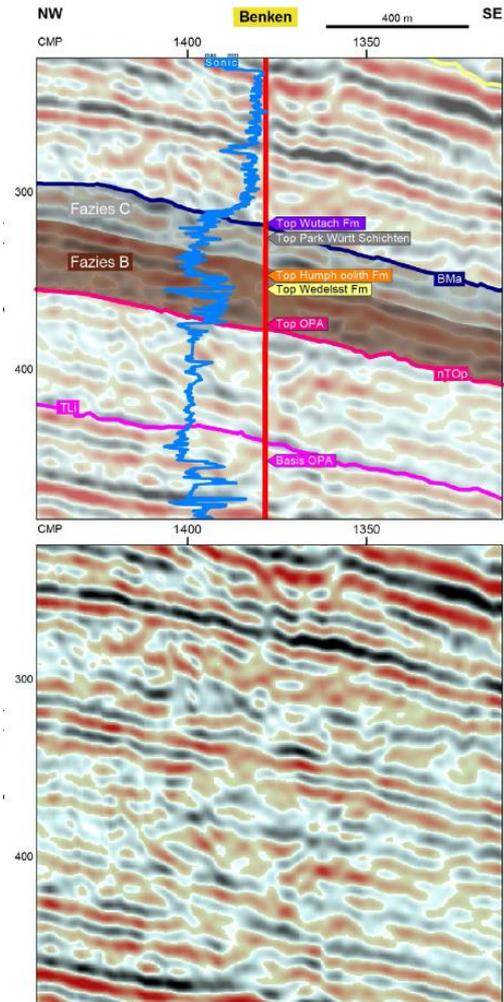


Abb. 10.4: Bohrung Benken, Vergleich des Sonic-Logs mit der Seismik-Linie 91-NO-58 und Einteilung in seismische Fazieseinheiten (NAB 14-58, Fig. 9).

Fazies C: In den höheren Lagen des „Braunen Doggers“ tritt eine tiefamplitude Seismikfazies auf. Es handelt sich um seismisch kontinuierliche, mittel- bis niedrigfrequente Reflexionen mit mittleren Amplituden. Diese Fazies C entspricht geologisch zur Hauptsache den Parkinsoni-Württembergica-Schichten (Abb. 10.3 und 10.4). Gegen Osten, insbesondere im Gebiet der Schwellenzone verringert sich die Mächtigkeit und an der Basis beobachtet man Onlap-Geometrien. Die Fazies liegt deckenartig über der gesamten Schwellenregion.

Fazies D: Diese Fazies tritt im Übergangsbereich gegen Westen auf. Es handelt sich um kontinuierliche, mittel- bis niedrigfrequente Reflexionen mit tiefen bis mittleren, aber stellenweise auch hohen Amplituden. Es könnte sich geologisch um die Klingnau-Formation handeln. Diese Formation zeigt im Westen (Bohrung Tegerfelden-2) im oberen Teil mehrheitlich tonig-mergelige Abschnitte wie im Osten. Darüber liegt das Spatkalk-Member. Der untere Teil enthält oolithische Kalke und Mergel mit biodetritischen Kalklagen. Diese

lithologische Zweiteilung kann auf der Seismik erkannt werden. (z.B. NAB 14-58, Beilage 5, CMP 9400-9000). Der Übergang zur Fazies C ist fließend.

Fazies E: Gegen Westen, in der Übergangsfazies, beobachtet man hochamplitude, niedrig- bis mittelfrequente Reflexionen, die kontinuierlich auftreten. Diese Fazies E entspricht hauptsächlich der Passwang-Formation. Im östlichen Teil des Untersuchungsgebietes geht sie in die Fazies B über.

Fazies F: Ausgehend von der Bohrung Riniken zeigen sich eher niederfrequente, diskontinuierliche Reflexionen mit eher tiefen Amplituden. Diese Fazies F dürfte der Haupttrogenstein-Formation und den mergeligen Abschnitten der Klingnau-Formationen entsprechen. Sie geht gegen Osten in die Fazies D über, welche weiter östlich von der Fazies C abgelöst wird.

Seismische Faziesverteilung im „Braunen Dogger“

Die Kartierung der seismischen Fazies im Untersuchungsgebiet ist ein schwieriges Unterfangen, denn die Qualität der Linien ist nicht immer ausreichend für diesen Schritt. So wird denn auch im Nagra NAB 14-58, p. 31 festgehalten:

...die Einteilung des „Braunen Doggers“ und seiner westlichen Äquivalente in seismische Faziesseinheiten hat einen Versuchs- bzw. Modellcharakter. Die regionale seismische Fazieskartierung ist besonders in den hier enger untersuchten Gebieten durch die oft schlechte Abbildungsqualität in den tektonisch beanspruchten Gebieten stark beeinträchtigt (NAB 14-58, p. 31).

Seismische Faziesseinheiten lassen sich jedoch definieren, da gebietsweise charakteristische Reflexionseigenschaften beobachtet werden. Laterale Zusammenhänge müssen aber oft modellhaft ergänzt werden. Insbesondere im östlichen Teil des Standortgebietes Nördlich Lägern ist die Datenqualität dank neuer Linien gut und die Faziesseinheiten lassen sich hier entsprechend gut verfolgen (z.B. Abb. 10.5). Die Faziesseinheiten entsprechen nicht notwendigerweise stratigraphischen Grenzen, sie sind eher ein Abbild der lithologischen Abfolgen.

Im Arbeitsbericht NAB 14-58 werden die Faziesverteilungen mit Karten für den unteren und den oberen „Braunen Dogger“ zusammengefasst (Abb. 10.6 und 10.7).

Faziesverhältnisse im unteren „Braunen Dogger“

Im Hauptteil des Gebietes Nördlich Lägern dominiert die hochamplitude Fazies B, die gegen Westen allmählich in die Fazies E übergeht. Fazies B dürfte der Gesteinsabfolge Humphriesoolith-, Wedelsandstein- und Murchisonae-Oolith-Formation entsprechen. In dieser lithologisch sehr wechselhaften Abfolge ergeben sich durch die ausgeprägten lithologischen Wechsel laterale kontinuierliche Reflexionen mit hohen Amplituden.

Im Bereich der Schwellenzone nimmt die Einheit scheinbar an Mächtigkeit zu, was auf die Einschaltung der Fazies A zurückgeführt wird. Die Bezeichnung „Schwellenzone“ geht auf die im Vergleich zur Umgebung grössere Mächtigkeit der Einheiten A und B zurück, die zudem auf einer planaren Unterlage aufliegen. Diese Einschaltungen mit geneigten Reflexionen treten sowohl an der Basis der Fazies B, als auch in höheren Lagen auf. Die Gebiete mit Fazies A sind auf der Karte Grün gefärbt (Abb. 10.6).

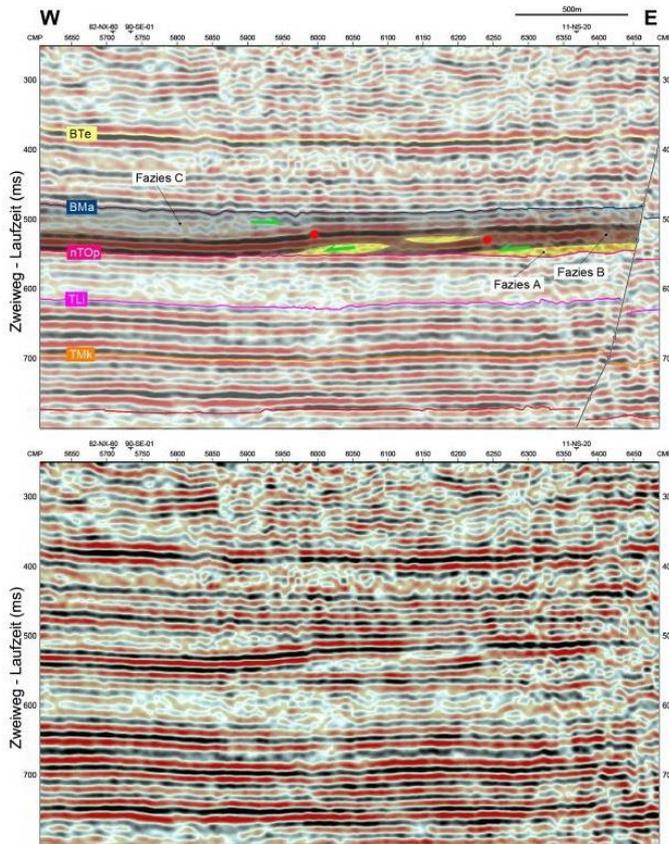


Abb. 10.5:

Ausschnitt aus der seismischen Linie 11-NS-33

Transparente Fazies A (gelb) in Fazies B eingeschaltet. Die Fazies A geht gegen Westen kontinuierlich in die lateral äquivalente, parallel gelagerte seismische Fazies B über. In der Fazies A sind nach Westen geneigte Reflexionen („Forsets“) erkennbar. Die roten Punkte markieren die Orte, an denen die Reliefveränderung beobachtet/vermutet wird.

Die Fazies C überdeckt die tieferen Fazies. Am Rand der Schwellenzone stößt sie mit einer Onlap-Geometrie (grüner Pfeil) auf das Dach der Fazies B.

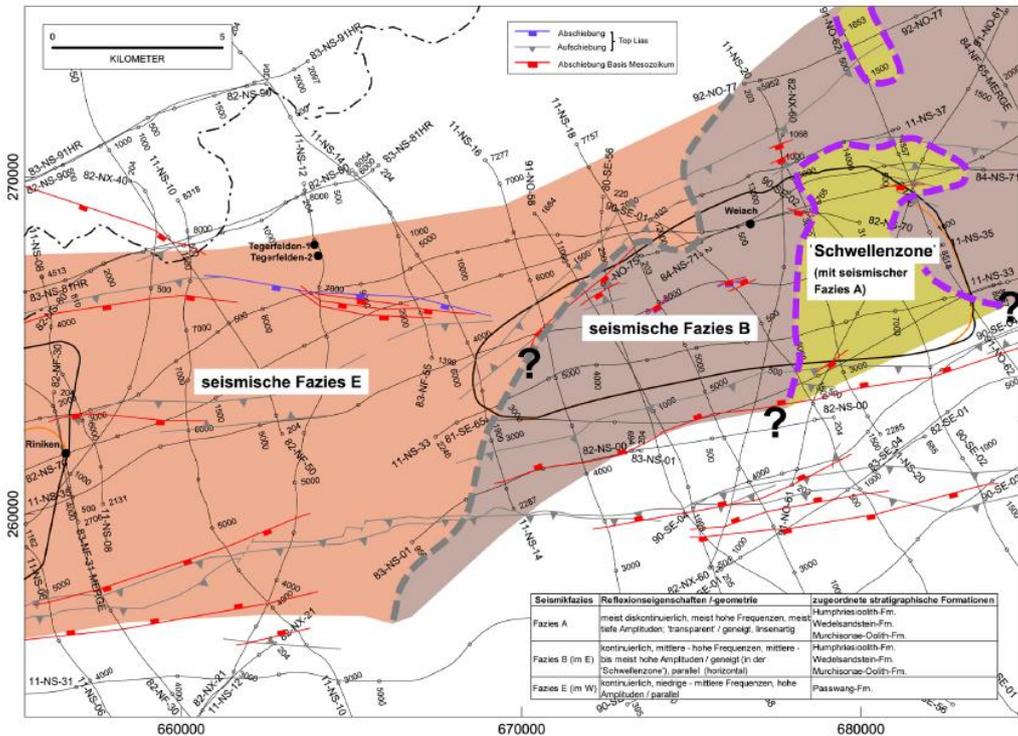


Abb. 10.6: Seismische Faziesverteilung im unteren „Braunen Dogger“. (NAB 14-58, Abb. 15). Rote Linien: Strukturelemente der Niveaus Top Lias und Basis Mesozoikum. Der Übergang von Fazies E zu Fazies B bildet eine Übergangszone die wegen der oft ungenügenden seismischen Abbildungsqualität nur ungenau festgelegt werden kann.

Bild erinnert an die Schwellenzone im Westen. Allerdings sind keine transparenten Einschaltungen erkennbar und auch die hohe Reflektivität der westlichen Schwellenzone fehlt. Die Fazies B erstreckt sich ohne Änderungen bis ins Gebiet der Bohrung Benken. Es sind darum hier keine sedimentologischen Fazieswechsel zu erwarten.

Der in den Bohrprofilen beobachtete Fazieswechsel und die Mächtigkeitsunterschiede der Humphriesioolith-, Wedelsandstein- und Murchisonae-Oolith-Formation (Abb. 8.5) können somit auf den Seismik Linien nicht nachvollzogen werden. Über die östliche Schwelle legt sich wie im Westen die Fazies C, die den Parkinsoni-Württembergica-Schichten zugeordnet wird.

Interpretation der Fazieswechsel

Die Fazieswechsel im Untersuchungsgebiet werden oft mit synsedimentärer Tektonik in Verbindung gebracht. Es werden 3 Beispiele aufgeführt:

- Burkhalter (1996) postuliert N-S streichende Grabenstrukturen (Halbgräben), in denen die Sandkalkabfolgen des Sissach-Members zur Ablagerung kommen.
- Wetzel et al. (2003) nehmen an, dass reaktivierte Grundgebirgsverwerfungen im Zusammenhang mit dem Nordschweizer Permokarbondrog die Sedimentation beeinflussten.
- Jordan et al. (2011) erwähnen eine SSW – NNE-streichende Schwellenzone mit stark reduzierter Mächtigkeit der Ablagerungen des Bathonien und Callovien. Rais et al. (2007) nehmen an, dass zeitweise starke Meeresströmungen in der neu entstandenen hispanischen Meeresstrasse (früher Südatlantik) den Meeresboden sedimentfrei hielten.

Mit der Schwellenzone im Gebiet „Nördlich Lägern“ liegt eine grob N-S gerichtete Struktur vor, die auf synsedimentäre tektonische Bewegungen zurückgehen könnte. Eine entsprechende Auswertung der Seismik zeigt aber, dass im Untergrund keine Hinweise auf synsedimentäre Störungen, insbesondere auch auf Halbgräben im Sinne von Burkhalter (1996), zu finden sind. Die Hauptrichtungen der tektonischen Strukturen im Gebiet „Nördlich Lägern“ sind die paläozoischen Richtungen WSW-ENE und WNW-ESE.

Einzig der Fazieswechsel von der Fazies B zur westlichen Fazies E korreliert einigermaßen mit der Siglistorf-Antiklinale, die über einer bedeutenden Grundgebirgsstörung entstanden ist (Naef & Madritsch, 2014). Weiter beobachtet man im Gebiet Nördlich Lägern eine sprunghafte Abnahme der Mächtigkeit des Seismik-Intervalls nTOP-BMa beim Verlauf über das Baden-Irchel-Herdern-Lineament (Naef & Madritsch, 2014). Dies könnte auf differenzielle Subsidenz und auf eine leichte Reaktivierung der randlichen Störungszonen des Permokarbondrog zurückzuführen sein. Auch im Gebiet Zürich Nordost wurden ähnliche Beobachtungen gemacht (Birkhäuser et al. 2001, Kempfer 1993).

Interpretationen zu den Schwellenzonen

Die Schwellenzonen gehen auf seismisch transparente, linsenförmige Gesteinskörper zurück, die als Fazies A bezeichnet werden. Die Vorkommen an der Basis des „Braunen Dogger“-Intervalls bilden ein positives Relief über der mehr oder weniger ruhig gestalteten Oberfläche des Opalinustons. Es gibt aber auch Vorkommen die in höheren Lagen der Abfolge liegen (Abb. 10.5). Die einzelnen Vorkommen der Fazies A haben Dimensionen von einigen hundert Metern bis einigen Kilometern. Neben einem grösseren, fleckenhaften Vorkommen von einigen Kilometern Ausdehnung zeigt sich am nördlichen Rand des Untersuchungsgebietes ein weiteres kleines Vorkommen (Abb. 10.6 und 10.7).

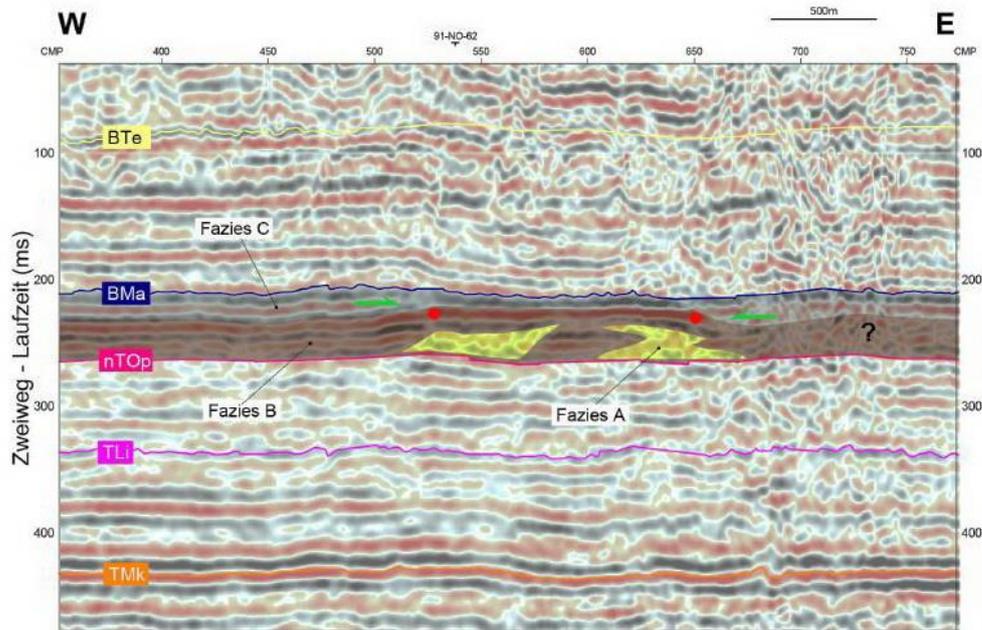


Abb. 10.8: West-Ost Linie durch die westliche Schwellenzone (Linie 92-NO-77). Gut sichtbar ist der Westrand einer Schwelle mit Onlap-Geometrie gegenüber der anstossenden Fazies C. Der Ostrand zeigt die Schwierigkeiten bei ungenügender Seismik-Qualität, das östliche Ende der Schwellenzone ist kann hier nur vermutet werden. Die östlich anschliessende Seismik ist gestört. Die Basis der Schwelle ist hingegen ruhig gelagert (NTB 14-58, Fig. 14).

Die Fazies A ist in die mittel- bis hochfrequente, hochamplitude Fazies B eingebettet. Fazies A bildet zuerst ein positives Relief, das anschliessend in die Fazies B eingebettet wird. Man beobachtet auf mehreren Linien eine Progradation der Schichten gegen Westen und Osten (z. B. Abb. 10.8). Im Gebiet der Schwelle wird die Fazies B, die hier die Fazies A einhüllt, mächtiger. Die Schwelle wird im Verlauf der Sedimentation von der Fazies C eingedeckt. Fazies C wird offenbar zuerst in die seichten Becken zwischen den Schwellen eingefüllt, denn man beobachtet entsprechende Onlap-Geometrien. Schlussendlich wird alles überdeckt, wodurch die Mächtigkeit der Fazies C über der Schwelle geringmächtiger ist (Abb. 10.8 und 10.11).

Die Interpretationen der Schwellenzonen wurden bereits im Kapitel zur Sedimentologie diskutiert. Auch im Bericht zur Reflexionsseismik kommen die Autoren zum Schluss, dass die bislang nicht durch Bohrungen erschlossene Fazies auf grosse Sandwälle zurückzuführen sei. Es wird das Barrenmodell aus Bayer & McGhee (1985) bevorzugt, das davon ausgeht, dass zur Zeit des „Braunen Doggers“ Sande vom baltischen Schild via die Hessische Strasse in das schwäbische Schelfbecken transportiert wurden. Hier wurden sie durch Küstenlängsströmungen zu grossen Sandbarren („sand waves“) aufgeschüttet und allmählich ins Beckenzentrum verfrachtet. Offen bleibt dabei, ob es sich um Sand- oder Eisenoolith-Barren handelt. Einige Beispiele von Ablagerungen mit Sandbarren aus der nördlichen Schweiz sollen das Modell weiter untermalen (Burkhalter 1996, Wetzels et al. 2003, Jordan et al. 2011).

10.2 Beurteilung der Arbeiten zur reflexionsseismischen Analyse des „Braunen Doggers“ (Bericht NAB 14-58)

Die Bearbeitung der Seismik-Linien bei der Nagra erfolgte anhand digitaler Datensätze. Die hier vorgenommene Beurteilung der geologischen Schlussfolgerungen aus der Seismik-Auswertung erfolgte lediglich auf der Basis des gedruckten Berichtes. Dabei sind die Details der seismischen Aufnahmen nur sehr eingeschränkt erkennbar, was aber für die im

Vordergrund stehende geologische Interpretation wenig Bedeutung hat. Die verwendeten Seismik-Linien wurden einer intensiven Bearbeitung unterworfen (z.B. Reprocessing). Die dabei bewirkten Veränderungen der Daten werden im Rahmen der Beurteilung des ENSI von versierten Fachleuten beurteilt.

Die Beurteilung des Themas erfolgt anhand der Schlussfolgerungen im Bericht. Die einzelnen Aussagen der Schlussfolgerungen werden kursiv angegeben und anschliessend aus eigener Sicht diskutiert.

Logkorrelation: *Eine detaillierte Logkorrelation der lithostratigraphisch definierten Formationen und Member lässt sich mithilfe von zugeordneten Logkriterien nicht vornehmen. Gänzlich verschieden sind die Logsignaturen zwischen den westlichen „Plattform und Übergangssedimenten“ im geologischen Standortgebiet Jura Ost und in den östlichen „Becken-Sedimenten“ in den Standortgebieten Nördlich Lägern und Zürich Nordost. Eine Unterteilung des „Braunen Doggers“ durch zusätzliche Hilfshorizonte ist nicht durchwegs möglich. Die Kartierung der BMa- und nTOP-Horizonte ist oft und besonders in den tektonisch stark beanspruchten Gebieten mit grösseren Picking-Ungewissheiten behaftet (NAB 14-58, p. 47).*

Die vorliegenden Seismik-Linien, insbesondere die neuen Linien der Kampagne 2011/12 haben eine hervorragende Qualität. Dies ist nicht zuletzt der aufwendigen Bearbeitung der Rohdaten zu verdanken. Diese Bearbeitung beinhaltet auch die Gefahr, dass Artefakte geschaffen werden. Die Nagra hat allerdings durch eine umfassende Qualitätssicherung diese Gefahr klein gehalten. Ganz allgemein ist eine detaillierte Auswertung von Seismik-Linien nur mit viel praktischer Erfahrung durchführbar. Aus meiner Sicht sind die Arbeiten sehr professionell ausgeführt und rapportiert worden.

Trotz der guten Seismik-Qualität gelang es nicht, das Intervall des „Braunen Doggers“ durch zusätzliche Horizonte durchgehend zu unterteilen. Wenn auch keine durchgehenden Horizonte erkannt wurden, so konnte immerhin ein wenig reflektiver oberer Teil von einem höher reflektiven unteren Teil unterschieden werden. Ein detaillierter Blick auf die Seismik-Linien bestätigt die erwähnten Picking-Ungewissheiten. Zwar konnten die Hilfshorizonte BMa (Basis Malm) und nTOP (Near Top Opalinuston) gebietsweise kartiert werden, aber in tektonisch stärker beanspruchten Gebieten werden die Unsicherheiten bezüglich Tiefenlage und Verlauf gross.

Vergleich Bohrlochgeophysik-Seismik: *Ein Vergleich der seismischen Daten mit den bohrlochgeophysikalischen Daten erlaubt innerhalb des seismischen Auflösungsvermögens die Zuordnung von lithologischen Abfolgen zu seismischen Faziesseinheiten mit charakteristischen Reflexionseigenschaften, welche sich lateral bei guter seismischer Abbildungsqualität verfolgen lassen (NAB 14-58, p. 47).*

Die Zuordnung der Faziesseinheiten zu stratigraphischen Einheiten erwies sich als schwierig, hingegen konnten lithologische Körper zugeordnet werden. Dies ist nicht überraschend, denn einige der verwendeten stratigraphischen Formationen sind lithologisch nicht einheitlich. Zudem ist auch das theoretische Auflösungsvermögen der Seismik-Linien mit 16 -17 m oft grösser als die Mächtigkeit der stratigraphischen Einheiten. Dies gilt insbesondere auch für die harten Bänke, die zu geringe Mächtigkeiten aufweisen. Auch mit grösserem Aufwand wäre wohl keine Verbesserung zu erzielen.

Definition von Faziesseinheiten: *Ausgehend von den Sondierbohrungen Riniken, Weiach, und Benken lassen sich sechs seismische Faziesseinheiten definieren und von Westen und Osten herkommend lateral kartieren, stellenweise modellhaft ergänzt. Durch die Einteilung in diese seismischen Faziesseinheiten entsteht über weite Bereiche der Standortgebiete Nördlich Lägern und Zürich Nordost eine Zweiteilung des „Braunen Doggers“ in einen oberen, weniger*

reflektiven Bereich, welcher hauptsächlich den Parkinsoni-Württembergica-Schichten entspricht und in einen unteren, stärker reflektiven Teil, welcher die Humphriesoolith-, Wedelsandstein- und Murchisonae-Oolith-Formationen umfasst (NAB 14-58, p. 47).

Die Einteilung in sechs seismische Faziesseinheiten kann nachvollzogen werden. Die Zweiteilung der Abfolge des „Braunen Doggers“ widerspiegelt unserer Ansicht nach einen paläogeographischen Wandel im Ablagerungsraum. Im unteren Abschnitt liegt ein Ablagerungsraum mit mässigem Meeresbodenrelief vor. Das Ablagerungsmilieu pendelte im Bereich der Normal- und Sturmwellenbasis (Burkhalter, 1996). Die Sedimentation erfolgte fleckenhaft, stellenweise wurden unter der Wirkung von Strömungen submarine Sandwälle (Sandbarren) gebildet, die mehr als 10 m Mächtigkeit erreichten. Ein Beispiel ist die Sandbarre des Sissach-Members im Gebiet des Achebergs. Die Sandbarren entwickelten sich vermutlich auf einem beinahe ebenen Meeresboden, der nach dem Ausklang der Sedimentation des Opalinustons vorlag. Im oberen „Braunen-Dogger“ hingegen war vermutlich die Ausbildung des schwäbischen Beckens weiter fortgeschritten und die zentralen Teile des Beckens lagen deutlich tiefer als die Sturmwellenbasis. Dies auch aufgrund eines kräftigen Meeresspiegelanstiegs.

Streichen der Faziesgrenzen: Die versuchsweise kartierten Faziesgrenzen im unteren und oberen Teil des „Braunen Doggers“-Intervalls zwischen den Standortgebieten Jura Ost und Nördlich Lägern streichen v.a. NE-SW und N-S (NAB 14-58, p. 47).

Die Richtung des Übergangsbereiches Fazies E/FaziesB ist aus der tektonischen Geschichte des Gebietes insofern erklärbar, als der nördliche Rand des Permokarbondtrogs in dieser Region ENE-WSW streicht (Abb. 10.9), also einigermaßen vergleichbar ist. Allerdings ist die Richtung in der Mächtigkeitskarte des oberen „Braunen Doggers“ (Abb. 8.13) nicht mehr erkennbar. Die N-S-Richtung ist im tektonischen Muster des Permokarbondtrogs nicht vertreten.

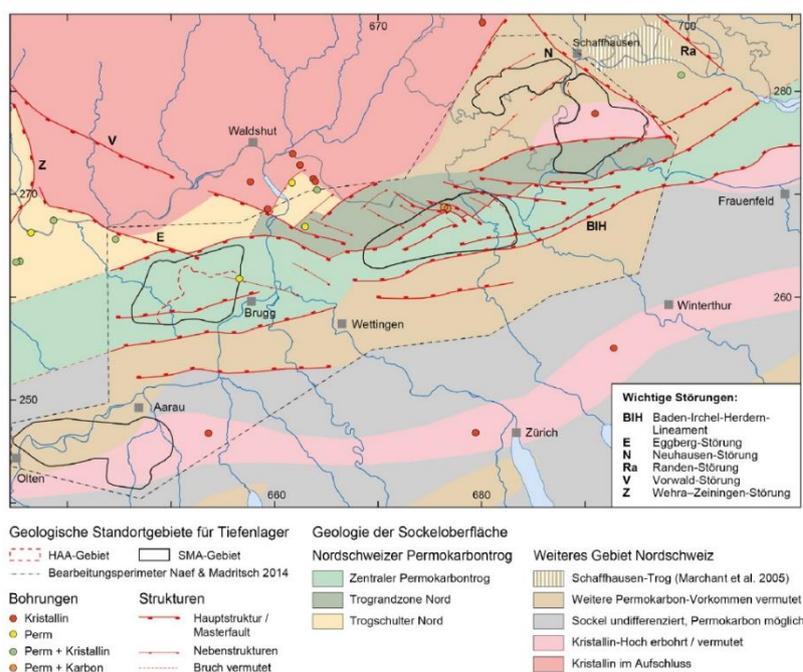


Abb. 10.9: Tektonische Karte des Permokarbondtrogs im Gebiet des „Braunen Doggers“ (NTB 14-02, Dossier II, Fig. 4.3.7. Vereinfachte Karte nach Naef & Madritsch, 2014).

Die „Schwellenzone“ im Standortgebiet Nördlich Lägern (1): Im östlichen Teil des Standortgebiets Nördlich Lägern lässt sich aufgrund von Reflexionsgeometrien eine etwa N-S streichende Schwellenzone umreissen. Innerhalb der stark reflektiven seismischen

Faziesseinheit sind besonders in den neueren 2011/12-Seismikdaten linsenartige, transparente Intervalle mit teils geneigten Reflexionen eingeschaltet. Die stark reflektive sesimische Faziesseinheit lässt sich gegen Westen und Osten weiter verfolgen und wurde in der Bohrung Weiach beprobt. In Weiach entspricht der stark reflektiven Faziesseinheit ungefähr die Murchisonae-Oolith-, der Wedelsandstein- und die Humphriesioolith-Formation (NAB 14-58, p. 47).

Die Interpretation der Schwellenzone wurde im Bericht eingehend diskutiert. Da die Zone im östlichen Teil des Standortgebietes Nördlich Lägern liegt ist der Befund von besonderem Interesse (Abb. 10.6 und 10.7). Die Schwellenzone umfasst einen zentralen Bereich mit 3.5 x 7 km Ausdehnung. Eine Verbindung zu einem Vorkommen NNE des zentralen Körpers ist auf den Linien nicht erkennbar. Es handelt sich darum eher um fleckenhafte, in N-S-Richtung gestreckte Vorkommen.

Zur Interpretation wurden Literaturbeispiele diskutiert und mit den Vorkommen verglichen. Die diskutierten Modelle lehnen sich stark an den Sedimentologie-Bericht (NAB 12-51) an. Die meisten Interpretationen können jedoch den seismischen Befund nicht erklären. Lediglich das Sandbarren-Modell (Bayer & McGhee, 1985) könnte die beobachteten Seismik-Strukturen einigermaßen erklären. Eine Diskussion dieses Modells wurde bereits im Kapitel Sedimentologie vorgenommen.

Die „Schwellenzone“ im Standortgebiet Nördlich Lägern (2): *Die linsenartige, transparente seismische Faziesseinheit wurde bisher nicht erbohrt, deren Sedimente haben aber wahrscheinlich zur Entwicklung und geometrischen Ausbildung der „Schwellenzone“ entscheidend beigetragen. Sie bilden ein positives Relief über dem meist flach gelagerten Opalinuston und scheinen teilweise zu progradieren (NAB 14-58, p. 47).*

Dies ist eine wichtige Aussage, denn ohne Bohrkerne und Bohrloch-Geophysik sind Aussagen über die Natur dieser Fazies nicht möglich, bzw. nicht verifizierbar. Die Frage nach der Natur der Schwellenzonen wird wohl nur durch Bohrungen abschliessend beurteilt werden können. Ein weiterer offener Punkt stellt eine Struktur westlich der Bohrung Benken dar, bei der die obere Fazies C stark an Mächtigkeit einbüsst (Linie 91-NO-68, ca. CMP 1753- 2173, NAB 14-58, Beilage 6) und die untere Fazies B anschwillt. Auch hier fehlt eine Bohrung, die Aufschluss über die Natur der Gesteinsschichten geben würde. Im Gebiet der Bohrung Benken ist die Fazies B allerdings geringmächtiger entwickelt.

Laterale Fazieswechsel: *Aufgrund der seismischen Faziesanalyse konnten also deutliche Hinweise gefunden werden, dass es im „Braunen Dogger“ lateral Fazieswechsel gibt, vor allem im östlichen Teil des Standortgebietes Nördlich Lägern (NAB 14-58, p. 47).*

Synsedimentäre Tektonik: *In den seismischen Daten lassen sich keine N-S streichenden tiefer liegenden Strukturen im Mesozoikum oder Grundgebirge (z.B. im Sinne von Burkhalter 1996) erkennen, welche mit der Geometrie der „Schwellenzone“ in Verbindung gebracht werden können (NAB 14-58, p.48).*

Laterale Fazieswechsel treten auf den Seismik-Auswertungen deutlich hervor. Sie sind teilweise auch durch Bohrdaten belegt. Kempfer (1993) beobachtete im Gebiet des „Braunen Doggers“ Fazieswechsel, für die er einen Zusammenhang mit paläozoisch angelegten Störungszonen postulierte. Es wurden aber in den Standortgebieten keine Zusammenhänge zu N-S-streichenden tektonischen Strukturen gefunden, die im Zeitintervall des „Braunen Doggers“ aktiv waren. Diese Aussage ist wichtig, sie gilt aber nicht nur für die seismisch ermittelte Schwellenzone im Osten des Gebiets Nördlich Lägern. Die Seismik des Untersuchungsgebietes „Brauner Dogger“ zeigt auch im übrigen Untersuchungsgebiet keine sicheren Hinweise, dass synsedimentäre Tektonik die Sedimentation der „Brauner-Dogger“-Abfolge massgebend beeinflusst hat. Insbesondere fehlen Halbgräben, wie sie Burkhalter (1996) für die Sedimentation des Sissach-Members im nördlichen Jura postuliert hat. Im Gebiet des Juras ist ein Zusammenhang mit rheinischer Tektonik denkbar (z.B. Allenbach, 2000). Einziger Hinweis auf synsedimentäre Tektonik sind mögliche Mächtigkeitsänderungen

im Bereich der Randstörungen des Permokarbondtroges. Diese Problematik wird im Folgenden diskutiert.

Mächtigkeitssprünge im „Braunen Dogger“: Die Beobachtung von Mächtigkeitssprüngen des „Braunen Doggers“ auf tiefenkonvertierten seismischen Sektionen entlang des ENE-WSW streichenden Baden-Itchel-Herdern-Lineamentes (Meier et al. 2014), welches sich entlang der südlichen Begrenzung des zentralen Nordschweizer Permokarbondtrogs erstreckt (Naef & Madritsch 2014), könnte ein Hinweis auf eine mittelmajurassische Reaktivierung des Permokarbondtrogs sein. Allerdings sind die Ungewissheiten bei der Kartierung und der Tiefenkonversion der „Braunen Dogger“-Horizonte Basis Malm (BMa) und NearTop Opalinuston (nTOp) sowie der exakten Abgrenzung des Trogs durch die gravimetrischen Daten nach wie vor zu gross, um diese Hypothese zum jetzigen Zeitpunkt zweifelsfrei belegen zu können (NAB 14-58, p. 48).

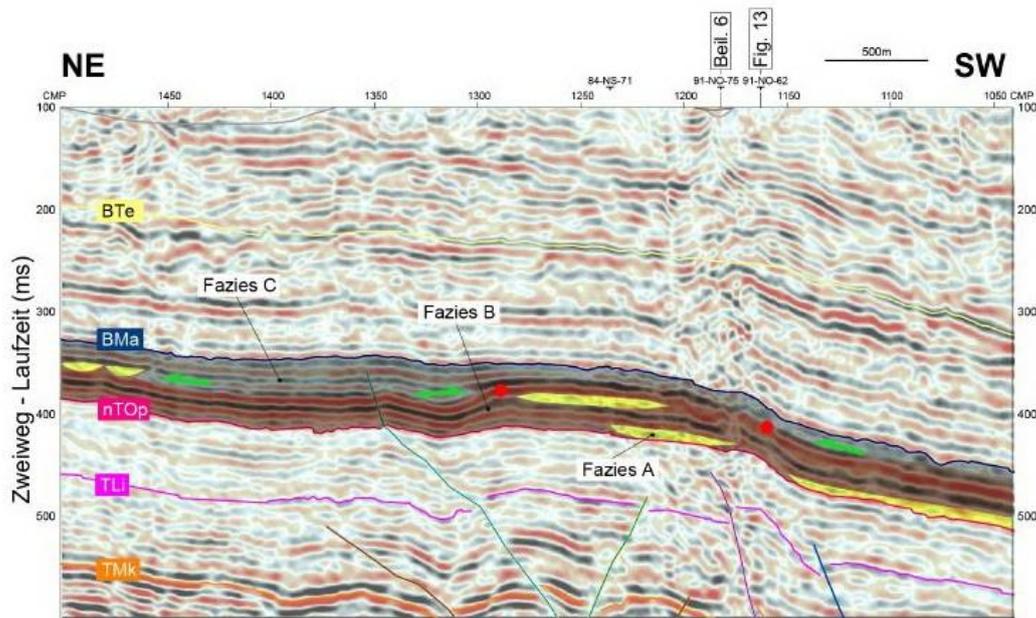


Abb. 10.10: Schwellenzonen (Fazies A) auf der Linie 91-NO-61. Im Intervall des „Braunen Doggers“ zeigen sich mehrere transparente Zonen, von denen sich zwei auf einer horstartigen Struktur befinden. Im Bericht wird zur tektonischen Situation nichts weiter ausgeführt, insbesondere wird deren Alter nicht angesprochen. Gemäss NTB 08-04 Beilage 5.2-20 handelt es sich um den Nordrand des Permokarbondtroges der durch jurassische Fernschubtektonik überprägt wurde. Das Bild zeigt gut die lateralen Mächtigkeitsunterschiede der Fazies C und die Onlap-Geometrie am Rand der transparenten Körper. Die roten Punkte markieren die Orte wo die Reliefveränderung beobachtet/vermutet wird (NAB 14-58, p. 28).

Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass der Braune Dogger über diesen Störungszonen teilweise Mächtigkeitsminima aufweist (Abb. 8.13-A). Nach Allia (1996) ist vor allem im Zeitraum der Ablagerung des Opalinustons mit einer intensiven synsedimentären Tektonik im Troggebiet zu rechnen. Sollten sich darum die Mächtigkeitsprünge im „Braunen Dogger“ bestätigen, so müssen diese Vorstellungen neu beurteilt werden. Es stellt sich auch die Frage nach der Mächtigkeitsverteilung des Opalinustons in diesen Gebieten. Weist er auch Mächtigkeitsmaxima auf, dann könnte auch die unterschiedliche Kompaktion der Tone für die Mächtigkeitsänderungen verantwortlich sein. Diese Phänomene sind für die Beurteilung des Braunen Doggers insofern nicht im Vordergrund, als es sich um Phänomene am Rand des Standortgebietes handelt. Beim Profil Linie 91-NO-61 (Abb. 10.10) stellt sich die Frage, ob nicht synsedimentäre Tektonik über dem Trogrand mitgespielt hat. Kempfer (1993) hat ebenfalls Linien in diesem Gebiet bearbeitet. Er stellt fest, dass oft beim Überqueren von Störungszonen abrupte Fazies- und Mächtigkeitsänderungen auftreten, denen geologische Ursachen zugrunde liegen (z.B. differenzielle Kompaktion oder Lateralversätze an Störungen).

11. Kommentare zu den Technischen Berichten NTB 14-01 und NTB 14-02

Die Resultate, die mit den verschiedenen Arbeitsberichten der Nagra zum „Braunen Dogger“ erarbeitet wurden, mussten in geeigneter Form ins Standortauswahlverfahren eingebracht werden. Dabei wurde aus der Vielzahl an Erkenntnissen ein geraffter, knapper Datensatz für den Einbezug in die Sicherheitsbeurteilung erstellt. Dieser Vorgang führt zwangsläufig zu Vereinfachungen, damit eine für die Sicherheitsanalysen brauchbare Datengrundlage resultiert. Nachfolgend werden die entsprechenden Schritte im Hinblick auf den „Braunen Dogger“ diskutiert.

Bericht NTB 14-02 (SGT (Etappe2): Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen. Dossier II: Sedimentologische und tektonische Verhältnisse.

Kapitel 3.3.3: „Brauner Dogger“ und westliche Äquivalente

Einleitend wird der „Braune Dogger“ definiert und anschliessend lithologisch kurz charakterisiert. Dabei wird er folgendermassen vorgestellt: „*Generell sind die Sedimente des „Braunen Doggers“ und seiner westlichen Äquivalente mit Ausnahme der Haupttrogenstein- und Ifenthal-Formation tonig ausgebildet.*“ (NTB 14-02, Dossier II, p. 35). Diese Formulierung gibt den Beobachtungsbefund nicht korrekt wieder. Die Gesteine des „Braunen Doggers“ sind zwar meist reich an Tonmineralien, aber nur zum kleineren Teil Tone. Es dominieren vielmehr Mergel und tonige Mergel, die aber teilweise hohe Tongehalte aufweisen. Im Weiteren enthält auch die Ifenthal-Formation im Jura mit dem Saulcy-Member einen bis 20 m mächtigen Tonmergel.

Die geraffte Schilderung der Formationen und Member in den beiden Faziesräumen ist wohl für Uneingeweihte schwierig nachvollziehbar, entspricht aber den Ausführungen in NAB 12-51. Die dazugehörige Figur 2, die eine Übersicht über das lithologische Schichtengebäude gibt, zeigt kleinere Abweichungen gegenüber den entsprechenden Figuren in den Arbeitsberichten (NAB-12-51 und NAB 14-58). Beispielsweise wurde in Weiach der „Anceps-Athleta Eisenoolith“ nicht mehr markiert, dies wohl wegen der Palynomorphen-Datierung. Im Bericht zur Bohrung Weiach (Matter et al. 1988) wird jedoch ein eisenoolithischer Horizont mit Ammoniten datiert, die zumindest klar auf die Anceps-Zone hinweisen (*Reinekeia* sp. der Anceps-Gruppe und *Reinekeites* sp., *Erymnoceras* ?, *Hecticoceras* ?). Hier widersprechen die Ammoniten den Palynomorphen, möglicherweise wurde eine aufgearbeitete Komponente datiert.

Die Schilderung der Ablagerungsräume und der Genese der Abfolgen gibt die Resultate der Arbeitsberichte NAB-12-51 und NAB-14-58 richtig wieder. Auch in diesem zusammenfassenden Bericht wird die sehr wechselhafte Faziesverteilung auf synsedimentäre Tektonik zurückgeführt. Dies gilt wie in diesem Bericht dargelegt wurde vor allem für die alten Störungszonen des Permokarbon-Troges, nicht bestätigt hat sich das vermutete N-S gerichtete Störungsmuster. Auffallend ist die Betonung der sedimentären Zyklen („Shallowing-Upward-Sequences“), die aber vor allem im Plattformgebiet sehr ausgeprägt sind. Im schwäbischen Becken treten die Zyklen weniger deutlich hervor, insbesondere fehlen die mächtigen, kalkarenitischen Abfolgen.

Eine wichtige Frage für die Sicherheitsbetrachtungen sind die Dimensionen der „harten Bänke“. In Dossier II werden die Ausführungen im Bericht NAB-12-51 zusammengefasst. Wie bereits erwähnt stützen sich diese Ausführungen auf nur wenige Angaben aus der Literatur ab. Hier wäre mit einer Literaturrecherche wohl ein breiteres Datenmaterial möglich. Ein Beispiel wäre die Studie Frank et al. (1975) die einen umfangreichen Überblick über die Eisenoolith-Vorkommen in Süddeutschland gibt.

Die Sandkalk-Bänke und die Eisenoolithe sollten auseinander gehalten werden, da ihre Entstehung auf unterschiedliche Vorgänge zurück geht und auch ihre lithologische Ausbildung verschieden ist.

Bericht NTB 10-01 (SGT Etappe 2): Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete.

Kapitel 3.3.2 Tongesteinsabfolge „Brauner Dogger“

Wie bereits bei der Diskussion des Berichtes NTB-14-02 aufgeführt wurde, ist der Ausdruck „Tongesteinsabfolge“ zu absolut, da der „Braune Dogger“ doch auch einige tonarme Schichten umfasst. Im Text wird die Bezeichnung folgendermassen begründet: „Trotz der relativ grossen lithologischen Variabilität ist der Tonmineralgehalt im gesamten Abschnitt signifikant, d.h. auch die kalkigen und sandigen Bereiche weisen einen durchschnittlichen Tonmineralgehalt von etwas mehr als 10 Gew.-% auf“ (NTB 14-01, p. 113). Die tonigen Lagen des „Braunen Dogger“ (Parkinsoni-Württembergica-Schichten) werden lithologisch und mineralogisch mit dem Opalinuston verglichen, allerdings sei der Gesteinsaufbau im Meterbereich weniger homogen. Das zeigt sich gut im Mineralogie-Log der Bohrung Benken, in dem der „Braune Dogger“ ein wesentlich unruhigeres Bild darbietet (Abb. 11.1). Es zeigen sich vor allem die sandigen Kalkbänke mit hohen Quarzgehalten (gelb). Ein vergleichbares Bild zeigt sich in den Bohrung Weiach. Abb. 11.2 zeigt Beispiele der entsprechenden Gesteine in der Bohrung Weiach und Abb. 11.3 zeigt zum Vergleich einige Ausschnitte der Kerne aus dem Opalinuston von Weiach.

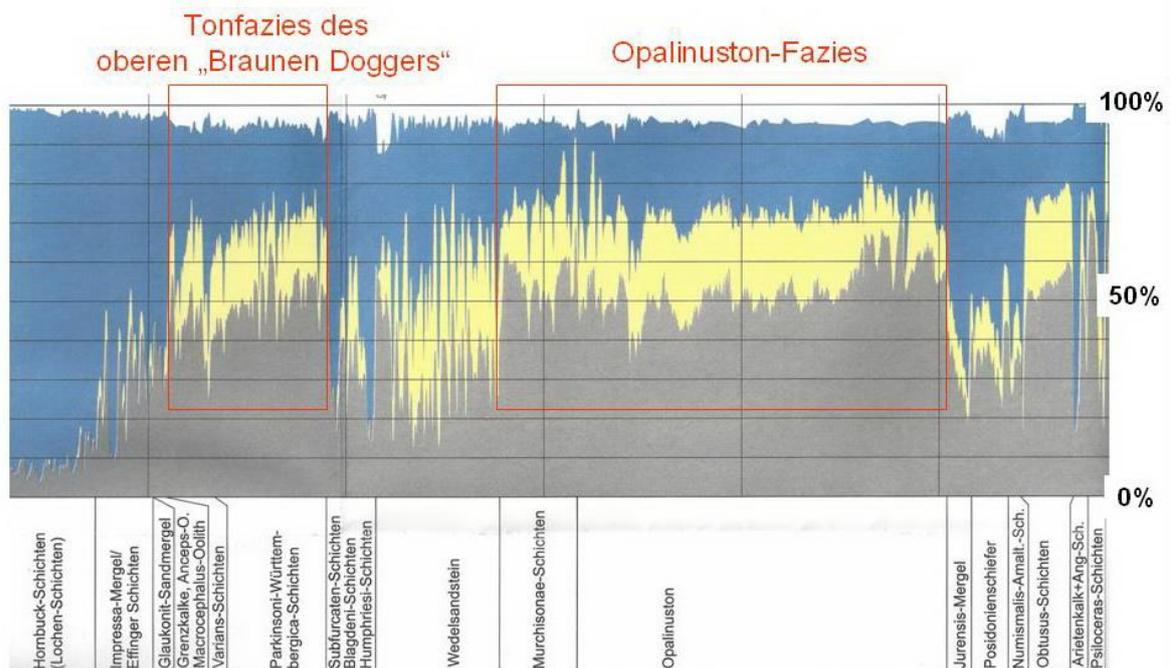


Abb. 11.1: Ausschnitt aus der mineralogischen Interpretation der petrophysikalischen Messungen in der Bohrung Benken. Die Tongehalte im oberen Bereich des „Braunen Doggers“ liegen im Bereich von 40 – 55%. Bei der Porosität handelt es sich grösstenteils um geschlossene, nicht verbundene Poren (NTB 00-01, 2001, Beilage 5.10).
Legende: Grau = Ton; Gelb = Quarz; Blau = Karbonat; Weiss = Porosität.

Im Bericht werden die verschiedenen Beurteilungskriterien abgearbeitet. Dabei beziehen sich die Einschätzungen auf die tonreichen Abschnitte. Die meisten Kriterien resp. Indikatoren werden mit günstig oder sehr günstig beurteilt. Nur wenige Punkte beruhen auf dem

Hintergrund der in dieser Expertise behandelten Themen, deshalb werden hier nur diese angesprochen.

Die Beurteilung der Freisetzungspfade erfolgt durch die Indikatoren Selbstabdichtung, Homogenität des Gesteins und Länge der massgebenden Transportpfade. Die Selbstabdichtung wird als sehr günstig beurteilt. Die Homogenität des Gesteinsaufbaus demgegenüber als bedingt günstig. Das kann nachvollzogen werden, im Vergleich mit dem Opalinuston weist der „Braune Dogger“ wesentlich mehr Einschaltungen potenziell spröder Gesteinslagen auf. Der Indikator Länge der massgebenden Transportpfade wird als ungünstig beurteilt. Diese negative Beurteilung resultiert aus den ungenügenden Kenntnissen betreffend der lateralen Ausdehnung der harten Bänke. Er könnte durch Sondierergebnisse im Standortgebiet wesentlich verändert werden.

Weiter wird die Langzeitstabilität, vor allem auch die Frage neuer Wasserwege, beurteilt. Die Gesteinseigenschaften werden zusammenfassend als günstig beurteilt. Unter diesem Punkt werden auch Nutzungskonflikte angesprochen. Die Situation wird als sehr günstig beurteilt. Diese Einschätzung kann nicht nachvollzogen werden, denn im Gebiet Nördlich Lägern sind Kohlevorkommen und damit zusammenhängend potentielle Gasvorkommen nicht auszuschliessen. Dies insbesondere im Hinblick auf unkonventionelle Lagerstätten (Kempter 1994, Häring 1994, Naef et al. 2014).

Die Zuverlässigkeit der geologischen Aussagen bildet einen weiteren Punkt des Auswahlprozederes. Sie wird als günstig eingeschätzt. Die entscheidende Frage ist dabei, allerdings, ob es gelingt die „harten Bänke“ mit der notwendigen Zuverlässigkeit zu erkunden. Im Bericht NAB 12-51 (p. 56) wird ein Beispiel aus dem Gebiet des Wutachtals aufgeführt, bei dem zwei geologische Profile in einer Distanz von rund 1000 m verglichen wurden. Dabei konnten gemäss dem Arbeitsbericht drei „harte Bänke“ nicht korreliert werden. Allerdings konnte die mächtigste Bank offenbar mit einem rund 4 km entfernten Profil bei Epfenhofen korreliert werden (Franz & Rohn, 2004). Die Verhältnisse sind demnach noch nicht abschliessend beurteilt. Allerdings handelt es sich bei diesen Beispielen um Feldaufnahmen. Eine sedimentpetrographische Charakterisierung der Bänke mit Ermittlung der Mikrofazies etc. wurde nicht dokumentiert. Im Gegensatz zu diesen Feldaufnahmen liegen bei der Korrelation von Bohrungen zusätzliche Daten vor, indem neben dem in meist lückenlosen Kernprofilen auch noch geophysikalische Aufnahmen der Gesteinsabfolge vorliegen. Es ist darum davon auszugehen, dass die Möglichkeiten der Korrelation bei Bohrungen in den Untersuchungsgebieten besser sind als bei den erwähnten Aufschluss-Profilen. Bei der Erkundung der „harten Bänke“ stellt sich ein grundsätzliches Problem: Ausgedehnte „harte Bänke“ sind sicherheitsmässig negativ, sie können aber in der Regel korreliert werden, während „harte Bänke“ geringer lateraler Erstreckung, die sicherheitsmässig besser abschneiden, kaum korreliert werden können. Ein abschliessendes Urteil zur Erkundungsmöglichkeit der „harten Bänke“ dürfte darum erst nach der Auswertung von 2 Erkundungsbohrungen in einem der Standortgebiete möglich sein.

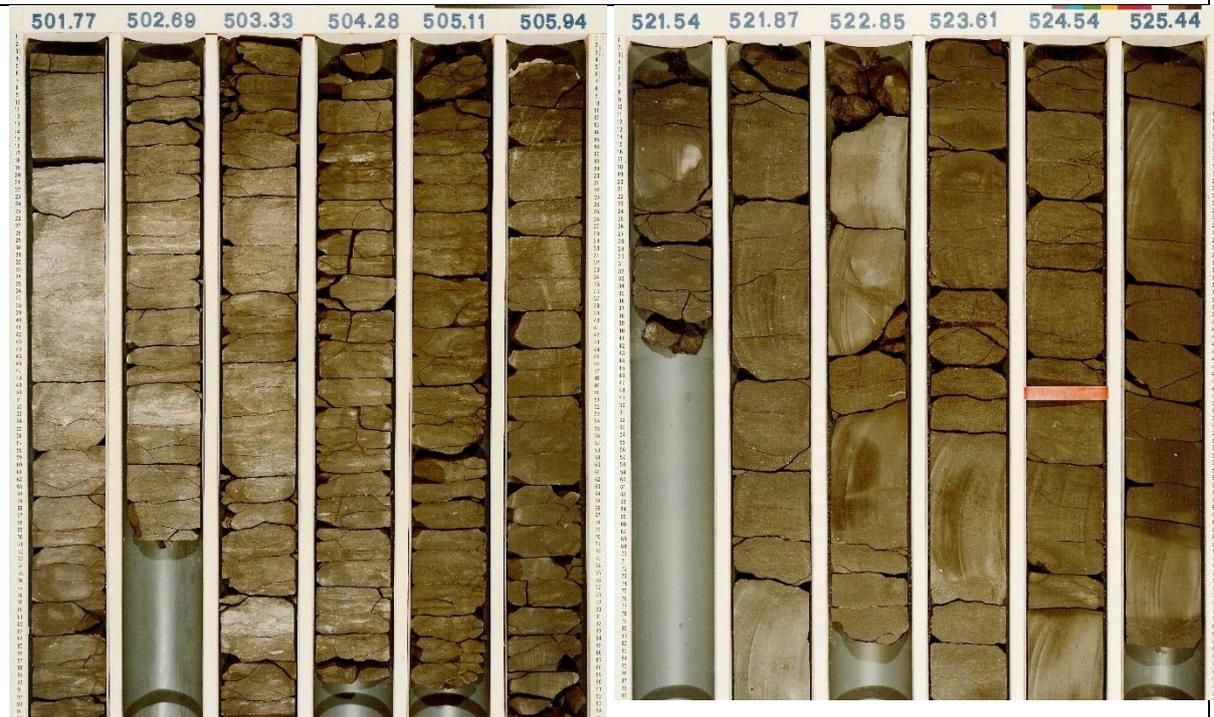
Auch bezüglich der Wasserführung der „harten Bänke“ bestehen einige Ungewissheiten. Da sich aber bei der hydrogeologischen Erkundung der Bohrungen Weiach und Benken keine Hinweise auf eine Wasserführung der „harten Bänke“ ergaben, könnte die Situation in den Untersuchungsgebieten „Nördlich Lägern“ und „Zürich Nordost“ sicherheitsmässig gut ausfallen. Die Bohrung Schlattingen wies im „Braunen Dogger“ höhere Durchlässigkeiten auf, was auf die Nähe grösserer Störungszonen zurückgeführt wird (Randen-Störung, Bonndorf-Bodensee-Hegau-Graben). Hinweise auf eine Wasserführung der harten Bänke in den eigentlichen Standortgebieten liegen demnach nicht vor.

Die Explorierbarkeit der räumlichen Verhältnisse wird als bedingt günstig beurteilt, da das Auflösungsvermögen der Seismik ungenügend ist. Bei der 3D-Seismik wird mit einem Auflösungsvermögen von 10 m gerechnet, die Sicherheitsanalyse geht aber davon aus, dass

bei „harten Bänken“ ein tektonischer Versatz von mehr als 1 m zu erhöhter Durchlässigkeit führen kann. Die Bewertung der Nagra wird in diesem Punkt mitgetragen.

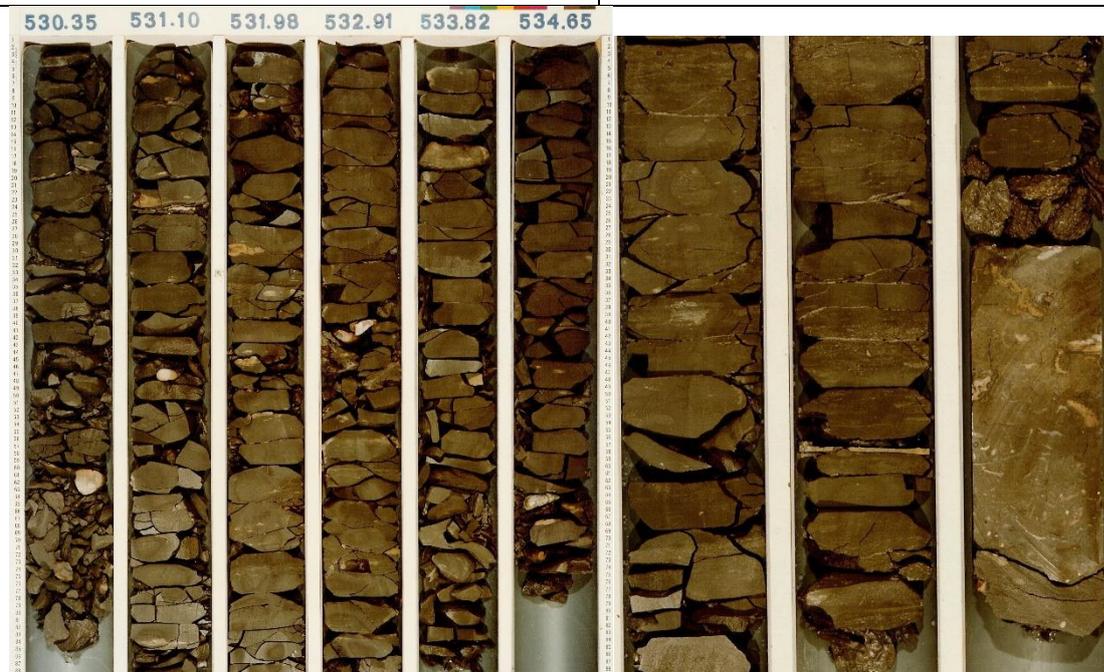
Die weiteren Kriterien, Prognostizierbarkeit der Langzeitveränderungen und bautechnische Eignung der Tongesteinsabfolge sind nicht Gegenstand dieser Beurteilung.

Abb. 11.2:
Bohrkerne aus den Parkinsoni-Württembergica-Schichten im „Braunen Dogger“ der Bohrung Weiach



Bohrung Weiach 501.77 m – 506.82 m
Württembergica-Schichten: Tone mit
Kalkmergelbänken (hell).

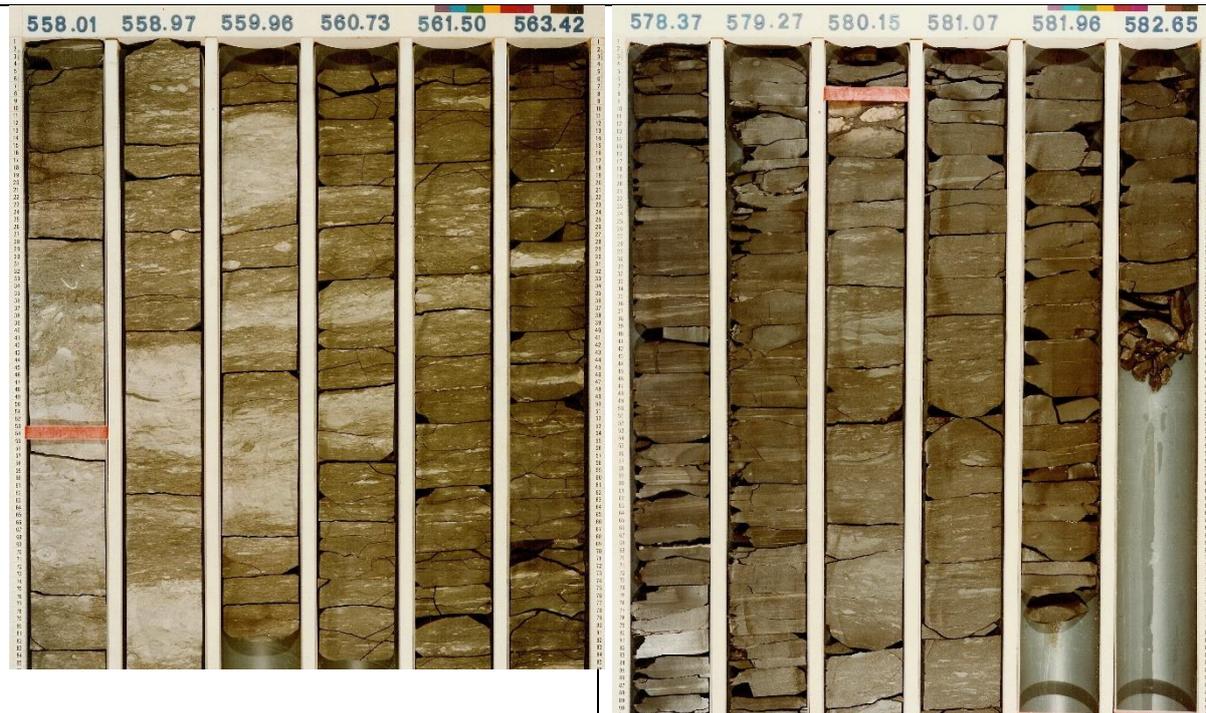
Bohrung Weiach 521.54 m – 526.21 m
Obere Parkinsoni-Schichten: Tonmergel bis
Kalkmergel (hell) mit viel Biodetritus.



Bohrung Weiach: 530.35 m – 535.30 m
Untere Parkinsoni-Schichten: Gut geschichtete
Tone

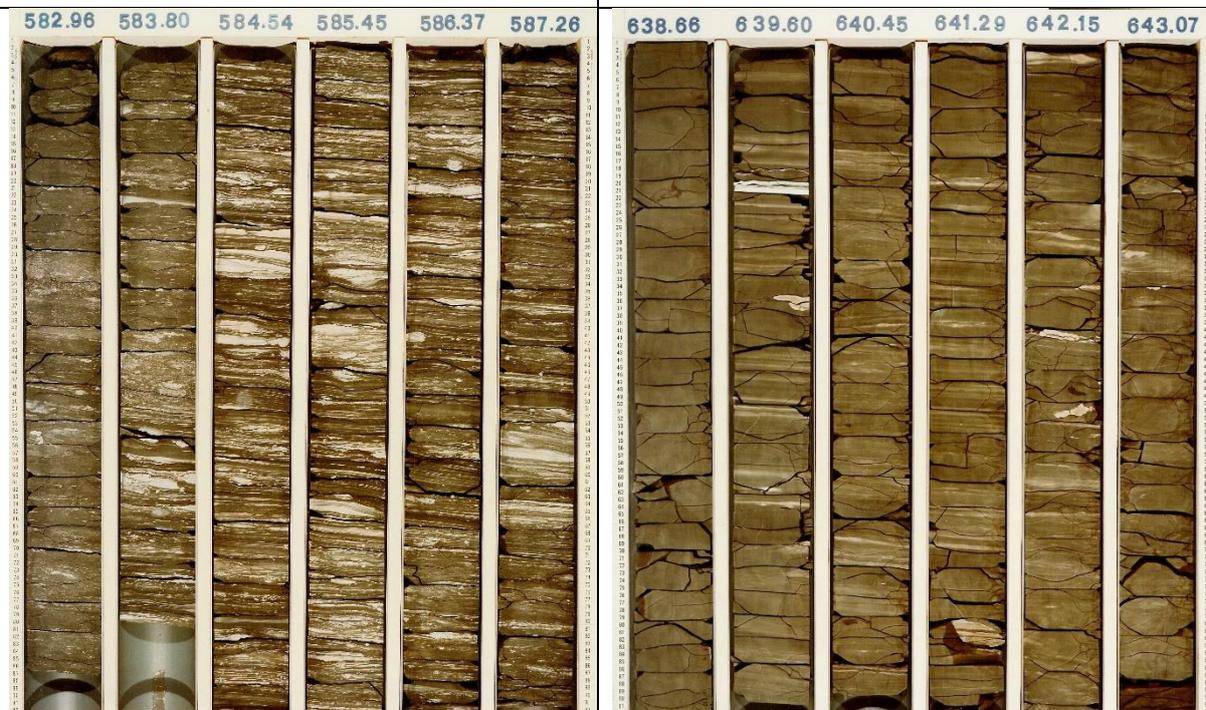
Bohrung Weiach 518 m – 520 m (Ausschnitte)
Untere Württembergica-Schichten: Tonmergel
mit Kalkmergelbank. Die Bank zeigt
Schalenresten und Wühlspuren.

Abb. 11.3
Kerne aus dem Opalinuston der Bohrung Weiach



Bohrung Weiach: 558.01 m – 563.32 m
Oberster Opalinuston: Tonstein mit stark
verwühlten Sandsteinlagen und knollig-
knauerigen Kalklinsen und –lagen.

Bohrung Weiach: 578.37 m – 582.96 m
Opalinuston: Tonstein mit knolligen,
biomikritischen Bänken aus Kalkmergel.



Bohrung Weiach: 582.96 m – 588.12 m
Opalinuston: Ab 584.25 m dunkler Tonstein mit
hellen Sandsteinlagen die teilweise
Rippelschichtung zeigen.

Bohrung Weiach: 638.66 m – 643.94 m
Unterer Opalinuston: Sandarmer Tonstein mit
hellen Karbonatlagen.

12. Antworten auf die Fragen des ENSI

Frage 1: *Hat die Nagra alle zum "Braunen Dogger" vorhandenen relevanten Informationen berücksichtigt (vgl. NAB 13-22).*

Die Nagra hat einen umfangreichen Datensatz erarbeitet. Es sind einerseits Daten aus den Bohrungen, andererseits auch Felddaten in breitem Umfang in die Arbeitsberichte eingeflossen. Für die Erarbeitung eines sedimentologischen Modells der Ablagerungen in der Standortregion standen vor allem die Daten der drei Tiefbohrungen (Weiach, Benken und Schlattingen) im Vordergrund.

Die Fokussierung auf den Kernbereich des Gebietes hatte zur Folge, dass die zahlreichen Profile in der Umgebung des Standortgebietes teilweise weniger eingehend untersucht wurden. Im Bericht NAB 12-51 werden viele davon lediglich mit Feldbeschreibungen aufgeführt. Sie wurden vor allem für die regionale stratigraphische Korrelation verwendet. Eine weiter gehende Bearbeitung von Proben wurde für diese Profile nur teilweise vorgenommen. So ist beispielsweise die bis zu 17m mächtige Sandkalkabfolge am Acheberg (Sissach-Member) lediglich mit einer knappen Beschreibung des Profils vertreten. In den drei Bohrungen trat keine vergleichbare Abfolge auf. Die sedimentologische Beschreibung und Interpretation dieser Sandkalk-Abfolge fällt darum sehr summarisch aus.

Frage 2: *Sind die Ausführungen der Nagra in NAB 12-51 und 12-57 nachvollziehbar, die gemachten Untersuchungen sinnvoll?*

Die sedimentologischen Ausführungen im Arbeitsbericht NAB 12-51 sind umfassend, aber eher knapp dokumentiert. Sie sind nachvollziehbar, wenn auch auf die zitierte Literatur zurückgegriffen wird. Die Untersuchungen von Gesteinsproben und Dünnschliffen werden allerdings kaum dokumentiert. Ein Leser des Berichtes, der die Bohrkerne nicht selbst inspizieren konnte, kann sich nur sehr beschränkt ein Bild der Untersuchungen zur Faziesentwicklung des Gebietes machen.

Das Spektrum der ausgeführten Arbeiten ist sinnvoll. Es fällt auf, dass die Interpretationen sich sehr stark auf Studien im Gebiet des Juras abstützen, dessen Ablagerungen im Verlaufe des Zeitintervalls des „Braunen Doggers“ zunehmend in einem seichteren Ablagerungsmilieu entstanden. Das Kerngebiet des „Braunen Doggers“ lag aber im schwäbischen Becken, das östlich der im Verlauf der Zeitspanne seiner Bildung entstehenden Burgunder Plattform lag und eine unterschiedliche Sedimentationsgeschichte hatte.

Unter dem Begriff „harte Bänke“ werden Sandkalkbänke und eisenoolithische Bänke zusammengefasst. Die Genese der beiden Gruppen ist jedoch unterschiedlich. Bei weiteren Untersuchungen sollten diese auseinander gehalten werden. In Bericht NAB 12-51 sind nur wenige Angaben über allfällige in den geologischen Profilen auftretende Hartgründe und Omissionsflächen. Diese spielen aber beider Entstehung der sedimentären Zyklen eine wichtige Rolle und sollten deshalb in den Profilen nach Möglichkeit erfasst werden.

Die palynostratigraphischen Untersuchungen beschränkten sich auf die stratigraphischen Aspekte der erhobenen Proben, mit dem Zweck, eine chronostratigraphische Einstufung vorzunehmen. Eine weitergehende palynologische Faziesanalyse wurde nicht präsentiert, sie hätte beispielsweise Informationen zum terrigenen Eintrag, zur Festlandnähe, zur Salinität des Meerwassers und zur organischen Produktion bringen können. Solche Daten ergänzen das sedimentologische Bild und helfen bei der Rekonstruktion des Ablagerungsmilieus.

Frage 3: Ist die vertikale Verteilung, die zu erwartende laterale Ausdehnung und Korrelation der harten Bänke genügend detailliert bekannt und beschrieben, um die Bewertung des "Braunen Doggers" durch die Nagra nachvollziehen zu können?

Die vertikale Verteilung der harten Bänke muss mit Bohrungen ermittelt werden. Das Auflösungsvermögen der Seismik ist dazu ungenügend. Die laterale Ausdehnung der Bänke wurde durch Vergleich mit Beispielen aus der Literatur abgeschätzt. Es wird aber nicht überzeugend dargelegt, dass die gewählten Beispiele für die harten Bänke im Gebiet charakteristisch sind. Da die für die Detailanalyse verwendeten 3 Bohrungen rund 9.25 km und 17 km auseinander liegen, gelang es nicht, einzelne Bänke zu korrelieren. Für Bohrungen im Standortgebiet, die näher beieinander liegen, dürfte die Chance einer Korrelation aber wesentlich besser ausfallen. Die Bewertung des Wirtgesteins „Brauner Dogger“ durch die Nagra kann nachvollzogen werden. Sie beruht aber darauf, dass gezielte Bohrungen erst in Etappe 3 vorgesehen sind. Die Frage, ob eine ausreichende Korrelation der harten Bänke möglich ist, erfordert jedoch diese näher beieinander liegenden Bohrungen. Der Entscheid für ein prioritäres Wirtgesteins erfolgte demnach, ohne dass die Frage der Korrelierbarkeit schlüssig beantwortet wäre.

Frage 4: Wie ist die räumliche Explorierbarkeit und Charakterisierbarkeit des "Braunen Doggers" in den Standortgebieten zu beurteilen?

In den Untersuchungsgebieten Nördlich Lägern und Zürich Nordost stehen die Gesteinsformationen des „Braunen Doggers“ nicht an. Die Exploration der Gebiete muss sich darum auf Seismik und Tiefbohrungen abstützen. Die räumliche Explorierbarkeit der beiden Standortgebiete hängt somit primär von den Möglichkeiten der seismischen Erkundung ab. Deren Möglichkeiten wurden mit der 1997 ausgeführten 3-D-Seismik im Gebiet Zürich Nordost (ehemals Zürcher Weinland) eindrücklich belegt. Bei ausreichenden Impedanzkontrasten konnten auf dem Niveau des Opalinustons, abhängig von der Tiefenlage, Schichten von 12-15 m aufgelöst werden, d.h. Top- und Basisfläche des Tons abgebildet werden (Birkhäuser et al. 2001, p. 46-52). Die bei der strukturgeologischen Auswertung notwendigen Kriterien wurden damals in einer Tabelle zusammengefasst, die wir hier aufführen (Tab.2):

Tab. 2: Kriterien zur Kartierung der strukturgeologischen Elemente (Birkhäuser et al. 2001, p.51)

	Vertikaler Versatz von Horizonten	Laterale Ausdehnung der Elemente in Streichrichtung	Vertikale Ausdehnung der Elemente
Quantitativ auswertbare Verwerfungen oder Flexuren	≥ 10 m	≥ 150 m	≥ 50 ms
Quantitativ erfassbare Kleinstrukturen	4 – 10 m	≥ 400 m	Erfassbar auf mindestens zwei übereinanderliegenden seismischen Horizonten

Die neuen 2-D-Seismiklinien von 2011/12 haben vergleichsweise ein Auflösungsvermögen von 16 -17m.

Das Auflösungsvermögen der Seismik genügt damit kaum, um innerhalb des „Braunen Doggers“ weitere Horizonte flächendeckend zu kartieren. Insbesondere wird es nicht möglich sein, die harten Bänke abzubilden. Die räumliche Explorierbarkeit ist darum in dieser Hinsicht auf Bohrungen angewiesen. Mit Bohrprogrammen, wie sie für Untersuchungen der Etappe 3 vorgesehen sind, liegen die Distanzen zwischen den Bohrstellen bei wenigen Kilometern. Mit hoher Wahrscheinlichkeit würde in diesem Falle eine Korrelation der harten Bänke gelingen.

Die Frage nach der Explorierbarkeit des „Braunen Doggers“ kann darum vorsichtig positiv beurteilt werden. Es bestehen durchaus Aussichten, ein Gesteinsvolumen im „Braunen Dogger“ mit 3D-Seismik und Bohrungen ausreichend zu charakterisieren. Dabei soll allerdings nicht unerwähnt bleiben, dass die Heterogenität des „Braunen Doggers“ diese Aufgabe aufwendig und schwierig macht.

Frage 5: *Sind die sedimentologisch-stratigraphischen Ausführungen zum "Braunen Dogger" korrekt in NTB 14-02 (Dossier II, Kap. 3.3.3 und 3.4) bzw. NTB 14-01 (Kap. 3.3.2) zusammengefasst worden?*

Die in den Arbeitsberichten zusammen gefassten Untersuchungsergebnisse sind korrekt in den Technischen Bericht NTB 14-02 eingeflossen. Da dabei die Ergebnisse zusammengefasst werden müssen, ist ein gewisser Ermessensspielraum gegeben, wie die Fakten gewichtet werden. Die Zusammenfassung gibt jedenfalls den Inhalt der Untersuchungsberichte korrekt wieder.

Frage 6: *Welche Arbeiten wären bei einer weiter gehenden Exploration des "Braunen Doggers" vorzusehen?*

Die Kenntnis des Verlaufs der harten Bänke und deren Wasserführung ist das Kernproblem einer Exploration des „Braunen Doggers“. Deshalb müssten in einem ersten Schritt zwei Bohrungen im Maßstab des Standortgebietes abgeteuft werden. Alternativ könnte eine Bohrung im Standortgebiet 3 km östlich der Bohrung Weiach niedergebracht werden. Gelingt es die harten Bänke zwischen den Bohrungen zu korrelieren, dann müsste mit weiteren Bohrungen die räumliche Verteilung abgeklärt werden. Ein 3D-Seismiksurvey müsste die Bohrergebnisse in tektonischer Hinsicht ergänzen. Mit gezielten Packertests der Abfolgen mit harten Bänken kann das Potenzial einer allfälligen Wasserführung der Bänke ermittelt, oder deren geringe Durchlässigkeit bestätigt werden. Eine detaillierte sedimentologische Charakterisierung der Gesteine sollte die Korrelation unterstützen und erlauben, möglicherweise auch Leitbänke auszuscheiden.

Anhang: Problematik der Korrelation geringmächtiger Bänke

Da es nicht gelungen ist, in den Bohrungen Weiach, Benken und Schlattingen die „harten Bänke“ zu korrelieren, verwendete die Nagra Feldaufnahmen aus dem Gebiet des Wutachtales bei Achdorf, um die Korrelationsmöglichkeit der sandigen- oder sandig-biotritischen Kalkbänke an einem ähnlichen Beispiel abzuschätzen. In diesem Gebiet sind die Schichten des mittleren Doggers in einer Schlucht aufgeschlossen und zeigen eine vergleichbare Fazies, wie im Untersuchungsgebiet der Nagra. Obwohl einzelne Bänke im Aufschluss auf 300 m Ausbisslänge verfolgt werden konnten, gelang es nach den Angaben in Mazurek (2012) nicht, diese Bänke in zwei, gut 1000 m entfernten Profilen zu korrelieren. Abb. A1 zeigt die Situation der beiden Profile in NAB 12-51 und vergleicht diese mit zwei anderen Profilaufnahmen.

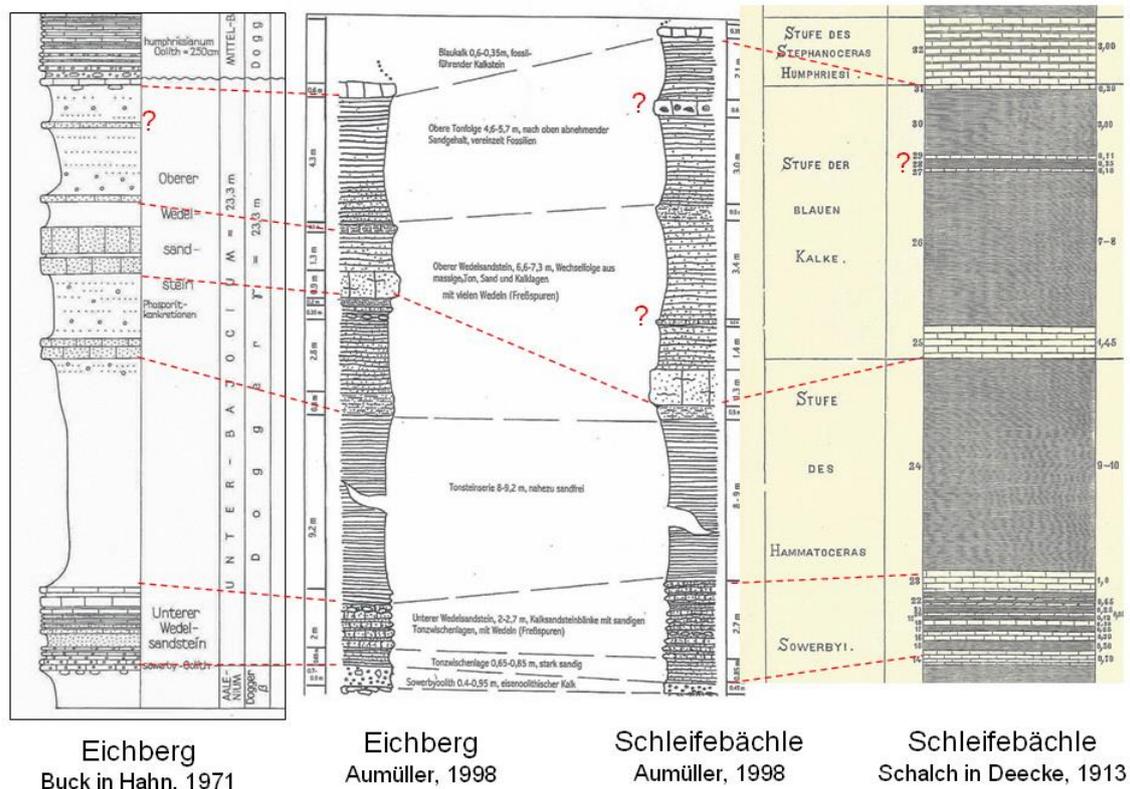


Abb. A1: Geologische Profile durch den Wedelsandstein im Gebiet der Wutachschlucht. Schwarze Linien: Korrelation der Profile aus NAB-12-51; Rote Linien : Wahrscheinliche Korrelationen mit den älteren Profilaufnahmen, Fragezeichen: Bänke ohne Korrelation (wenig ausgedehnte Bänke?).

Die Profile in Abb. A1 zeigen, dass die lithologischen Einheiten korreliert werden können. Auch die mächtige, sandige Kalkbank im mittleren Teil der Abfolge („Blaukalk“) kann korreliert werden. Jedenfalls korrelieren sie Franz & Rohn (2004) auch mit einem Profil bei Epfenhofen rund 4 km südöstlich des Wutachtales (Abb. A2). Nicht möglich ist aufgrund der Feldprofile lediglich die Korrelation von wenigen, geringmächtigen Bänken. Das Beispiel aus der Wutachschlucht dient der Nagra als Beleg für die Aussage, dass die „harten Bänke“ nicht korrelierbar sind. Konkret scheinen aber lediglich zwei geringmächtige „harte Bänke“ im oberen Abschnitt der Profile nicht korrelierbar zu sein, für die restlichen ergeben sich plausible Zusammenhänge. Für eine detaillierte Abklärung allfälliger Korrelationen fehlen allerdings in den Unterlagen genauere Angaben zu den Lithologien der Bänke.

Die Eignung dieser lokalen Situation zur Beurteilung des grundsätzlichen Problems ist aber fraglich. Zum einen steckt in der Problematik der Korrelation der „harten Bänke“ ein Grundproblem, denn je geringer die Längserstreckung der Bänke ist, desto schlechter können sie korreliert werden. Das heisst, je besser die Situation im Sinne der geologischen

Tiefenlagerung, d.h. je geringer die Längserstreckung, desto schlechter die Nachweisbarkeit einer Korrelation. Zum andern ist das Wutachtal bei Achdorf gut 30 km vom Gebiet des „Braunen Doggers“ entfernt und liegt möglicherweise nicht in einem exakt gleichen Faziesbereich, wie die Untersuchungsgebiete in der Nordschweiz. Diese liegen wesentlich näher beim offen marinen Gebiet des Tethys-Ozeans. Im Gegensatz zu den Feldbeobachtungen liefern zudem die Nagra-Bohrungen durchgehende Kerne mit einer vollständigen lithologischen Abfolge. Mit dem Kernmaterial kann eine sedimentpetrographische Charakterisierung der Bänke vorgenommen werden (z.B. Dünnschliffe und Geochemie). Weiter können in den Bohrungen auch geophysikalische Profile gemessen werden, die weitere Informationen zur Charakterisierung einzelner Bänke beisteuern können. Mit diesen Untersuchungen könnten sich durchaus Merkmale ergeben, die eine Korrelation der Bänke ermöglichen.

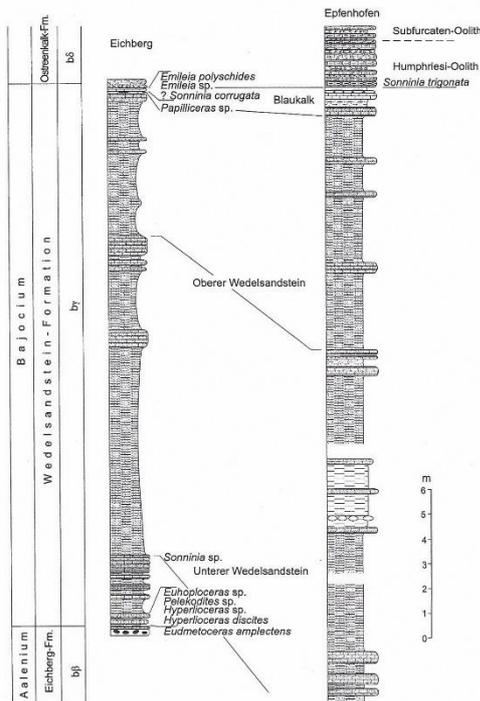


Abb. 10: Geologische Profile der Wedelsandstein-Formation am Eichberg (Aufn.: FRANZ & KIEFER 1984) und bei Epfenhofen (n. FRANZ & OHMERT 1998)

Abb. A2: Zwei Profile aus der Wedelsandstein-Formation im Wutach-Gebiet (Schleifbächle und Epfenhofen). Die mächtige Bank im mittleren Abschnitt der Formation wird auf eine Distanz von rund 4 km korreliert. Angaben warum die Bank so korreliert wurde fehlen allerdings in der Publikation.

Franz & Rohn (2004).

Was die Wasserführung der harten Bänke im „Braunen Dogger“ der Nordschweizer Bohrungen betrifft, so wurde einzig in der Bohrung Schlattingen eine Stelle mit einer höheren Durchlässigkeit ($k = 1.4 \text{ E-9 m/s}$) beobachtet. Die höhere Durchlässigkeit in dieser Bohrung, aber auch das Auftreten offener Klüfte, wird auf die Nähe der Randen-Störung und des Bonndorf-Bodensee-Hegau-Grabens zurückgeführt. Die in oder bei den Sondiergebieten liegenden Bohrungen Weiach und Benken zeigten hingegen keine Hinweise auf erhöhte Durchlässigkeiten. Die Packertests ergaben Werte $< 1.3 \text{ E-11 m/s}$. Bei der Bohrung Benken wurden keine offenen Strukturen an den Bohrkernen beobachtet. Aus Weiach werden flach liegende Kernbrüche erwähnt, die als künstlich verursachte Brüche interpretiert werden. Der subhydrostatische Druckspiegel im Wedelsandstein von Benken (max. -25 m) könnte auf eine drainierende Wasserströmung hinweisen. Viel eher aber ist er Ausdruck einer postglazialen Ausdehnung der Gesteinsporen des dichten Gesteins durch die verminderte Auflast nach dem Abschmelzen des Eises, wie für den Opalinuston des Gebietes bereits früher dargelegt wurde (Nagra 2001).

13. Literaturverzeichnis

Allenbach, R. (2000): Synsedimentary tectonics during the Oxfordian of northern Switzerland. Dissertation Geologisch-Paläontologisches Institut Universität Basel.

Allia, V. (1996): Sedimentologie und Ablagerungsgeschichte des Opalinustons in der Nordschweiz. Dissertation Geologisch-Paläontologisches Institut Universität Basel.

Amsler, A. (1922): Zur Bildung der Eisenoolithablagerung von Herznach-Wölflinswil. *Eclogae geol. Helv.* 16/5, p. 516-519.

Bausch, W. & Schober, T. (1997): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25'000, Erläuterungen zu Blatt 8316/8416 Klettgau/Hohentengen am Hochrhein. Geologisches Landesamt Baden-Württemberg, Freiburg i.Br.

Bayer, U. & McGhee, G.R. (1985): Evolution in marginal epicontinental basins: The role of phylogenetic and ecological factors (Ammonite replacements in the German Lower and Middle Jurassic). In: Bayer U. & Seilacher A. (Eds.): *Sedimentary and evolutionary cycles. Lecture Notes in Earth Sciences 1.* Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 164-220.

Birkhäuser, Ph., Roth, Ph., Meyer, B. & Naef, H. (2001): 3-D-Seismik: Räumliche Erkundung der mesozoischen Sedimentschichten im Zürcher Weinland. *Nagra Techn. Ber. NTB 00-03.* Nagra, Wettingen.

Bitterli, P. H. (1979): Cyclic Sedimentation in the Upper Bathonian-Callovien of the Swiss Jura Mountains. *Symp. "Sedimentation jurassique W européen", A.S.F. Publ. spec., 1979.*

Bitterli-Dreher, P. (2001): Die Erdgeschichte des Paläozoikums und Mesozoikums der Region Schaffhausen im Lichte der Ergebnisse der Nagra-Bohrung Benken. *Mitt. Natf. Ges Schaffhausen* 46, 7-53.

Bitterli-Dreher, P. (2011): Schichtbeschreibung der Bohrung Hübstel (Herznach-Ueken). Unpubl. Manuskript.

Bitterli-Dreher, P. (2014): Schichtbeschreibung der Bohrung Dachselen (Herznach). Unpubl. Manuskript.

Bläsi, H.R. (1987): Lithostratigraphie und Korrelation der Doggersedimente in den Bohrungen Weiach, Riniken und Schafisheim. *Eclogae. Geol. Helv.* 80, 415-430.

Burkhalter, R.M. (1995): Ooidal ironstones and ferruginous microbialites: origin and relation to sequence stratigraphy (Aalenien and Bajocien, Swiss Jura mountains). *Sedimentology* 42, 57-74.

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-Burkhardt S. (1997): Der „Dogger β “ (oberes Aalenien) in den Bohrungen Herdern-1, Berlingen-1 und Kreuzlingen-1 (Nordostschweiz) und seine Beziehung zu den gleichaltrigen Schichten im Nordjura. *Eclogae geol. Helv.* 90, 269-291.

Collin, P.Y., Loreau, J.P. & Courville, P. (2005): Depositional environments and iron ooid formation in condensed sections (Callovian-Oxfordian, south-eastern Paris Basin, France). *Sedimentology* 52, 969-985.

Deecke, W. (1916): Geologie von Baden. Verlag Gebrüder Borntraeger, Berlin.

Dietl, G., Rosswog, E. & Schatz, R. (2012): Die Ammoniten-Fauna des calloviense-Horizonts (Calloviense-Zone), Unter-Callovium, Mitteljura) von Kandern (Südbaden, SW-Deutschland). Jh. Ges. Naturkde. Württemberg, 168, p. 5-28.

Dietl, G. (2010): Die Wutach-Formation (clw) des südwestdeutschen Juras – Beschreibung und Gliederung. Jh. Ges. Naturk. Württemberg 166, p. 5-21.

Dietze, V., Rieber, H., Auer, W., Franz, M., Schweigert, G., Chandler, R.B. & Chiarini, R. (2014): Aalenien (Middle Jurassic) ammonites and stratigraphy of the Geisingen clay pit (SW Gemany). *Palaeodiversity* 7, 61-127.

ENSI (2011): Beurteilung der von der Nagra geplanten Untersuchungen zum Wirtgestein „Brauner Dogger“. Expertenbericht im Hinblick auf Etappe 2 des Sachplans geologische Tiefenlager von Dr. Peter Bitterli-Dreher und Dr. Reto Burkhalter, swisstopo.

Etter, Walter (1990): Paläontologische Untersuchungen im Unteren Opalinuston der Nordschweiz. Inauguraldissertation Universität Zürich.

Etzold, A., Seibold, E., Käss, W. & Müller, S. (1994): Geologische Karte von Baden Württemberg 1:25'000. Erläuterungen zu Blatt 7126 Aalen. GLBW, Freiburg/Stuttgart.

Feist-Burkhardt, S. & Götz, A.E. (2002): Kompaktkurse: Palynofazies und Sequenzstratigraphie. *SEDIMENT 2002*, Frankfurt am Main – Darmstadt, 29.5-31.5.2002.

Feist-Burkhardt, S. & Pross, J. (2010): Dinoflagellate cyst biostratigraphy of the Opalinuston Formation (Middle Jurassic) in the Aalenian type area in southwest Gemany and north Switzerland. *Lethaia* 43, 10-31

Fehlmann, H. & Rickenbach, E. (1962): Die Eisen- und Manganerze der Schweiz: Die eisenhaltigen Doggererze der Schweiz. *Beitr. Geol. Schweiz, Geotechn. Serie XIII. Lieferung, 7. Band.*

Flügel, E. (1978): Mikrofazielle Untersuchungsmethoden von Kalken. Springer Verlag. Berlin, Heidelberg, New York.

Frank, M., Groschopf, P., Gudden, H., Halbach, P., Hegenberger, W., Sauer, K., Simon, P., Wild, H. & Ziegler, J.H. (1975): *Sammelwerk Deutsche Eisenerzlagerstätten II. Eisenerze in im Deckgebirge (Postvaristikum): 3. Sedimentäre Eisenerze in Süddeutschland. Geologisches Jahrbuch Reihe D, Heft 10, p. 280.*

Franz, M. & Rohn, J. (2004): Geologische Karte von Baden-Württemberg 1:25'000, Erläuterungen zu Blatt 8117 Blumberg. GLBW, Freiburg/Stuttgart.

Geyer, M., Nitsch, E. & Simon, T. (2011). *Geologie von Baden-Württemberg. 5.Auflage Schweizerbart, Stuttgart, 627p.*

Gradstein, F.M., Ogg, J.G. & Smith, A.G. (2004): Cambridge University Press.

Gradstein, F.M., Ogg, J.G., Schmitz, M.D. & Ogg, G.M. Edit. (2012): *The Geologic Time Scale 2012. Elsevier, Amsterdam.*

Häring, M.O. 1994): Rohstoffverhältnisse: Mögliche Kohlenwasserstoff- und Kohlevorkommen nördlich der Lägern und im Zürcher Weinland. Nagra Interner Bericht 94-33 (Vertraulich).

Hahn, W. (1971): Der Jura. In: Die Natur- und Landschaftsschutzgebiete Baden-Württembergs Band 6. Sauer, K. & Schnetter, H. (Hrsg.): Die Wutach – Naturkundliche Monographie einer Flusslandschaft.

Haq, B.U., Hardenbol, J. & Vail, P.R. (1988): Mesozoic and Cenozoic Chronostratigraphy and Cycles of Sea-Level Change. In: Sea-level changes – an integrated approach (Ed. by Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C.G.St.C., Posamentier, H.W., Ross, C.A. & Wagoner, J.C.). Spec. Publ. Soc. Econ. Paleont. Mineral. 42, 71-108.

Harms, J.C., Southard, J.B., Spearing, D.R. & Walker, R.G. (1975): Depositional Environments as interpreted from primary sedimentary structures and stratification sequences. Lecture notes for SEPM Short Course Nr. 2, Dallas 1975. Society of Economic Palaeontologists & Mineralogists.

Hofmann, F. (1981): Blatt 1031 Neunkirch.- Geol. Atlas Schweiz 1:25'000. Erläut. 74.

Hofmann, F., Schlatter, R. & Weh, M. (2000): Blatt 1011 Beggingen (Südhälfte) mit SW-Anteil von Blatt 1012 Singen. Geol Atlas Schweiz 1:25'000. Erläut. 97.

Jordan, P., Graf, H.R., Eberhard, M., Jost, J., Kälin, D. & Bitterli-Dreher, P. (2011): Blatt 1089 Aarau.- Geol. Atlas Schweiz 1: 25'000. Erläut. 135.

Kempton, E.H.K (1993): Strukturelle Verhältnisse in der nördlichen und östlichen Schweiz. Fortschrittsbericht Nr. 5 und Synthese. Technischer Bericht RR 93042-HSK, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, HSK.

Kempton, E.H.K. (1994): Mögliche Erdgas- und Erdölvorkommen nördlich der Lägern und im Zürcher Weinland: Bestehen Risiken von Nutzungskonflikten?. Kommentare zum Nagra Internen Bericht 94-33 „Rohstoffverhältnisse...“ vom März 1994. Bundesamt für Energie, Hauptabteilung für die Sicherheit der Kernanlagen, Aktennotiz AN 940909.

LithoLex, Lithostratigraphisches Lexikon.
http://bgr.de/app/litholex/gesamt_ausgabe_neu.php?id=4012024.

Lucius, M. (1945): Die Luxemburger Minetteformation und jüngere Eisenerzbildungen unseres Landes. Serv. Carte Géol. Luxembourg, V.

Madritsch, H., Meier, B., Kuhn, P., Roth, P., Zingg, O., Heuberger, S., Naef, H. & Birhäuser, P. (2013): Regionale strukturgeologische Zeitinterpretation der Nagra 2D Seismik 2011/12. Nagra Arbeitsber. NAB 13-10, Nagra, Wettingen.

Matter, A., Peters, Tj., Bläsi, H.-R., Bläsi, Meyer, J., Ischi, H. und Meyer, Ch. (1988): Sondierbohrung Weiach Geologie Textband. Landeshydrologie und –geologie. Geol. Ber. Nr. 6.

Mazurek, M. (2013): Wasserführende Systeme im „Braunen Dogger“. Nagra NAB 13-12.. Nagra, Wettingen.

Meier, B., Kuhn, P., Roth, Ph. & Madritsch, H. (2014): Tiefenkonvertierung der regionalen Strukturinterpretation der Nagra 2D-Seismik 2011/12. Nagra Arbeitsber. NAB 14-34.

Naef, H. & Madritsch, H. (2014): Aktualisierung der Karte des Nordschweizer Permokarbons auf Basis neuer und reprozessierter Seismik- und Gravimetrie-Daten. Nagra Arbeitsber. NAB 14-17. Nagra, Wettingen.

NAB 12-51 – Bläsi, H.R., Deplazes, G. Schnellmann, M. & Traber, D. (2013): Sedimentologie und Stratigraphie des „Braunen Doggers“ und seiner westlichen Äquivalente.

NAB 12-57 – Palynostratigraphie des Mittleren Jura: Teil I – Bohrungen Benken, Schlattingen-1, und Weiach sowie einige Aufschlussproben der Lägern und deren Korrelation.
Teil II – Bohrung Riniken, Aufschlussproben Bernhardholz, Dangstetten und Lägern.

NAB 13-22 – Heuberger, S., Naef, H. & Büchi, M. (2013): Aufschlussdatenbank des „Braunen Doggers“ in den Perimetern Lägern, Klingnau-Zurzach, Küssaberg-Dangstetten (D) und Rechberg (D).

NAB 14-58 – Meier, B. & Deplazes, G. (2014): Reflexionsseismische Analyse des „Braunen Doggers“.

Nagra (2001): Sondierbohrung Benken Untersuchungsbericht. Nagra Techn. Ber. NTB 00-01. Nagra, Wettingen.

Nagra (2014a): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Sicherheitstechnischer Bericht zu SGT Etappe 2. Sicherheitstechnischer Vergleich und Vorschlag der in Etappe 3 weiter zu untersuchenden geologischen Standortgebiete. Nagra Tech. Ber. NTB 14-01.

Nagra (2014b): SGT Etappe 2: Vorschlag weiter zu untersuchender geologischer Standortgebiete mit zugehörigen Standortarealen für die Oberflächenanlage. Geologische Grundlagen – Dossier II - Sedimentologische und tektonische Verhältnisse. Nagra Tech. Ber. NTB 14-02.

Ogg, J.G., Ogg, G. & Gradstein, F.M. (2008): The Concise Geologic Time Scale. Cambridge University Press.

Rais, M.K., Louis-Schmid, B. Bernasconi, M. & Weissert, H. (2003): Palaeoceanographic and palaeoclimatic reorganization around the Middle-Late Jurassic transition. *Palaeogeogr. Palaeoclimatol. Palaeoecol.* 251, 527-546.

Remane, J., Adatte T., Berger, J.-P., Burkhalter, R., Dall’Agnolo, D., Decrouez, H., Fischer, H., Funk, H., Furrer, H., Graf, H.-R., Gouffon, W., Heckendorn, W., & Winkler, W. (2005): Richtlinien zur stratigraphischen Nomenklatur. Schweizerisches Komitee für Stratigraphie. *Eclogae geol. Helv.* 98, 385-405.

Sanns, M. & Schweizer, V. (1987): Zur Fazies und Genese des Ober-Aalenium (Braunjura β) der südwestlichen Schwäbischen Alb. *Abh. Jh. Geol. Landesamt Baden–Württemberg.* 29, 125-143.

Schäfer Andreas (2005): Klastische Sedimente. Fazies und Sequenzstratigraphie. Spektrum Akademischer Verlag, Elsevier, München.

Schlegelmilch, R. (1985): Die Ammoniten des süddeutschen Doggers. Ein Bestimmungsbuch für Fossiliensammler und Geologen. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York.

Senftleben, G. (1923): Beiträge zur geologischen Erkenntnis der West-Lägern und ihrer Umgebung. Dissertation Universität Zürich. Buch und Kunstdruckerei A. Peter, Pfäffikon (Zch.).

Teyssen, T.A.L. (1984): Sedimentology of the Minette oolitic ironstones of Luxembourg and Lorraine: a Jurassic subtidal sandwave complex. *Sedimentology*, 31, 195-211.

Wetzel, A., Allenbach, R. & Allia, V. (1993): Reactivated basement structures affecting the sedimentary facies in a tectonically „quiescent“ epicontinental basin: an example from NW Switzerland. *Sedimentary Geology* 157/1, 153-172.

Wetzel, A., Weissert, H., Schaub, M. & Voegelin, A.R. (2013): Sea-water circulation on an oolithe-dominated carbonate System in an epeiric sea (Middle Jurassic, Switzerland). *Sedimentology* 60, 19-35.

Wild, H. (1951): Zur Bildungsgeschichte der Braunjura-Beta-Flöze und ihrer Begleitgesteine in NO-Württemberg. *Geol. Jb.* 65, 271-298.

ENSI 33/462

ENSI, CH-5200 Brugg, Industriestrasse 19, Telefon +41 56 460 84 00, E-Mail Info@ensi.ch, www.ensi.ch