

Arbeitsbericht NAB 13-89

**Strukturgeologische Kernaufnahmen
der Wirtgesteinsabfolgen aus
Tiefbohrungen der Nordschweiz**

Juli 2014

A. Ebert

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
CH-5430 Wettingen
Telefon 056-437 11 11

www.nagra.ch

Arbeitsbericht NAB 13-89

Strukturgeologische Kernaufnahmen der Wirtgesteinsabfolgen aus Tiefbohrungen der Nordschweiz

Juli 2014

A. Ebert

KEYWORDS

Kernaufnahme, Strukturtyp, Ader, Bruch, Störungszone,
Opalinuston, Effinger Schichten, 'Brauner Dogger', Benken,
Schlattingen-1, Weiach, Riniken, Schafisheim, Oftringen,
Gösgen

Nationale Genossenschaft
für die Lagerung
radioaktiver Abfälle

Hardstrasse 73
CH-5430 Wettingen
Telefon 056-437 11 11

www.nagra.ch

Nagra Arbeitsberichte stellen Ergebnisse aus laufenden Forschungsaktivitäten dar, welche nicht zwingend einem vollumfänglichen Review unterzogen wurden. Diese Berichtsreihe dient dem Zweck der zügigen Verteilung aktueller Fachinformationen. Die Autoren haben ihre eigenen Ansichten und Schlussfolgerungen dargestellt. Diese müssen nicht zwingend mit denjenigen der Nagra übereinstimmen.

"Copyright © 2014 by Nagra, Wettingen (Schweiz) / Alle Rechte vorbehalten.

Das Werk einschliesslich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung ausserhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung der Nagra unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Übersetzungen, Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen und Programmen, für Mikroverfilmungen, Vervielfältigungen usw."

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Tabellenverzeichnis.....	II
Figurenverzeichnis.....	III
Verzeichnis der Beilagen	IV
1 Einleitung	1
1.1 Ausgangslage.....	1
1.2 Vorgehensweise und Aufbau des Berichts	2
2 Strukturtypen.....	5
2.1 Definitionsschema	5
2.2 Detaillierte Beschreibung der Strukturtypen	6
2.2.1 Planare Trennflächen ohne Scherbewegung:.....	6
2.2.2 Planare Trennflächen mit Scherbewegung:	8
2.2.3 Nicht-planare Strukturen	11
2.2.4 Künstliche Trennflächen.....	13
2.3 Unterscheidung ähnlicher Strukturtypen	16
3 Datenbank und Darstellung.....	21
3.1 Aufgenommene Daten.....	21
3.2 Darstellung in der Datenbank	22
3.3 Graphische Darstellung in Diagramm	24
4 Ergebnisse.....	27
4.1 Sondierbohrung Weiach	27
4.1.1 Einleitung.....	27
4.1.2 Strukturaufnahme	28
4.2 Sondierbohrung Schafisheim.....	28
4.2.1 Einleitung.....	28
4.2.2 Strukturaufnahme	28
4.3 Sondierbohrung Riniken.....	29
4.3.1 Einleitung.....	29
4.3.2 Strukturaufnahme	30
4.4 Sondierbohrung Benken	30
4.4.1 Einleitung.....	30
4.4.2 Strukturaufnahme	30
4.5 Geothermiebohrung Schlattingen-1	31
4.5.1 Einleitung.....	31
4.5.2 Strukturaufnahme	31
4.6 Gösgen KB5a.....	31

4.6.1	Einleitung.....	31
4.6.2	Strukturaufnahme	32
4.7	EWS Oftringen	33
4.7.1	Einleitung.....	33
4.7.2	Strukturaufnahme	34
5	Bewertung und generelle Beobachtungen	35
5.1	Unterschiede in der Aufnahme von Kernfotos und Kernen.....	35
5.2	Korrelation von 'Discing' und Tonmineralgehalt.....	35
5.3	Vergleich Strukturen im Opalinuston	36
5.4	Vergleich Strukturen in den Effinger Schichten.....	36
5.5	Anmerkungen zur Strukturaufnahme.....	36
6	Referenzverzeichnis	37

Tabellenverzeichnis

Tab. 1:	Übersicht der im vorliegenden Bericht strukturgeologisch aufgenommenen Kernstrecken.	3
Tab. 2:	Gruppierung der in diesem Bericht aufgenommenen Strukturtypen	4
Tab. 3:	Unterschiede in der Auswertung basierend ausschliesslich auf Kernfotos gegenüber der kombinierten Auswertung von Kernfotos und Kernaufnahmen.....	35

Figurenverzeichnis

Fig. 1:	Übersicht der in diesem Bericht untersuchten Bohrungen.	1
Fig. 2:	Klassifizierung der bei der struktureologischen Aufnahme verwendeten Strukturtypen.	5
Fig. 3:	Strukturtyp ADER.	6
Fig. 4:	Strukturtyp Haarriss (HARI).	7
Fig. 5:	Strukturtyp Kluft (KLUF).	8
Fig. 6:	Strukturtyp Rutschharnische (RUHA).	9
Fig. 7:	Strukturtyp Verschiebungsfläche (VSFL).	10
Fig. 8:	Strukturtyp Störung (STOE).	11
Fig. 9:	Strukturtyp Fossil (FOSS).	12
Fig. 10:	Strukturtyp Stylolith (STYL).	13
Fig. 11:	Besipiel für 'Discing'.	14
Fig. 12:	Plumose Struktur auf 'Discing'-Fläche mit Resten von Bohrschlamm.	15
Fig. 13:	Illustration der zeitlichen Entwicklung von Rissen durch Austrocknung.	16
Fig. 14:	Zone mit 17 Rutschharnischen (Bohrung Schafisheim, Opalinuston).	18
Fig. 15:	'Discing' im Opalinuston der Bohrung Benken (Bohrmeter 392 – 394).	19
Fig. 16:	Muster der vergleichenden Darstellung der Strukturaufnahmen in den Beilagen.	25

Verzeichnis der Beilagen

- Beilage 1: Sondierbohrung Weiach – Darstellung der Strukturaufnahmen
- Beilage 2: Sondierbohrung Schafisheim – Darstellung der Strukturaufnahmen
- Beilage 3: Sondierbohrung Riniken – Darstellung der Strukturaufnahmen
- Beilage 4: Sondierbohrung Benken – Darstellung der Strukturaufnahmen
- Beilage 5: Geothermiebohrung Schlattingen-1 – Darstellung der Strukturaufnahmen
- Beilage 6: Sondierbohrung Gösgen KB 5a – Darstellung der Strukturaufnahmen
- Beilage 7: EWS Bohrung Oftringen – Darstellung der Strukturaufnahmen
- Beilage 8: Kernfotoaufnahme vs. Kernsichtung am Beispiel der Bohrung Weiach
- Beilage 9: 'Discing' versus Tonmineralgehalt
- Beilage 10: Vergleich planare Strukturen im Opalinuston der Bohrungen Schafisheim, Riniken, Weiach und Benken
- Beilage 11: Vergleich planare Strukturen in Effinger Schichten der Bohrungen Oftringen, Gösgen, Weiach und Benken

(Anmerkung: In der digitalen Version dieses Berichtes (PDF) sind die Beilagen im Register "ANLAGEN" (Symbol Büroklammer) abgelegt.)

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

In den 1980er Jahren wurden Deformationsstrukturen in Tiefbohrungen der Nagra anhand von Bohrkernen und geophysikalischen Logs aufgenommen und in Beilagen dokumentiert (z.B. Matter et al. 1987, 1988a und 1988b). Da klare Definitionen der Strukturen jedoch fehlen, ist die Nachvollziehbarkeit der Aufnahmen in diesen älteren Bohrungen teilweise lückenhaft.

Im Rahmen der strukturellen Beschreibung des Standortgebiets Wellenberg haben Huber & Huber (1994) ein Handbuch für Gelände- und Kernaufnahmen in Sedimentgesteinen verfasst. Dieses wiederum diente Liniger (1999) als Grundlage für die Terminologie der Kernaufnahmen in der Tiefbohrung Benken. In den Aufnahmen von Liniger (1999) sind konkrete Beispiele von Strukturen definiert und bildlich dokumentiert. Zudem existiert für jede interpretierte Struktur oder Strukturgruppe jeweils ein Eintrag in einer Datenbank (Excel-Format) und ist deshalb eindeutig nachvollziehbar. Eine ähnlich detaillierte Aufnahme wurde nach Vorbild von Liniger (1999) auch für die Geothermiebohrung Schlattingen-1 durchgeführt (Albert et al. 2012).

Ziel des vorliegenden Berichts ist es, die Aufnahmen gemäss Vorlage von Liniger (1999) auf die Nagra-Sondierbohrungen Riniken, Schafisheim und Weiach aus den 80er Jahren anzuwenden (Fig. 1).

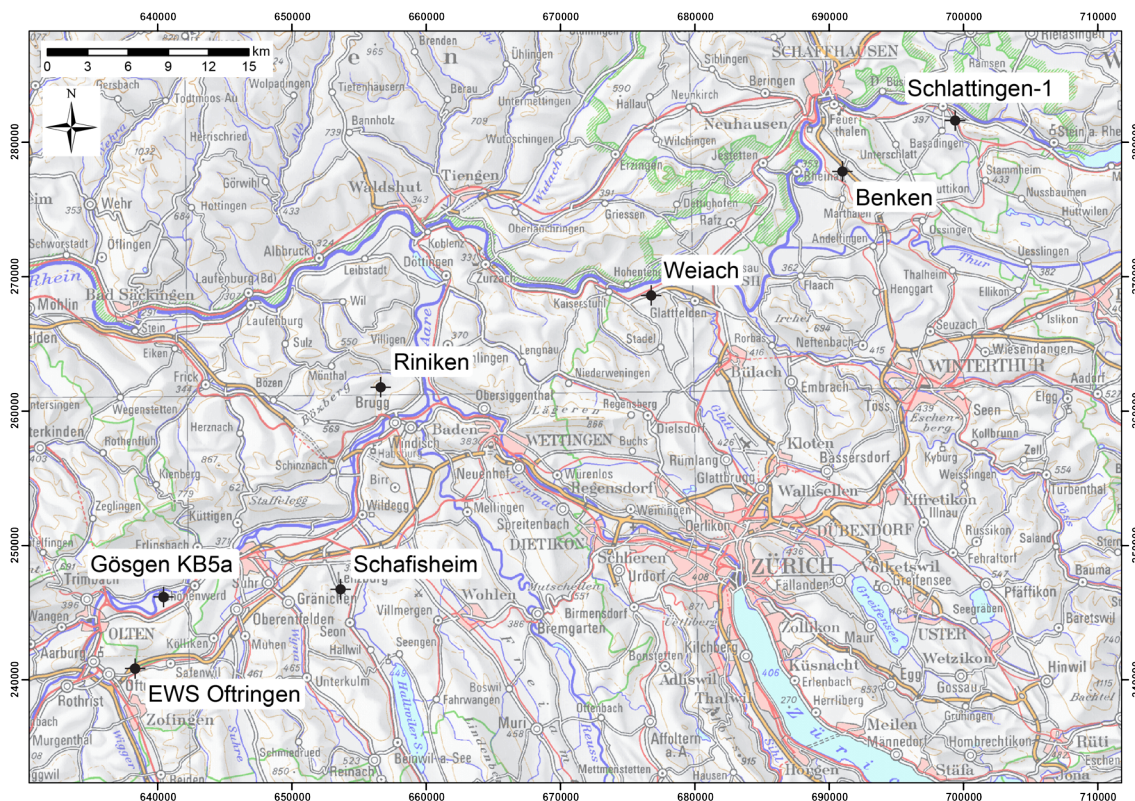


Fig. 1: Übersicht der in diesem Bericht untersuchten Bohrungen.

Zusätzlich wird im Rahmen dieser Studie auch die tiefe EWS-Bohrung Oftringen und die Sondierbohrung Gösgen KB5a strukturell aufgenommen. Dadurch soll ein konsistenteres Strukturinventar für die Wirtgesteine der Nordschweiz geschaffen werden. Die Bohrungen Benken und Schlattingen-1 dienten als Referenz und wurden auf ihre Stimmigkeit hin überprüft und in gleicher Weise dargestellt (siehe Beilagen), jedoch nicht neu aufgenommen.

Die Aufnahmen in diesem Bericht beschränken sich litho-stratigraphisch auf die in Etappe 1 des SGT nominierten Wirtgesteine der Nordschweiz (d.h. Effinger Schichten, 'Brauner Dogger' bzw. seine westlichen Äquivalente¹, und Opalinuston) und technisch auf die Ansprache der Bohrkerne (inkl. Bohrkernfotos). Eine integrierte Strukturanalyse basierend auf Bohrkernen und geophysikalischen Logs, sowie der Bohrkernabwicklung aus Bohrkernscanner-Aufnahmen wird momentan entwickelt.

Es ist anzumerken, dass die Abgrenzung verschiedener Strukturtypen oft schwierig ist und diese teilweise fließend ineinander übergehen, z.B. Haarriss in Ader oder Rutschharnisch in Verschiebungsfläche. Die Anzahl der Definitionen von Strukturtypen (Ader, Kluft, Störungszone usw.) ist aber bewusst begrenzt, damit das Bestimmen von Strukturen eindeutig und relativ pragmatisch anwendbar bleibt. Angesichts des Interpretationsspielraums sind kleinere Unterschiede bei den Strukturaufnahmen zwischen verschiedenen Bearbeitern zu erwarten.

1.2 Vorgehensweise und Aufbau des Berichts

In einem ersten Schritt wurden die bestehenden Aufnahmen von Liniger (1999, Bohrung Benken) und Albert et al. (2012, Schlattingen-1) auf ihre Konsistenz mit den Definitionen der Strukturtypen und der Vollständigkeit der Strukturaufnahme begutachtet. Schliesslich wurden die in Tab. 1 aufgeführten Intervalle strukturgeologisch aufgenommen.

Da die Kerne von Benken, Weiach, Riniken und Schafisheim aufgrund der Alterung in schlechtem Zustand sind, erfolgte eine erste systematische und detaillierte Strukturaufnahme an Kernfotos. Es wurden die Fotos der Vollkerne verwendet, da diese am "ältesten" sind und am wenigsten Artefakte durch Trocknung und Sägen zeigen. Halbkernfotos, soweit vorliegend, wurden zur Kontrolle der Strukturen heran gezogen.

Eine Reihe von Strukturen können auf den Fotos nicht eindeutig zugeordnet werden. Dies liegt an folgenden Gründen:

1. Zum Teil ist die Auflösung der Fotos zu gering, als dass feine Strukturen wie Haarrisse erkannt werden könnten oder eine Unterscheidung von verschiedenen feinen Strukturen möglich wäre.
2. Die Belichtung erschwert häufig auch das Erkennen von Strukturen. Durch Überbelichtung kann die Unterscheidung z.B. von Adern, Artefakten oder überbelichteten, dünnen hellen Lagen erschwert sein.
3. Einige Strukturen lassen sich erst bei Blick auf die Bruchfläche voneinander unterscheiden. Dies betrifft i.W. Rutschharnische und Klüfte (siehe nachfolgende Kapitel). Im Fall von Kernfotos ist aber der grösste Teil der Bruchflächen verdeckt.

¹ Westlich des Aare-Unterlaufs wird auf die Bezeichnung 'Brauner Dogger' für die Formationen des oberen Doggers zwischen Opalinuston und Malm verzichtet (vgl. Fig.4.3-11 in Nagra, 2008). Entsprechend werden die in den Bohrungen Oftringen, Riniken und Schafisheim analysierten Formationen im oberen Dogger in diesem Bericht separat aufgeführt.

4. Künstlich erzeugte Bruchflächen sind generell schwer von natürlichen Trennflächen zu unterscheiden. Auch in diesem Fall hilft es, wenn ein Blick auf die Bruchfläche möglich ist (siehe nachfolgende Kapitel).

Tab. 1: Übersicht der im vorliegenden Bericht strukturgeologisch aufgenommenen Kernstrecken.

^{a,b} Aufnahmen übernommen aus Liniger (1999) bzw. aus Albert et al. (2012).

Bohrung	Lithostratigraphische Einheit	Bohrmeterintervalle
Weiach	Efffinger Schichten	391 – 478 m
	'Brauner Dogger'	478 – 555 m
	Opalinuston	555 – 666 m
Riniken	Passwang-Formation	326 – 331 m
	Opalinuston	331 – 451 m
Schafisheim	Passwang-Formation	961 – 1001 m
	Opalinuston	1001 – 1080 m
Benken ^a	Efffinger Schichten	430 – 451 m
	'Brauner Dogger'	451 – 559 m
	Opalinuston	559 – 652 m
Schlattingen-1 ^b	Efffinger Schichten	730 – 758 m
	'Brauner Dogger'	758 – 849 m
	Opalinuston	849 – 950 m
Gösigen KB5a	Efffinger Schichten	68 – 156 m
Oftringen EWS	Wildeggen-Fm. (Efffinger Schichten & Birmenstorfer Schichten)	420 – 657 m
	Ifenthal-Fm.	657 – 665 m
	Hauptrogenstein-Fm.	665 – 719 m

Aufgrund der Ungewissheiten bei der Aufnahme von Kernfotos wurde in einem zweiten Schritt eine Kernsichtung ausgewählter Strecken im Kernlager der Nagra in Mellingen vorgenommen. Dabei wurden Strukturen und Bereiche, welche auf den Kernfotos nicht eindeutig bestimmt werden konnten, am Kern verifiziert. Die gesichteten Kernstrecken konzentrieren sich meist auf strukturreiche Zonen, denn je mehr Strukturen vorliegen, desto eher liegen solche vor, die am Kernfoto nicht eindeutig einem Strukturtyp zugeordnet werden können. Auf den ersten Blick erwecken die Resultate den Anschein, dass bei der Aufnahme von Kernmaterial mehr Strukturen erkannt werden als bei der Kernfotoauswertung. Dies ist aber nicht der Fall. Ausgehend von der Kernfotoauswertung konnte vielmehr auf die Sichtung von strukturarmen Zonen verzichtet werden.

Die aufgenommenen Strukturen wurden in Anlehnung an Albert et al. (2012) in vier Typenklassen eingeteilt (Tab. 2). Diese Klassifizierung wird in Kapitel 2 detailliert beschrieben. Weitere Parameter wie Tiefe, Orientierung oder Zuverlässigkeit der Interpretation der aufgenommenen Strukturen wurden systematisch in einer Excel-Datenbank festgehalten (siehe Kapitel 3) und für jede Bohrung graphisch dargestellt (siehe Kapitel 4 und Beilagen). Abschliessend wurden die Erfahrungen aus den Aufnahmen basierend nur auf Kernfotos sowie zusätzlich mit Aufnahmen am Kern verglichen (Kapitel 5).

Tab. 2: Gruppierung der in diesem Bericht aufgenommenen Strukturtypen.

Planare Strukturen mit Scherindikatoren	Planare Strukturen ohne Scherindikatoren	Nicht-planare Strukturen	Künstlich induzierte Strukturen
Rutschharnisch	Kluft	Stylolith	'Discing'
Verschiebungsfläche	Haarriss	Druse	
Störungszone	Ader	Fossilreiche Lage	
		Lösungssaum	

2 Strukturtypen

2.1 Definitionsschema

Grundsätzlich können die Strukturtypen in 4 Klassen eingeteilt werden (duktile Strukturen werden nicht betrachtet, da sie in den betrachteten Intervallen der Bohrungen der Nordschweiz nicht vorliegen). Diese sind:

1. nicht-planare Gefüge wie Drusen, Fossilien, Lösungsstrukturen und Stylolithe
2. planare Trennflächen mit Scherindikatoren wie Rutschharnische, Verschiebungsflächen und Störungszonen
3. planare Trennflächen ohne erkennbare Scherindikatoren wie Klüfte, Haarrisse und Adern
4. künstlich generierte Trennflächen wie 'Discing' und Trocknungsrisse

Die Unterscheidung der natürlichen Strukturtypklassen ist in Fig. 2 schematisch dargestellt und jeder Strukturtyp wird nachfolgend genau beschrieben. Fig. 2 bildet die Grundlage für die struktureologische Aufnahme in der vorliegenden Studie. Die nicht-planaren Strukturen unterscheiden sich durch verschiedene Entstehungsweisen, z.B. durch Rekristallisation einer präexistierenden Struktur (Fossil) oder durch Drucklösung (Stylolithe). Die planaren Trennflächen mit Scherbewegung unterscheiden sich durch die Intensität der Deformation, welche sich im Wesentlichen in der Breite und Komplexität der Struktur widerspiegelt. Planare Strukturen ohne Scherbewegung unterscheiden sich in der Breite der Mineralisation in der Trennfläche (0 mm, 0 – 1 mm, > 1 mm).

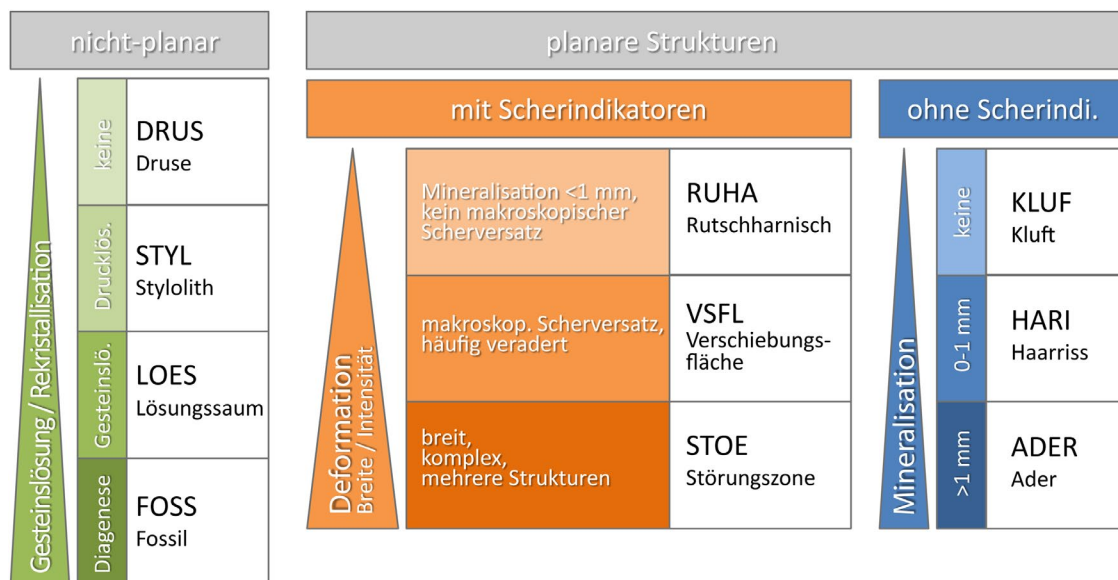


Fig. 2: Klassifizierung der bei der struktureologischen Aufnahme verwendeten Strukturtypen.

Die Unterscheidung der ersten Gruppe von den planaren Trennflächen ist meist eindeutig. Einzig bei sehr grossen, schmalen Schalenbruchstücken kann es vorkommen, dass diese auf Kernfotos als Ader gedeutet werden können.

Die Differenzierung zwischen natürlichen und planaren Trennflächen mit oder ohne Scherbewegung ist speziell auf Kernfotos nicht immer eindeutig. So kann ein Rutschharnisch in der Aufsicht genauso aussehen wie eine Kluft. Erst die Betrachtung der Bruchfläche, welche z.B. eine Striemung (= Rutschstreifen) oder einen Spiegel (= Spiegelfläche, d.h. blank polierte Verschiebungsfläche) zeigt, lässt eine eindeutige Unterscheidung zu. Häufig sind gleiche Strukturtypen innerhalb einer Bohrung ähnlich ausgeprägt und orientiert. Dies und die genaue Betrachtung der Bruchkante (glatt oder Treppchen-förmig, mit oder ohne Mineralisation, kleine Riedelflächen usw.) helfen bei der Unterscheidung der Strukturtypen. Wie oben bereits erwähnt, sind Übergänge zwischen den Typen fließend und eine eindeutige Zuweisung nicht immer möglich.

2.2 Detaillierte Beschreibung der Strukturtypen

Die Definition orientiert sich an den strukturgeologischen Kernaufnahmen in den beiden Berichten von Liniger (1999) und Albert et al. (2012). Die Reihenfolge der beschriebenen Strukturtypen entspricht dem Definitionsschema (Fig. 2). Zuerst werden planare Trennflächen ohne Scherbewegung, als zweites solche mit Scherbewegung und als letztes nicht-planare Strukturtypen beschrieben. Alle Abbildungen stammen aus den in diesem Bericht aufgenommenen Kernstrecken (Tab. 1).

2.2.1 Planare Trennflächen ohne Scherbewegung:

Ader (ADER)

Als Adern werden Trennflächen mit Mineralfüllung ohne erkennbare Anzeichen von Scherbewegung bezeichnet. Eine Ader stellt eine extensive Dehnungsstruktur dar. Grundsätzlich sind diese eindeutig (siehe Fig. 3). Nicht verfüllte Adern werden als Kluft bezeichnet.

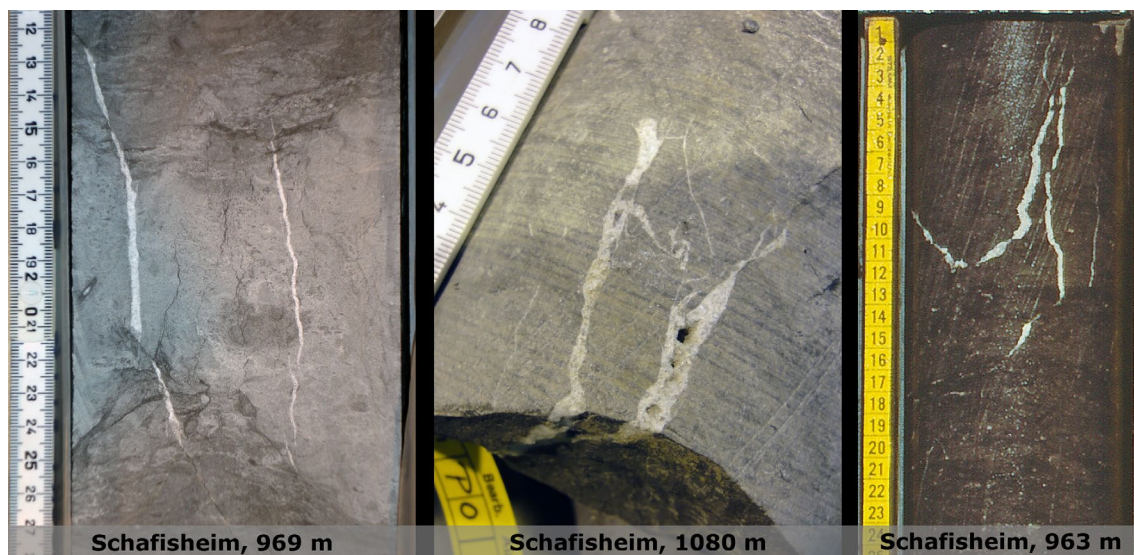


Fig. 3: Strukturtyp ADER.

Kernstrecken der Bohrung Schafisheim für den 'Braunen Dogger' (bei 969 und 963 m) sowie am Übergang von Opalinuston zum Lias (bei 1080 m).

Verfüllte Trennflächen mit einer Breite von < 1 mm werden als Haarrisse definiert. Wenn Merkmale einer Scherung vorliegen, so wird die aderartige Struktur als Verschiebungsfläche bezeichnet. In seltenen Fällen können grosse schmale Schalenbruchstücke mit Adern verwechselt werden. Die Art der Kristallisation kann bei der Unterscheidung helfen.

Haarriss (HARI)

Die Bezeichnung Haarriss wird wie in Albert et al. (2012) strikt für eine spezielle Form von Adern verwendet, entlang welcher nur eine sehr geringmächtige Mineralisation (< 1 mm) und keine Scherindikatoren erkennbar sind (siehe Fig. 4). Haarrisse, die Anzeichen für Verschiebungsbewegungen zeigen, werden als Rutschharnische bezeichnet. In der Vergangenheit wurden Haarrisse z.T. als verheilte Kluft interpretiert.



Fig. 4: Strukturtyp Haarriss (HARI).

Kernstrecken der Bohrung Weiach im Opalinuston (650 m) sowie in den Effinger Schichten (420 m).

Kluft (KLUF)

Die Bezeichnung Kluft bezieht sich auf eine zum Zeitpunkt der Kernaufnahme zumindest teilweise offene, dem Anschein nach tensile Bruchfläche. Kluftflächen zeigen keine Hinweise auf Scherbewegung und haben zumeist einen geradlinigen Verlauf (siehe Fig. 5). Teilweise ist ein leichter Kluftbelag erkennbar.

Häufig ist es schwierig, zwischen natürlichen und künstlich induzierten Klüften zu unterscheiden. Natürliche Klüfte durchschlagen den Kern meist über die ganze Strecke. Künstliche Trennflächen (z.B. 'Discing') sind umgekehrt meist senkrecht zur Bohrachse orientiert. Je nach Bohrfortschritt können auch parallel zur Bohrachse Klüfte induziert werden (z.B. 'petal fractures'). Weitere Kriterien für eine natürliche Kluft sind oft ganz leichte Anzeichen eines Spiegels für eine ganz geringe Bewegung entlang der Fläche und ein raueres, farblich unterschiedliches Erscheinungsbild der Kluft gegenüber künstlichen Bruchflächen. Vollständig verheilte Klüfte werden je nach Breite der Mineralisation als Haarriss oder Ader bezeichnet.

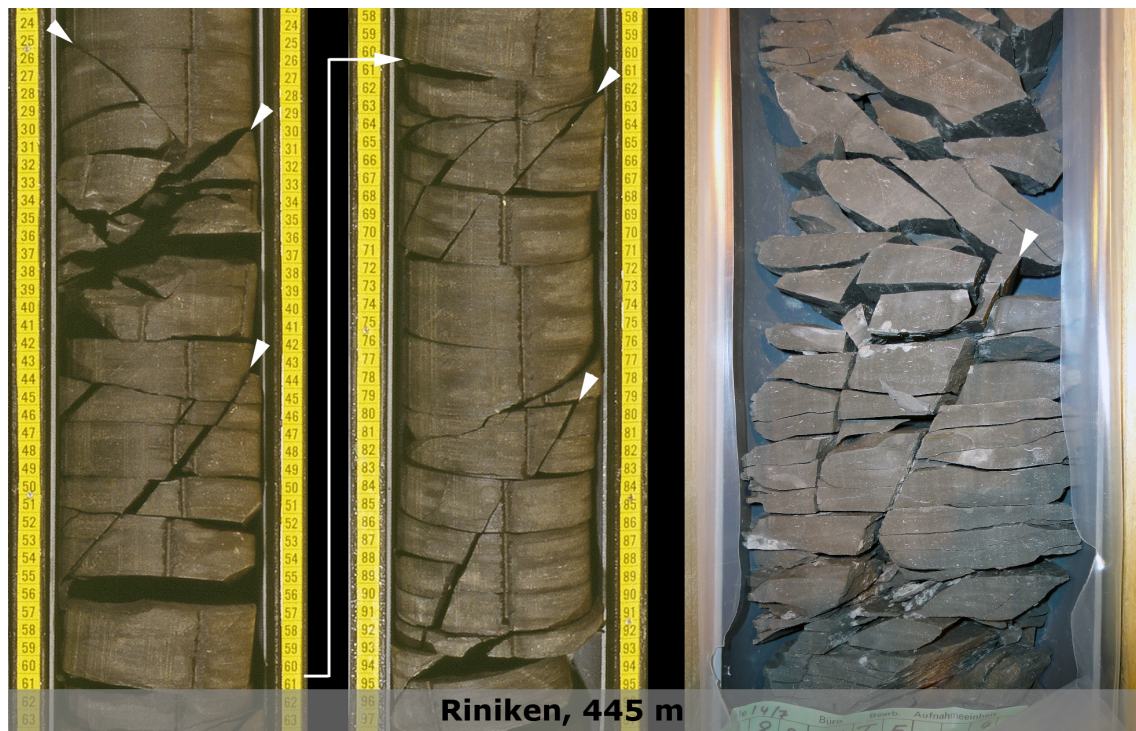


Fig. 5: Strukturtyp Kluft (KLUF).
Kernstrecken der Bohrung Riniken im Opalinuston (ca. 445 m).

2.2.2 Planare Trennflächen mit Scherbewegung

Rutschharnisch (RUHA)

Ein Rutschharnisch ist eine spezielle Form einer Verschiebungsfläche. Es handelt sich um eine einzelne, diskrete Sprödbbruchfläche, die zwar einen Harnisch als Bewegungsindikator, aber keine makroskopisch feststellbare Verschiebungskomponente aufweist. Die mit Rutschharnischen assoziierte Mineralisation ist stets geringmächtig (0 – 1 mm). Entlang von Rutschharnischen kommt es zu keiner makroskopisch erkennbaren kataklastischen Deformation des Randgesteins. Ist eine breite Mineralisations- und Deformationszone (> 1 mm) vorhanden, so handelt es sich um eine Verschiebungsfläche.

Bei Kernfotoauswertungen sind die Rutschharnische kaum von Klüften oder künstlichen Trennflächen zu unterscheiden. Ist eine Mineralisation vorhanden, so kann eine Unterscheidung von Haarrissen schwierig sein. Kann auf die Bruchfläche geschaut werden, so zeigen sich Spiegelharnische (wenn sehr tonig; Fig. 6), eine Striemung (wenn kalkig; Fig. 6) oder Faserharnische (mit Mineralisation). Ist nur eine Kernansicht möglich, so kann eine treppenartige Bruchflächenkante oder kleine, en-echelon angeordnete, rautenförmig verheilte Bereiche (Faserharnische) entlang der Bruchfläche ebenfalls für einen Rutschharnisch sprechen.

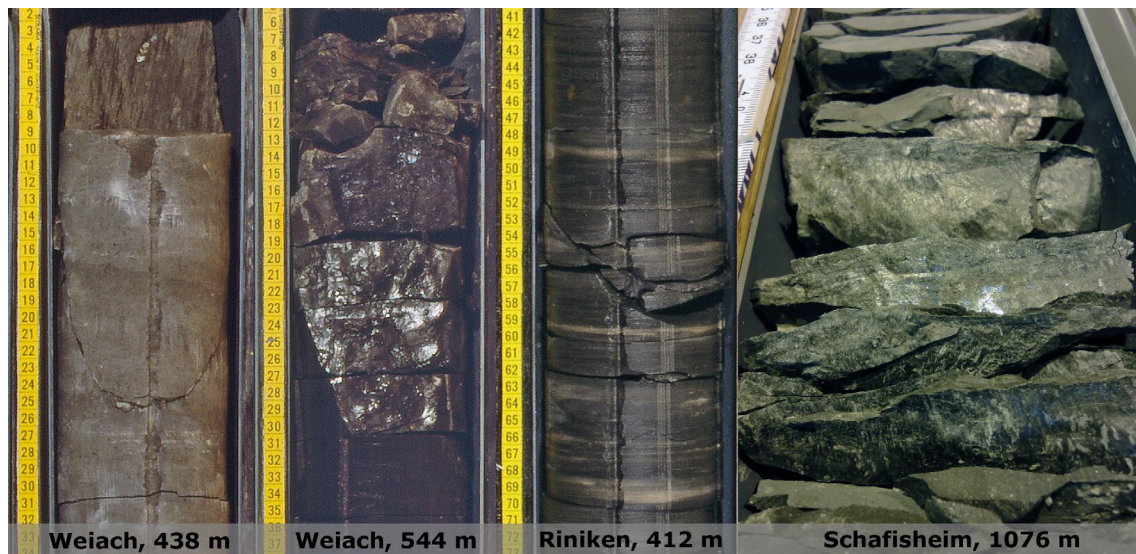


Fig. 6: Strukturtyp Rutschharnische (RUHA).

Von links nach rechts: RUHA mit Striierung in kompetenten Lagen der Effinger Schichten; RUHA als Spiegelharnisch in tonigen Lagen des 'Braunen Doggers'; RUHA als typisch diskordante Fläche im Opalinuston (Spiegelharnisch); dichte Abfolge von Spiegelharnischen im Opalinuston.

Verschiebungsfläche (VSFL)

Verschiebungsflächen sind einzelne diskrete Sprödbrüche, auf denen nachweislich eine Scherbewegung stattgefunden hat. Dieser Nachweis kann aufgrund des Versatzes von anderen Strukturelementen (Schichtung, Adern etc.) oder dem Vorhandensein von Bewegungslineationen auf der Bruchfläche (Harnischfasern oder Striierung) erfolgen. Im Randbereich von Verschiebungsflächen kann es zur kataklastischen Gesteinsdeformation kommen. Riedelflächen können manchmal auch beobachtet werden. Ausserdem sind Mineralisationen entlang von Verschiebungsflächen häufig. Letztere zeigen oftmals mehrphasige Überprägungen durch Deformation und Aderbildung. Aufgrund der häufig mehrphasigen Mineralisation und makroskopisch erkennbaren Sprödstrukturen sind die Verschiebungsflächen in der Regel auch auf der Kernansicht und auf Kernfotos gut erkennbar (siehe Fig. 7).

Als Rutschharnisch wird eine spezielle Form der Verschiebungsfläche ohne makroskopisch sichtbarem Scherversatz und kataklastische Gesteinsdeformation sowie fehlenden oder nur sehr geringmächtigen (< 1 mm) assoziierbaren Mineralisationen angesehen. Eine Verschiebungsfläche, die vollständig verheilt ist und keinen makroskopischen Scherversatz aufweist, kann als Ader missinterpretiert werden.

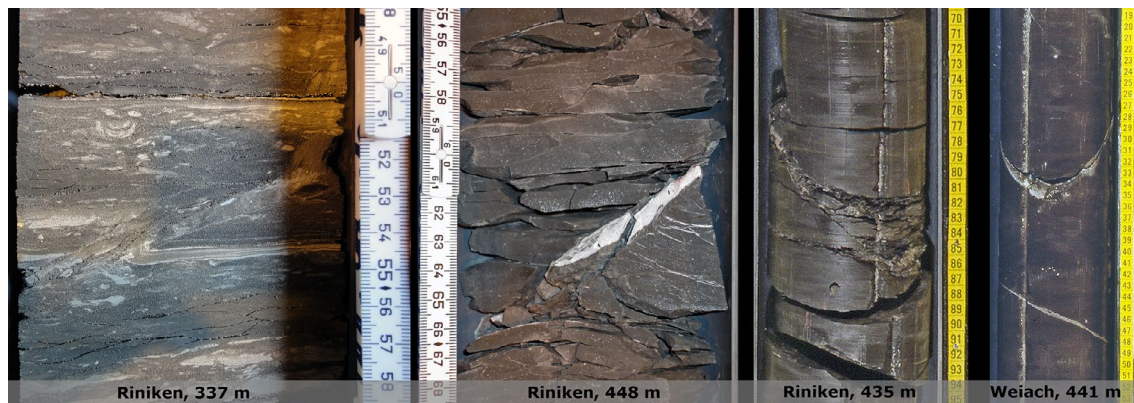


Fig. 7: Strukturtyp Verschiebungsfläche (VSFL).

Von links nach rechts: aufschiebende VSFL im Opalinuston mit Anzeichen für Schlepung; VSFL im Opalinuston mit Mineralisation und diskordant dazu stehenden Haarrissen / Riedelflächen; diskordante VSFL mit kakiritischer Zone im Opalinuston; 2 verheilte VSFL in den Effinger Schichten.

Störungszone (STOE)

Als Störungszone werden spröde Scherzonen bezeichnet. Dabei handelt es sich um auffällig deformierte Kernabschnitte, die mehrere Zentimeter bis Meter breit sind. Störungszone sind komplex aufgebaut und setzen sich aus einer dichten Ansammlung mehrerer Einzelstrukturen, wie z.B. Verschiebungsflächen, Rutschharnischen und/oder Adern zusammen (siehe Fig. 8). Ausserdem werden kataklastische Deformationshorizonte von mehreren Millimeter Mächtigkeit und/oder das Auftreten von vernetzten Adern als charakteristisch angesehen.

Im Fall von stark zerklüfteten und zerrütteten Zonen kann die Unterscheidung zwischen künstlich erzeugten und natürlich, tektonisch gestörten Trennflächen schwierig sein, insofern auf ihnen keine Bewegungsmerkmale oder Mineralisation erkennbar sind.

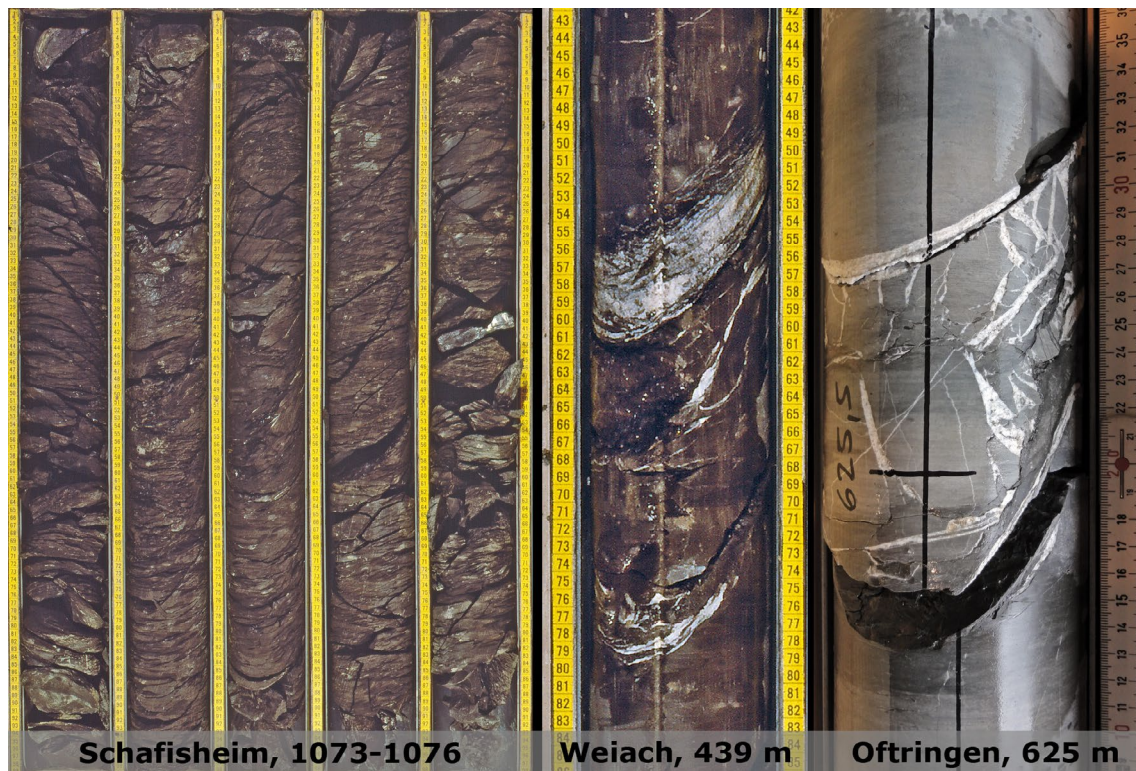


Fig. 8: Strukturtyp Störung (STOE).

Links: Mehrere Meter mächtige STOE im Opalinuston mit diskordant orientierten RUHA von > 20 pro Bohrmeter. Mitte: STOE mit Mineralisation in den Effinger Schichten. Rechts: STOE mit ADER, VSFL und RUHA in den Effinger Schichten.

2.2.3 Nicht-planare Strukturen

Lösungssaum [LOES]

Als Lösungssaum werden Kernhöhlräume bezeichnet, die auf diagenetische Gesteinslösungsprozesse zurückgeführt werden. Derartige Phänomene beschränken sich daher vor allem auf evaporit- und karbonatreiche Serien (siehe Albert et al. 2012). In den untersuchten Schichten von Effinger Schichten, über 'Brauner Dogger' bis Opalinuston wurden keine Lösungssäume beobachtet.

Druse [DRUS]

Eine Druse markiert einen zum Zeitpunkt der Kernaufnahme offenen Gesteinshohlraum, der nicht oder nur partiell durch spätere Mineralausfällung verfüllt wurde. Die Bildung von Drusen steht oft im Zusammenhang mit Klüften oder Störungen. Kernhöhlräume, die als Folge von Gesteinslösungsprozessen gedeutet werden, werden als Lösungssaum bezeichnet. In den untersuchten Schichtreihen wurden nur wenige Drusen erkannt.

Fossil [FOSS]

Die Bezeichnung Fossil beschreibt Kernabschnitte, die sich durch einen auffällig hohen Reichtum an Fossilien auszeichnen. Als solches markiert ein derartiger Eintrag nicht zwingend einen strukturgeologisch signifikanten Kernabschnitt, aber eine Konzentration von sekundärer Mineralisation wie sie häufig auch entlang von tektonischen Strukturen auftritt (z.B. Adern). Derartige Kernabschnitte sind besonders für die Formationen des oberen 'Braunen Doggers' (Wutach-Formation bis Humphriesoolith-Formation) bzw. dessen westliche Äquivalente (Ifenthal-Formation und Klingnau-Formation) charakteristisch. Innerhalb der übrigen gekernteten Formationen treten sie nur vereinzelt auf. Grosse und schmale Schalenbruchstücke können auf Kernfotos versehentlich als Adern klassifiziert werden (siehe Fig. 9).



Fig. 9: Strukturtyp Fossil (FOSS).

Links: Schalenbruchstück-reiche Lage im 'Braunen Dogger'. Mitte und rechts: Einzelne grosse Schalenbruchstücke können als Adern gedeutet werden (Passwang-Fm.). Mittels ihrer Form und der Art der internen Kristallstruktur der Schale können sie zumindest am Kern klar von Adern unterschieden werden.

Stylolith [STYL]

Stylolithe sind in karbonatischen Sedimentabfolgen, im Speziellen in 'Harten Bänken' der Effinger Schichten und des 'Braunen Doggers', typische Drucklösungsphänomene. Sie entstehen entweder während der Diagenese durch Auflast und sind somit parallel zur Schichtung orientiert oder diagenetisch im Zuge von tektonischer Deformation mit Stylolith-Flächen senkrecht zur kompressiven Hauptspannung. In den hier untersuchten Bohrungen stehen die meisten Stylolith-Flächen vertikal. Das typische Erkennungsmerkmal von Stylolithen im Kernanschnitt ist die unebene, zackenartig ausgebildete Suturlinie (siehe Fig. 10).

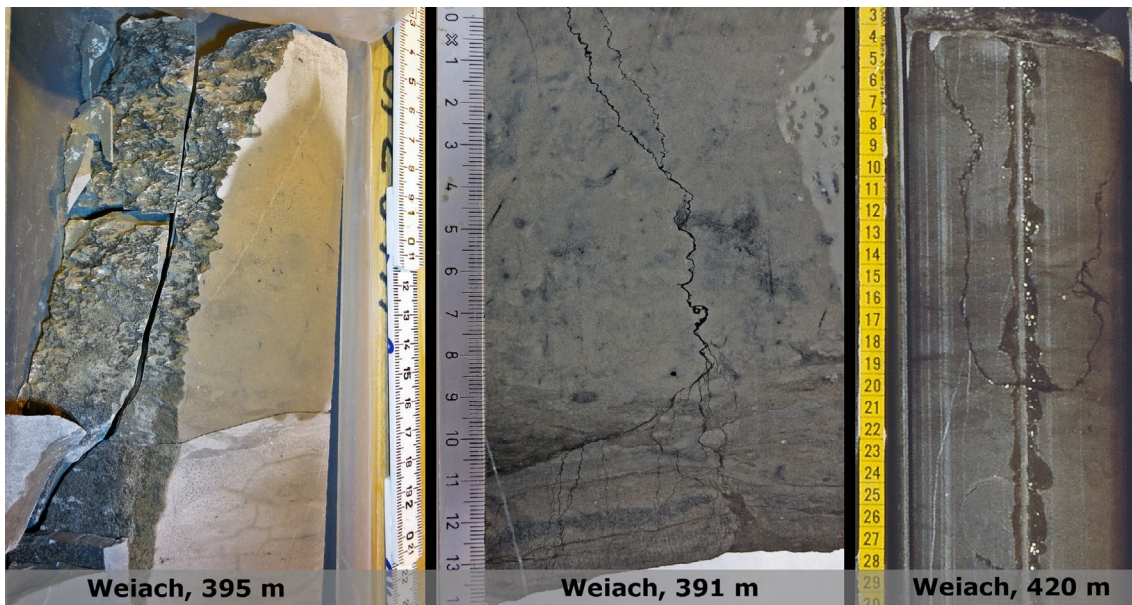


Fig. 10: Strukturtyp Stylolith (STYL).

Beispiele aus den Harten Bänken der Effinger Schichten. Links: Aufsicht auf eine aufgebroschene STYL-Fläche.

2.2.4 Künstliche Trennflächen

Künstliche Trennflächen entstehen durch den Bohrvortrieb, besonders wenn dieser schnell erfolgt, durch Entlastung während dem Ziehen der Kerne, durch das Halbieren der Kerne und durch Austrocknen. Die wichtigsten künstlichen Trennflächen sind 'Discing' und Trockenrisse, wie auch untergeordnet z.B. 'petal' Strukturen ('Blumenblattstrukturen', d.h. vom Kernrand zur Kernachse hin gewölbte Trennflächen). Die Unterscheidung zwischen natürlichen Strukturen (im Speziellen solche ohne Mineralisation, wie Klüfte und Rutschharnische) und künstlich generierten Trennflächen ist nicht immer eindeutig. Nachfolgende Merkmale für 'Discing' und Trockenrisse helfen bei der Unterscheidung.

'Discing'

'Discing' beschreibt eine Zerlegung der erbohrten Kerne in Disken-förmige Scheiben. Sie werden allgemein als Indiz für hohe in situ Gebirgsspannungen gewertet, können aber auch durch ausgeprägtes Gesteinsgefüge verursacht werden. Sie lassen sich wie folgt von natürlichen Trennflächen unterscheiden (siehe auch Fig. 11 und Fig. 12):

- meist sub-/ vertikal zur Bohrlängsachse und schichtparallel
- ebene, z.T. tellerformartige Trennflächen
- parallele, in regelmässigen Abständen vorkommende Trennflächen
- häufig mit Bohrschlammresten auf Bruchfläche
- plumose Strukturen auf Bruchfläche (radialstrahlige, federartige Oberflächenmarken)
- keine Rutschharnische und keine Mineralfüllungen
- je höher der Tonmineralgehalt, desto kleiner der Abstand zwischen den 'Discing'-Bruchflächen



Fig. 11: Beispiel für 'Discing'.
Jeweils im Abstand von ca. 3 – 5 cm im Opalinuston, Bohrung Riniken.

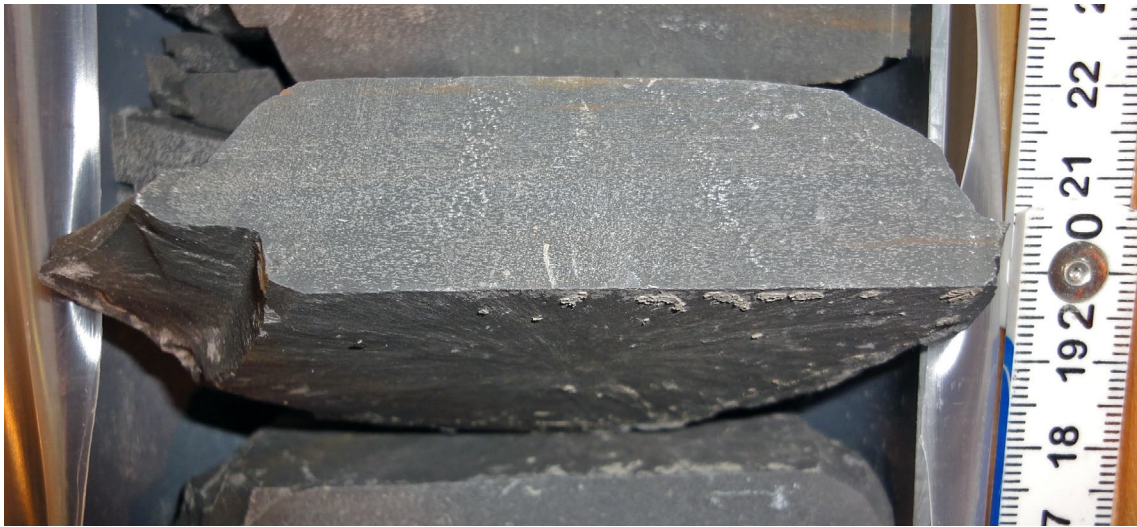


Fig. 12: Plumose Struktur auf 'Discing'-Fläche mit Resten von Bohrschlamm.
Beispiel aus dem Opalinuston der Bohrung Weiach (Tiefe 649 m).

Trockenrisse

Durch Austrocknung des Kernmaterials können in Tonmineral-reichen Lagen Trockenrisse entstehen (siehe Fig. 13). Sie können wie folgt erkannt werden:

- auf unmittelbar nach Kernentnahme gemachten Kernfotos noch nicht vorhanden
- unregelmässige, unebene, gebogene, nicht parallele Flächen
- enden/starten häufig in Dreifachabzweigungen
- gehäuft in sehr Tonmineral-reichen Intervallen
- häufig begleitet von Ausblühungen



Fig. 13: Illustration der zeitlichen Entwicklung von Rissen durch Austrocknung.

Am Beispiel Weiach, Opalinuston, Bohrteufe ca. 650 m (alle Bilder zeigen den gleichen Bohrkernabschnitt). Von rechts nach links nimmt die Alteration und Beanspruchung des Kernmaterials durch Sägen und Trocknen zu und damit die Anzahl künstlicher Trennflächen. Rechts: Bohrkern kurz nach dem Ziehen mit 'Discing'-Trennflächen. Mitte: Bohrkern nach dem Halbieren. Links: Bohrkern im Jahr 2013 mit Trockenrissen.

2.3 Unterscheidung ähnlicher Strukturtypen

Gewisse Strukturen lassen sich auf Kernfotos und Kernen leicht und eindeutig bestimmen. Dies sind Strukturen, welche eine gewisse Breite haben. Ein Beispiel dafür sind Adern. Strukturen, wie Klüfte und Rutschharnische können meist nur von den anderen Trennflächen unterschieden werden, wenn eine Aufsicht auf die Bruchfläche gegeben ist. Dies ist bei Kernfotos nicht möglich. Aus diesem Grund wurde bei der Auswertung ein Qualitätsindex verwendet, welcher aussagt, wie sicher eine natürliche Struktur vorliegt und wie eindeutig der Strukturtyp bestimmt werden kann.

Meist eindeutige Strukturen sind:

- Mineralisierte Strukturen (Adern, Haarrisse, Fossilien). Zum Teil können sedimentäre Strukturen durch Überbelichtung wie Adern erscheinen. Auch grosse schmale Schalenbruchstücke können als Adern missinterpretiert werden (Fig. 9). schmale Haarrisse können durch eine ungenügende Bildauflösung im Bildrauschen untergehen.
- Je nach Strukturbreite und Vorhandensein von Strukturmerkmalen, wie Versatz, kataklastisches Erscheinungsbild, mehrphasige Mineralisations- und Deformationserscheinungen, sind auch Störungszonen und Verschiebungsflächen in der Regel auf dem Kernfoto gut erkennbar.

Auf Kernfotos schwierig zu unterscheidende Strukturen sind:

- Klüfte und Rutschharnische können häufig nicht eindeutig voneinander unterschieden werden (Fig. 14). Eine sichere Unterscheidung ist nur möglich, wenn die Aufsicht auf die Bruchfläche möglich ist. Manchmal sind auf Kernfotos auf Ausbruchflächen Anzeichen von Striemung oder Spiegelharnischen zu erkennen (siehe Fig. 6). Die Ausbisslinie der Rutschharnische kann kleine Stufen und rautenförmige Mineralisationen der Faserharnische zeigen im Gegensatz zu Klüften, welche glatt und eben sind. Mögliche Versätze von Schichten sind ebenfalls ein Kriterium.
- Flach einfallende Rutschharnische können oft von künstlichen Strukturen wie 'Discing' kaum unterschieden werden (Fig. 15). In diesem Fall gelten ebenfalls obige Kriterien.
- Klüfte können nicht immer eindeutig von künstlichen Strukturen unterschieden werden. Tendenziell stellen steil stehende Bruchflächen eher natürliche Klüfte dar. Doch auch hier gibt es Ausnahmen (z.B. 'petal' Strukturen). Künstliche Flächen sind meist senkrecht zur Bohrlängsachse, also horizontal orientiert. Im Gegensatz zu den Rutschharnischen sind Klüfte auch am Kern nicht immer eindeutig bestimmbar. Am Kern können Merkmale wie raue / alterierte Bruchflächen, Kluftbeläge und / oder das Fehlen von plumosen Strukturen für Klüfte sprechen.
- In wie weit offene Strukturen natürlich oder künstlich geöffnet vorliegen, ist auf dem Kernfoto praktisch gar nicht und am Kern nur selten eindeutig bestimmbar. Bohrschlamm selber ist kein Kriterium, da dieser auch erst spät beim Ziehen des Kerns eindringen kann, obwohl die Struktur unter natürlichen Bedingungen geschlossen ist. Im Fall von Adern ist in wenigen Fällen in Zusammenhang mit einer drusenartigen Mineralisation eine natürliche Öffnung erkennbar (siehe z.B. Fig. 3).
- Der Mineralisationstyp kann am Kernfoto nur vermutet werden. In den allermeisten Fällen ist Calcit das Hauptmineral der Verheilung. Wenn es sich um eine weisse Mineralisation handelt, wurde im vorliegenden Bericht vereinfacht Calcit angenommen.

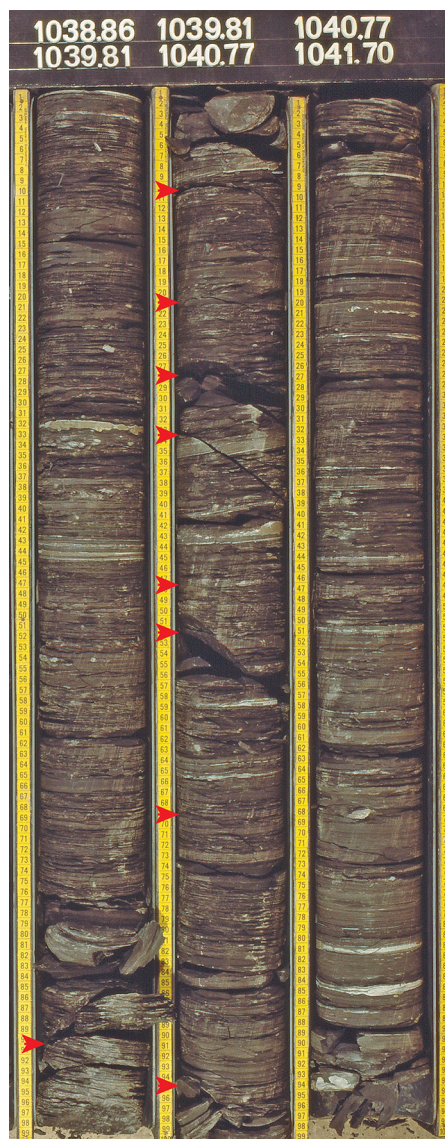


Fig. 14: Zone mit 17 Rutschharnischen (Bohrung Schafisheim, Opalinuston).

Diese lassen sich nur mittels Kernsichtung eindeutig definieren. Auf dem Kernfoto kann nicht eindeutig zwischen Kluft und Rutschharnisch unterschieden werden. Zudem können nicht alle Rutschharnische erkannt werden.



Fig. 15: 'Discing' im Opalinuston der Bohrung Benken (Bohrmeter 392 – 394).

Bei subkonkordanten bis diskordanten Trennflächen ("?)") ist oft unklar, ob es sich um 'Discing' oder natürliche Trennflächen wie Rutschharnische handelt. In diesem Fall konnten auf den Bruchflächen keine Anzeichen für Bewegung (Striement, Spiegel) oder Kluftbeläge erkannt werden.

3 Datenbank und Darstellung

3.1 Aufgenommene Daten

Nebst den unter Kapitel 2 aufgeführten Strukturtypen wurden bei der Strukturanalyse folgende Parameter ermittelt:

- **Tiefe**
Bohrteufe entlang der Kernachse der Struktur bzw. Strukturzone in Meter (Schnitt der Struktur mit der Kernachse, bei Zonen Schnitt der Ober- und Unterkante mit der Kernachse).
- **Anzahl**
Strukturreiche Bereiche eines gleichen Strukturtyps wurden in Zonen zusammengefasst, insofern alle die gleichen Merkmale zeigen und diese sehr nahe beieinander liegen. In diesen Zonen wird die Anzahl von Strukturen eines gleichen Typs angegeben.
- **Qualitätsindex**
Häufig ist die Definition einer Struktur, speziell auf dem Kernfoto mehrdeutig. Deshalb wird angegeben, wie eindeutig eine Struktur bestimmt wurde. Folgende Bewertung wird verwendet: 1 = Strukturtyp gemäss Tab. 2 eindeutig, 2 = natürliche Struktur klar vorhanden, Typ wahrscheinlich bzw. kann nicht genau definiert werden (z. B. Rutschharnisch oder Kluft), 3 = natürliche Struktur und Typ vermutet bzw. unklar ob es sich um eine künstliche oder natürliche Struktur handelt.
- **Relative Orientierung**
Die Orientierung einer einzelnen Struktur wird wie folgt unterschieden: konkordant (kk) zur Schichtung mit Einfallswinkel von 0 – 5°, subkonkordant (sk) 5 – 20°, diskordant (dk) 20 – 80°, vertikal (ve) 80 – 90°.
- **Breite**
Die Breite bzw. Mächtigkeit einer Struktur bzw. Trennfläche wird in mm angegeben (z.B. Ader: maximale Breite der Mineralisation; fossilreiche Zone: Mächtigkeit der Zone).
- **Verheilung / Mineralisation**
Unterscheidung in nicht-verheilte bzw. verheilte Strukturen. Die Mineralisation liegt grösstenteils in Form von einer Mineralfüllung in Adern, Haarrissen oder als Fasern in Rutschharnischen vor.
- **Typ Mineralisation**
Da aufgrund von Kernfotos eine Bestimmung des Mineraltyps schwierig ist, wurde in dieser Studie kein Fokus auf die Bestimmung des Mineraltyps gesetzt. Grösstenteils handelt es sich aber um Calcit z.B. in Adern und Tonmineralen in Stylolithen.
- **Strukturzustand**
Strukturen können geöffnet oder geschlossen sein. Der Grund der Öffnung ist häufig auf ein künstliches Aufbrechen zurückzuführen. Anhand von Kernfotos, aber auch an alten Kernen kann der Öffnungsgrund (unklar, natürlich oder künstlich) grösstenteils nicht eindeutig bestimmt werden.
- **Schersinn, Lineation**
Häufig können Verschiebungsflächen und Rutschharnische kinematischen Indikatoren zugeordnet werden. Diese sind u.a. Versatz, Schleppung, Striemung, Lineation, Riedelflächen, kleine treppenartige Stufen und Faserharnische. Einige Indikatoren können nur auf der Bruchfläche beobachtet werden. Bei einer Kernansicht wie auf dem Kernfoto sind die wichtigsten Indikatoren meist nicht erkennbar (z.B. Striemung und Lineation). Folglich

kann ein Schersinn bzw. die Lineationsrichtung mittels Kernfoto meist nicht bestimmt werden. Im Fall der Rutschharnische sind diese in tonig-mergeligen Intervallen häufig als Spiegelharnische ausgebildet. Auch in diesem Fall ist eine kinematische Zuordnung meist nicht möglich. Erschwerend kommt hinzu, dass besonders in den tonigen Intervallen das alte Kernmaterial beim Herausnehmen aus der Bohrkernkiste sofort zerfällt. Wenn eine Bestimmung möglich war (meist nur im Fall von Strukturen, welche bei der Kernsichtung verifiziert wurden), wurde unterschieden in abschiebend, aufschiebend, seitenverschiebend, schräg abschiebend und schräg aufschiebend. Des Weiteren wurde das Einfallen einer Striemung, der Faserharnische oder sonstiger Lineationen angegeben (horizontal, schräg oder im Fallen).

Des Weiteren wird angegeben, auf welchen Daten die Interpretation bzw. Quantifizierung beruht. Es wird unterschieden in Aufnahme von Kernfoto der Vollkerne, der Halbkerne und mittels Kernsichtung. Vorliegende Datenlücken auf den Kernfotos der Vollkerne werden ausgewiesen.

3.2 Darstellung in der Datenbank

Die Daten wurden in Excel-Tabellen zusammengeführt und sind dem Bericht als elektronische Datenfiles beigelegt. Die Visualisierung der interpretierten Strukturen erfolgte im Adobe Illustrator (siehe Kapitel 4 und Beilagen).

Da weite Kernstrecken nur am Kernfoto aufgenommen wurden, lag der Fokus der Struktur-aufnahme auf der Definition:

- des Strukturtyps (z.B. ADER, RUHA)
- dessen Tiefenlage
- dessen relativer Orientierung (konkordant, subkonkordant, diskordant, vertikal)
- des Mineralisierungsgrads (verheilt oder nicht verheilt)
- und in wie weit die Struktur offen oder geschlossen ist

Die Bestimmung des Mineraltyps, des Strukturzustands, der Strukturbreite (es wurden nur Strukturen mit einer Breite von bis zu mehreren Millimetern eingemessen) und der genauen Lage im Raum (Einmessen von Azimuth und Fallwinkel) erfolgten innerhalb dieser Studie nicht oder nur an einem Teil der Strukturen. Wenn vorhanden und erkennbar, wurden die relative Orientierung der Lineation und der Schersinn auf Scherflächen bestimmt.

Zusätzlich zu den Strukturtypen und den in Kapitel 3.1 aufgelisteten Parametern wurden für die Datenbank zu Vergleichszwecken folgende Daten übernommen:

- **Stratigraphie und Lithologie**
Aus den Originalreferenzen der Bohrungen sowie Revisionen gemäss Bläsi et al. (2013) sowie Deplazes et al. (2013)
- **Harte Bank**
Gemäss Mazurek (2013a und b), nach Aufnahmen von H. Bläsi (Universität Bern)
- **Tonmineralgehalt**
Gemäss Albert & Schwab (2013)

Der Kopf der verwendeten Excel-Tabelle sieht wie folgt aus:

Name Bohrung	Startteufe	Endteufe	Durchteufe Serie	Formation	Harte Bank	Tonmineralgehalt
z.B. Weiach	In m (Top sichtbare Struktur auf Kernfoto bzw. Schnitt Einzelstruktur mit Kernachse)	In m (sichtbare Basis Struktur auf Kernfoto bzw. Schnitt Einzelstruktur mit Kernachse)	z.B. Dogger	z.B. Opalinuston	1 = Harte Bank vorhanden	In Gewichtsprozent (Gew.-%)

Fortsetzung Tabelle:

Strukturtyp	Kernsichtung	Anzahl Strukturen	Qualität Definition Kernfoto	Qualität nach Kernsichtung	Orientierung	Breite Struktur
RUHA, KLUF, ADER,... ²	Kontrolle der auf dem Kernfoto bestimmten Struktur	Im Fall von Zonen mit mehreren gleichen Strukturtypen	1 = Struktur und Typ eindeutig	1 = Struktur und Typ eindeutig	1 = 0 – 5° (kk, relativ zur Schichtung)	In mm, max. sichtbare Breite der Struktur
	0 = Struktur nicht bestätigt		2 = Struktur vorhanden, Typ wahrscheinlich	2 = Struktur vorhanden, Typ wahrscheinlich	2 = 5 – 20° (sk)	
	1 = zusätzlich erkannt		3 = Struktur und Typ vermutet	3 = Struktur und Typ vermutet	3 = 20 – 80° (dk)	
	2 = Struktur vorhanden, aber Typ geändert				4 = 80 – 90° (ve)	

Fortsetzung Tabelle:

Verheilung	Öffnung	Mineralisation	Schersinn	'Discing'	Interpretation	Bemerkungen
0 = nicht-verheilte, natürliche Struktur	1 = offen, Ursache Öffnung unklar	1 = nicht bestimmt	1 = abschiebend	Anzahl disc / Bohrmeter	Kernfoto	
1 = verheilte natürliche Struktur	2 = natürlich offen	2 = CALC	2 = aufschiebend		2 = Kernsichtung	
	3 = künstlich aufgebrochen	3 = TOMI	3 = seitenverschiebend		3 = Kernverlust	
	4 = geschlossen	4 = PYRI	4 = schräg abschiebend			
		5 = andere	5 = schräg aufschiebend			

² Zusätzlich wird in dieser Kolonne auch aufgeführt, für welche Intervalle Informationen zu Tonmineralgehalten und harten Bänken zur Verfügung standen, welche Intervalle am Kern verifiziert wurden ("Kernsichtung") und wo 'Discing' interpretiert wurde.

3.3 Graphische Darstellung in Diagramm

Fig. 16 zeigt einen Ausschnitt der Ergebnisse der Strukturaufnahmen, wie sie in den Beilagen grossformatig visualisiert sind. Die dargestellten Kolonnen zeigen von links nach rechts:

- Bohrteufe in Meter
- Übersicht Stratigraphie
- Übersicht Lithologie
- Vorkommen von Harten Bänken (jeder schwarze Balken spiegelt eine Harte Bank wieder)
- Tonmineralgehalt in Gewichtsprozenten mit überschlagender Darstellungsweise
- Anzahl der planaren Strukturen pro 5 Bohrmeter, unterschieden in i) alle planaren Strukturen (in schwarz) und ii) alle mineralisierten planaren Strukturen (in grau)
- Strukturtypen:
 - Planare Strukturtypen mit Scherindikatoren (orangene Spalten)
 - Planare Strukturtypen ohne Scherindikatoren (blaue Spalten)
 - Nicht-planare Strukturen ohne Scherindikatoren (grüne Spalten)
 - Für jede erkannte Struktur ist ein Symbol abgebildet. Im Fall von gleichen, nahe beieinander liegenden, separat aufgenommenen Strukturen ist ein Symbol mit Angabe der Anzahl angegeben; strukturreiche Zonen sind mit einem grauen Balken inklusive Anzahl des gleichen Strukturtyps dargestellt (hier wurden die Strukturen nicht einzeln aufgenommen, sondern deren Anzahl abgezählt oder abgeschätzt)
 - Die relative Orientierung jedes Elements ist durch das Einfallen des Symbols erkennbar
 - Zudem wird unterschieden, ob die Struktur mineralisiert (graues Symbol) oder unverheilt (schwarzes Symbol) ist; entsprechend sind HARI und ADER immer verheilt / mineralisiert
- Anzahl 'Discing'-Trennflächen pro Bohrmeter mit überschlagender Darstellung
- Grundlagen der Strukturaufnahme:
 - Kernstrecken, deren Aufnahme auf Kernfotos und / oder Halbkernfotos beruht
 - Ausgewählte Kernstrecken, die mittels Kernsichtung evaluiert wurden
 - In schwarz: Kernstrecken, von welchen weder Kerne noch Fotos erhalten sind
- Anmerkungen (hauptsächlich bezüglich kinematische Indikatoren)

Im Fall von Benken und Schlattungen wurden bestehende Strukturaufnahmen übernommen und in gleicher Weise dargestellt. Die 'Discing'-Frequenzen wurden jedoch bei diesen Aufnahmen nicht bestimmt und werden entsprechend nicht dargestellt.

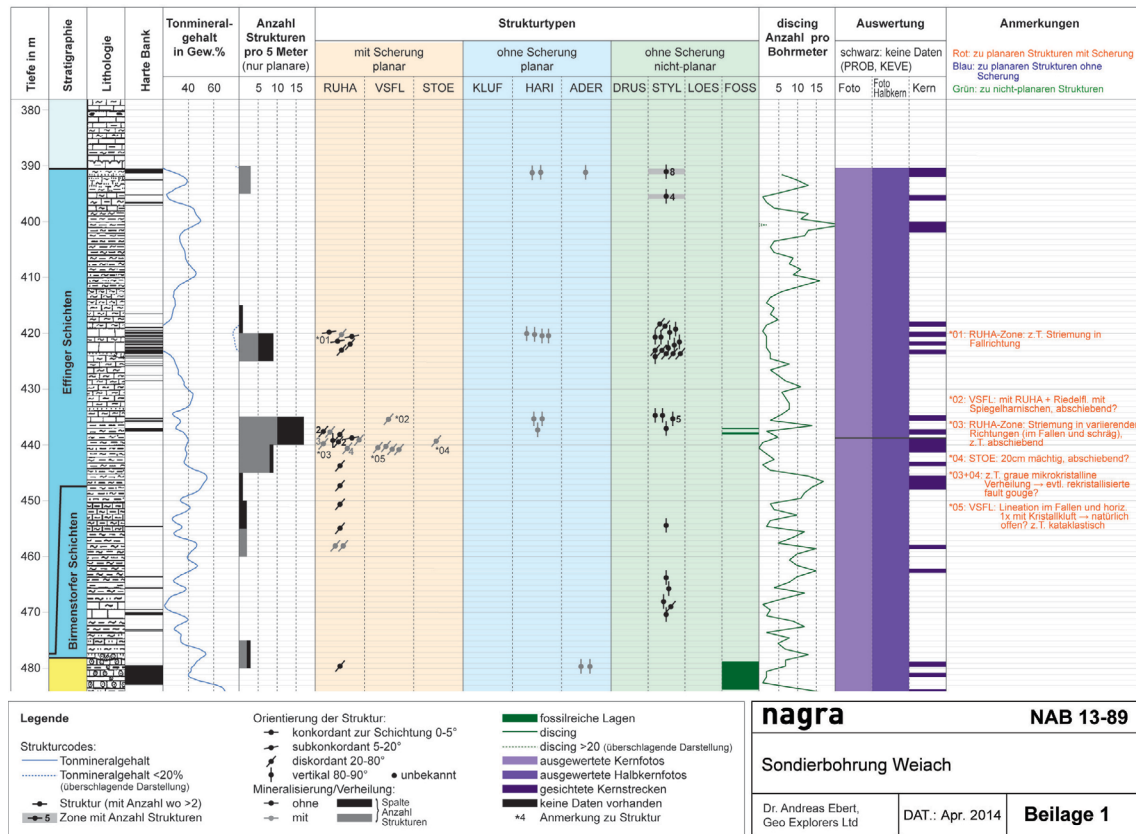


Fig. 16: Muster der vergleichenden Darstellung der Strukturaufnahmen in den Beilagen.

4 Ergebnisse

4.1 Sondierbohrung Weiach

4.1.1 Einleitung

Folgende Strecken wurden systematisch aufgenommen:

Kernfoto: 390.44 – 668.26 m

Kernhalbfoto: 390.44 – 668.26 m

Kernsichtung: folgende ausgewählte Kernstrecken wurden gesichtet (von bis in m):

390.44	392.09
395.29	396.28
400.04	401.94
417.92	418.86
419.80	420.70
421.49	422.27
423.01	423.80
434.80	435.66
437.25	438.12
438.84	441.37
443.06	443.86
445.58	448.04
457.97	458.65
462.21	463.00
478.86	479.75
480.88	481.63
483.87	484.75
485.68	486.51
509.40	510.91
516.85	521.54
527.03	537.88
543.72	546.53
549.53	550.30
564.19	572.60
573.39	573.96
608.14	609.07
612.35	614.11
638.66	641.29
644.77	645.51
645.51	651.67
652.51	654.21
661.97	663.82
663.98	664.90

Es wurden alle Strukturtypen und 'Discing'-Trennflächen aufgenommen. Lithostratigraphische Angaben stammen aus Matter et al. (1988a), unter Berücksichtigung der Revisionen gemäss Deplazes et al. (2013) und Bläsi et al. (2013).

4.1.2 Strukturaufnahme

In Beilage 1 ist die detaillierte Strukturaufnahme der Bohrung Weiach dokumentiert. Die Strukturaufnahme zeigt, dass besonders die Effinger Schichten von Strukturen durchschlagen sind. Zwei Zonen bei ca. 420 und 440 m zeigen viele planare Strukturen mit Scherindikatoren von bis zu 9 bzw. 17 Strukturen pro 5 Bohrmeter. Der 'Braune Dogger' und Opalinuston sind mit insgesamt 50 planaren Strukturen auf 185 Bohrmeter vergleichsweise arm an Strukturen. Die Strukturen konzentrieren sich innerhalb weniger, geringmächtiger Zonen. Es dominieren die Rutschharnische, welche meist als Spiegelharnische ausgebildet sind, gefolgt von Haarrissen und Stylolithen. Besonders im Opalinuston treten überwiegend nur mineralisierte Strukturen (Haarrisse und Adern) auf. Hingegen sind die Haarrisse und Adern im 'Braunen Dogger' und in den Effinger Schichten meist an Harte Bänke bzw. Bereiche mit geringem Tonmineralgehalt gekoppelt.

4.2 Sondierbohrung Schafisheim

4.2.1 Einleitung

Folgende Strecken wurden systematisch aufgenommen:

Kernfoto:	960.90 – 1082.02 m
Kernhalbfoto:	keine vorhanden
Kernsichtung:	folgende ausgewählte Kernstrecken wurden gesichtet (von bis in m):

960.90	973.55
978.23	979.86
983.79	984.77
986.74	987.70
989.59	990.50
1000.88	1001.81
1008.48	1009.38
1017.79	1018.70
1038.86	1040.77
1051.46	1056.99
1059.70	1081.15

Für den Malm sowie den oberen Dogger sind bis zu einer Tiefe von 960m keine Kernfotos vorhanden. Es wurden alle Strukturtypen und 'Discing'-Trennflächen aufgenommen. Lithostratigraphische Angaben stammen aus Matter et al. (1988b), unter Berücksichtigung der Revisionen gemäss Bläsi et al. (2013). Bezüglich der Verteilung der Harten Bänke liegen keine Daten vor.

4.2.2 Strukturaufnahme

Die Resultate der Strukturaufnahmen für die Bohrung Schafisheim sind in Beilage 2 dokumentiert. Die Strukturaufnahme zeigt, dass in der Passwang-Formation und im Opalinuston zwei mächtige gestörte Zonen (bei ca. 960 – 980 m und ca. 1055 – 1080 m) und zwei weitere schmale strukturreiche Zonen (bei ca. 994 m und 1040 m) vorliegen. Die Anzahl an planaren Strukturen ist besonders im Opalinuston mit bis zu 100 pro 5 Bohrmeter sehr hoch. In den anderen strukturreichen Zonen wurden bis zu 8 bzw. 20 planare Strukturen pro 5 Bohrmeter erkannt. Der Unterschied zwischen den beiden breiten Zonen besteht darin, dass die gestörte

Zone in der Passwang-Formation stark mineralisiert ist und alle planaren Strukturtypen beinhaltet, wohingegen die Zone an der Basis des Opalinustons fast nur aus nicht-verheilten Strukturen mit Scherung, i.W. Rutschharnischen besteht. Die Mineralisierung und das Vorhandensein von Stylolithen in der Passwang-Formation konzentrieren sich auf Lagen mit geringem Tonmineralgehalt. Die obere Hälfte des Opalinustons ist praktisch frei von Strukturen. Insgesamt dominieren die Rutschharnische, gefolgt von Haarrissen, Adern und Stylolithen.

4.3 Sondierbohrung Riniken

4.3.1 Einleitung

Folgende Strecken wurden systematisch aufgenommen:

Kernfoto: 325.40 – 455.54 m
 Kernhalbfoto: keine vorhanden
 Kernsichtung: folgende ausgewählte Kernstrecken wurden gesichtet (von bis in m):

329.49	330.06
336.20	337.11
339.05	340.90
349.04	349.93
350.86	352.40
355.62	356.58
372.27	375.11
392.14	393.04
393.95	394.85
404.90	405.79
406.70	407.46
409.13	409.97
411.69	413.49
415.90	418.67
422.04	422.90
424.68	425.10
426.64	430.10
430.29	431.22
432.20	439.20
440.04	442.69
443.51	453.70

Es wurden alle Strukturtypen und discing-Trennflächen aufgenommen. Lithostratigraphische Angaben stammen aus Matter et al. (1987), jedoch unter Berücksichtigung der Revisionen gemäss Bläsi et al. (2013). Bezüglich der Verteilung der Harten Bänke liegen keine Daten vor.

4.3.2 **Strukturaufnahme**

Die Resultate der Strukturaufnahmen für die Bohrung Riniken sind in Beilage 3 dokumentiert. Diese zeigen, dass das untere Drittel des Opalinustons von ca. 410 bis 450 m mit bis zu 50 planaren Strukturen pro 5 Bohrmeter stark gestört ist. Die Mineralisierung bzw. Verheilung ist gering bzw. tritt vermehrt erst in den letzten Metern über dem Lias auf. Die Hauptstrukturen sind Rutschharnische, oft als Spiegelharnische ausgebildet, und Klüfte, wobei die Unterscheidung zwischen beiden oftmals fließend und nicht eindeutig ist. Der restliche Opalinuston ist mit nur 15 planaren Strukturen kaum strukturgeologisch beansprucht worden. Die wenigen Strukturen verteilen sich auf zwei geringmächtige Zonen (bei ca. 340 m und 375 m). Es handelt sich i. W. um Rutschharnische, welche nicht mineralisiert sind.

4.4 **Sondierbohrung Benken**

4.4.1 **Einleitung**

Nach Sichtung einzelner Kernstrecken (siehe unten) wurde entschieden, dass die bestehende Strukturdatenbank der Nagra ausreichend ist und eine systematische Neuaufnahme der Strukturen zu keinen relevanten Neuerkenntnissen bzw. Änderungen führen würde. Strukturreiche Zonen wurden bei vorgängigen Aufnahmen erkannt. Auch die Unterscheidung von Strukturtypen in solche mit und ohne Scherindikatoren wurde vorgenommen. Aus diesem Grund wurde auf eine Neuaufnahme verzichtet und es werden im Nachfolgenden die bestehenden Daten von Liniger (1999) graphisch wie oben dargestellt.

Es sei aber angemerkt, dass bei der genauen Definition der einzelnen Strukturtypen Differenzen bestehen. Nach Sichtung einzelner strukturreicher Zonen kam der Autor des vorliegenden Berichts zu leicht unterschiedlichen Resultaten. Zudem ist auffällig, dass alle erkannten Strukturen verheilt sind. Nach dem Definitionsschema würde der Autor viele Strukturen als nicht-mineralisiert klassifizieren. Die Unterschiede zu Liniger (1999) in den gesichteten Kernstrecken sind in Beilage 4 unter der Spalte 'Bemerkungen' festgehalten.

Folgende Kernstrecken wurden gesichtet und mit den bestehenden Daten verglichen (von bis):

436.25 – 437.18
440.70 – 442.21
450.98 – 452.37
506.95 – 509.25
512.83 – 513.80
595.14 – 607.86

Es wurden alle Strukturtypen aus der Datenbank von Liniger (1999) verwendet. 'Discing'-Trennflächen wurden nicht aufgenommen. Bläsi et al. (1999) und Bläsi et al. (2013) dienten als Grundlage für die Stratigraphie und Lithologie.

4.4.2 **Strukturaufnahme**

3 strukturreiche Zonen können ausgeschieden werden (siehe Beilage 4), eine im Intervall 430 - 453 m mit i. W. Verschiebungsflächen und Adern, eine zwischen 508 und 529 m mit Verschiebungsflächen und Adern und eine Zone von 601 – 603 m mit Verschiebungsflächen und

Klüften. Laut der Datenbank sind alle planaren Strukturen verheilt. Die häufigste Verheilung besteht aus Calcit, gefolgt von Calcit und Tonmineralen. Insgesamt dominieren die Verschiebungsflächen und Adern.

4.5 Geothermiebohrung Schlattingen-1

4.5.1 Einleitung

Die Aufnahmen von Albert et al. (2012) dienten als Grundlage für die Strukturaufnahmen im vorliegenden Bericht. Einzelne Kernstrecken und Kernfotos wurden gesichtet, um mit den Definitionen des Strukturinventars vertraut zu werden. Eine Neuaufnahme der Wirtgesteinsintervalle war nicht vorgesehen. Die Aufnahmen von Albert et al. (2012) wurden übernommen und in gleicher Weise wie die anderen Bohrungen visuell dargestellt (Beilage 5). 'Discing'-Trennflächen wurden nicht aufgenommen. Angaben zur Lithostratigraphie basieren auf Albert et al. (2012) und Bläsi et al. (2013). Daten bezüglich der Verteilung der Harten Bänke liegen für den 'Braunen Dogger' vor.

4.5.2 Strukturaufnahme

Im Gegensatz zu den anderen Bohrungen ist Schlattingen-1 über die ganze Bohrstrecke hinweg sehr reich an Strukturen (Beilage 5), mit Ausnahme des oberen Opalinustons. 2 breite, sehr strukturreiche Zonen mit über 30 bzw. bis zu 10 planare Strukturen pro 5 Bohrmeter befinden sich im 'Braunen Dogger' unterhalb der Effinger Schichten (ca. 750 – 790 m) und im unteren Opalinuston bis in den Lias hinein (ab ca. 920 m). Die Mineralisation ist über alle Strecken vorhanden. Teilweise sind fast alle Strukturen verheilt bzw. mineralisiert. Im 'Braunen Dogger' dominieren Rutschharnische, Verschiebungsflächen und Adern, wohingegen in den Effinger Schichten Rutschharnische, Klüfte und Haarrisse und im Opalinuston nur Klüfte und Haarrisse dominieren. Im Opalinuston kommen im Gegensatz zu den anderen Schichtreihen planare Flächen mit Scherindikatoren kaum vor.

4.6 Gösgen KB5a

4.6.1 Einleitung

Folgende Strecken wurden systematisch aufgenommen:

Kernfoto:	64 – 156 m
Kernhalbfoto:	keine vorhanden
Kernsichtung:	folgende ausgewählte Kernstrecken wurden gesichtet (von bis in m):
	66 84
	104 106
	110 126
	134 156

Es wurden alle Strukturtypen aufgenommen. Angaben zur Lithostratigraphie stammen aus Albert et al. (2009). Der Tonmineralgehalt wurde für diese Bohrung nicht bestimmt. Allerdings wurden in Albert & Schwab (2012) Tonmineralgehalte für die Nachbarbohrung SB2 abgeleitet,

welche in ca. 200 m Entfernung von KB5a abgeteuft wurde (Albert et al. 2009). Die Tonmineralgehalte von SB2 wurden in Beilage 6 als repräsentativ für KB5a übernommen.

4.6.2 **Strukturaufnahme**

Die aufgenommene Bohrkernstrecke in den Effinger Schichten zeigt 3 mässig strukturierte Zonen mit max. 7 bis 17 planaren Trennflächen pro 5 Bohrmeter (Beilage 6). Die strukturreichste Zone an der Basis korreliert mit einer dichten Abfolge von z.T. breiten Harten Bänken. Zudem ist eine gute Korrelation der Anzahl Strukturen mit dem Tonmineralgehalt erkennbar. Der grösste Teil aller Strukturen konzentriert sich auf die Bereiche mit einem Tonmineralgehalt von < 20 Gew.-%. Es dominieren Stylolithe, gefolgt von Haarrissen, Klüften und Rutschharnischen. Es liegen nicht-verheilte wie auch mineralisierte Trennflächen vor. Grosse Strukturen wie Störzonen oder Adern wurden keine identifiziert.

Anmerkung: Die Zuordnung der Strukturtypen STYL, KLUF, RUHA war speziell in dieser Bohrung häufig nicht eindeutig möglich. Es wurden sehr oft entlang einer Struktur die charakteristischen Eigenschaften von STYL, KLUF und/oder RUHA angetroffen. Diese sind eine typische Lineation eines RUHA auf der Bruchfläche, Drucklösungserscheinungen typisch für einen STYL und/oder ebene strukturfreie Flächen einer KLUF. Die typischen Merkmale der 3 Strukturtypen variieren in ihrer Intensität entlang dieser planaren Strukturflächen. Es scheint so, als wenn es sich um reaktivierte Stylolithe oder umgekehrt um durch Drucklösung überprägte Klüfte oder Rutschharnische handelt. Zudem scheint der Tonmineralgehalt eine Rolle zu spielen, denn entlang mancher Strukturflächen dominieren in weniger tonreichen Zonen die Stylolithe, wohingegen die tonreicheren Lagen eher eine kluftartige Struktur zeigen. Z.T. biegen einige typische Stylolithflächen so in die Richtung der Drucklösung um, dass die Stylolithe subparallel zur Strukturfläche ausgerichtet sind und somit einen Charakter aufweisen, der kaum von einem Spiegelharnisch mit Striemung unterschieden werden kann. Ob in diesem Fall die Orientierung der Strukturfläche oder eine nachträgliche Überprägung durch Scherung, Brechen oder Drucklösung verantwortlich ist, kann meist nicht klar definiert werden.

4.7 EWS Oftringen

4.7.1 Einleitung

Folgende Strecken wurden systematisch aufgenommen:

Kernfoto: 418.2 – 719.01 m
 Kernhalbfoto: keine vorhanden
 Kernsichtung: folgende ausgewählte Kernstrecken wurden gesichtet (von bis in m):

420.20	421.15
429.74	430.69
434.54	438.30
441.30	447.10
451.02	453.02
462.82	463.81
466.79	468.73
472.60	473.59
479.33	480.29
484.91	485.91
490.76	497.34
499.05	504.85
507.69	508.63
510.55	517.24
518.94	519.85
524.55	526.45
533.05	537.69
538.60	545.28
548.10	549.04
550.96	551.93
554.72	563.96
566.81	570.07
576.81	577.77
584.39	591.94
604.43	644.32
674.75	679.54
682.36	689.70
696.43	697.38
701.14	702.13
703.07	715.74

Es wurden alle Strukturtypen aufgenommen. Albert & Bläsi (2008) diente als Vorlage für die Lithostratigraphie.

4.7.2 Strukturaufnahme

Die aufgenommene Bohrkernstrecke in den Effinger Schichten und im oberen Dogger (Ifenthal- und Hauptrogenstein-Fm.) ist sehr strukturreich (Beilage 7). Gegenüber den anderen aufgenommen Bohrungen wurden deutlich mehr Strukturen identifiziert. Insgesamt sind es über 1200 Stück und damit doppelt so viele wie in allen anderen aufgenommenen Bohrungen zusammen. Z.T. konnten über 100 Trennflächen pro 5 Bohrmeter bestimmt werden. Besonders die Basis der Effinger Schichten ist sehr strukturreich mit z.T. über 100 planaren Strukturen pro 5 Bohrmeter und ist von mehreren Störzonen durchzogen. Der Grossteil der Strukturen ist mineralisiert. Schersinnindikatoren auf den planaren Scherflächen zeigen eine ab- wie auch aufschiebende und seitenverschiebende Kinematik. Der Abschnitt in der Hauptrogenstein-Formation ist deutlich weniger stark von planaren Trennflächen mit Scherindikatoren durchzogen. In diesem Abschnitt dominieren die Stylolithe und Adern.

5 Bewertung und generelle Beobachtungen

5.1 Unterschiede in der Aufnahme von Kernfotos und Kernen

In Tab. 3 und visuell am Beispiel der Bohrung Weiach in Beilage 8 wird aufgezeigt, wie sich die Strukturaufnahme ausschliesslich mittels Kernfotos von der kombinierten Aufnahme am Kernfoto und ausgewählter Kerne unterscheidet. Der Hauptgrund für den Unterschied liegt darin, dass bei der Kernsichtung Bruchflächen betrachtet werden können und damit meist eine eindeutige Klassifizierung von Strukturtypen ermöglicht wird. Bei der Kernansicht, also auf Kernfotos, ist eine Sicht auf die Bruchfläche nicht möglich und somit z.B. ein Vorhandensein von Striemung oder Spiegelharnischen nicht erkennbar. Folglich ist eine Unterscheidung zwischen natürlicher und künstlicher Trennfläche und/oder zwischen Rutschharnisch und Kluft nicht immer möglich. Weitere erschwerende Probleme bei der Strukturaufnahme von Kernfotos sind: Zu geringe Auflösung, Farbtreue ungenügend, Über-/Unterbelichtung. Die Qualität der Kernfotos ist besonders bei schmalen Strukturen, wie Haarrissen und Rutschharnischen von Bedeutung.

Tab. 3: Unterschiede in der Auswertung basierend ausschliesslich auf Kernfotos gegenüber der kombinierten Auswertung von Kernfotos und Kernaufnahmen.

Nur ausgewählte, fragliche Bohrkernstrecken wurden gesichtet. Einige Strukturen der Kernfotoauswertung bestätigen sich bei der Kernsichtung nicht oder können auf dem Kernfoto nicht erkannt bzw. eindeutig definiert werden.

Bohrung Anzahl Strukturen	Kernfoto	Kernsichtung		
	Anzahl von ausschliesslich auf Foto definierten Strukturen	Anzahl Strukturen der Kernfotoauswertung, die sich auf Foto nicht bestätigt haben	Zusätzlich auf Kern erkannt (auf Foto nicht erkannt)	Struktur auf Foto erkannt, aber Typ falsch definiert
Weiach total 173 Strukturen	173 (davon 64 nicht planar)	37 (davon 1 nicht planar)	37 (davon 10 nicht planar)	12 (davon 0 nicht planar)
Riniken total 190 Strukturen	160 (davon 6 nicht planar)	23 (davon 0 nicht planar)	53 (davon 1 nicht planar)	9 (davon 0 nicht planar)
Schafisheim total 181 Strukturen (+ 200 RUHA in STOE bei 1067 – 1080m)	134 (davon 40 nicht planar)	26 (davon 1 nicht planar)	73 (davon 7 nicht planar; ohne interne Strukturen in STOE bei 1067 - 1080 m)	19 (davon 1 nicht planar)

5.2 Korrelation von 'Discing' und Tonmineralgehalt

In Beilage 9 ist die gute Korrelation von der Dichte der 'Discing'-Trennflächen mit dem Tonmineralgehalt zu erkennen. Je höher der Tonmineralgehalt, desto kleiner der 'Discing'-Abstand. Harte Bänke und Kalksteinserien – entsprechend mit sehr niedrigen Tonmineralgehalten – zeigen keine oder weite Abstände von 'Discing'-Trennflächen. Bei Tonmineralgehalten von über 60 Gew.-% liegt die Dichte der 'Discing'-Trennflächen sehr hoch bei 10 bis 20 pro Bohrmeter. Sinkt der Tonmineralgehalt unter 40 Gew.-% so sind meist nur wenige (überwiegend < 5 pro Bohrmeter) bis keine 'Discing'-Trennflächen zu beobachten.

5.3 Vergleich Strukturen im Opalinuston

In Beilage 10 sind die Unterschiede in der Strukturdichte im Opalinuston von West nach Ost in den Bohrungen Schafisheim, Riniken, Weiach und Benken dargestellt.

Grundsätzlich wird eine Zunahme der Strukturdichte von Ost nach West beobachtet, allerdings trifft dies insbesondere für den unteren Abschnitt im Opalinuston zu. Dies ist grundsätzlich konsistent mit der tektonischen Stellung der erbohrten Intervalle, wobei der Verkürzungsbetrag nach Westen zunimmt. Die hohen Strukturfrequenzen an der Basis des Opalinustons in den Bohrungen Riniken und Schafisheim wurden schon früher dokumentiert und diskutiert (Matter et al. 1987 und 1988b). Ansonsten ist die Strukturdichte im Opalinuston sehr gering bzw. die Strukturen konzentrieren sich auf wenige, geringmächtige, strukturell gestörte Zonen, wie bereits in den Strukturaufnahmen von Matter et al. (1988a) und Liniger (1999) beschrieben.

5.4 Vergleich Strukturen in den Effinger Schichten

Die Unterschiede der Strukturen und Strukturdichte in den Effinger Schichten zwischen den verschiedenen Bohrungen sind in Beilage 11 ersichtlich. Im Unterschied zum Opalinuston ist die Variation in der Mächtigkeit der Effinger Schichten von West nach Ost sehr verschieden. Ähnlich wie im Opalinuston ist die Strukturdichte in den Bohrungen im Bereich des Faltenjuras (Gösgen, Oftringen) sehr viel grösser als in den Bohrungen im Tafeljura (Weiach, Benken). Insgesamt sind die Effinger Schichten struktureicher als der Opalinuston. Dies hängt evtl. mit Kompetenzunterschieden zusammen. Die Effinger Schichten sind weniger tonig bzw. mehr kalkig ausgeprägt als der Opalinuston. In der durchweg sehr struktureichen Bohrung Oftringen wurde an der Basis eine sehr mächtige, stark gestörte Zone mit vielen Scherstrukturen erkannt.

5.5 Anmerkungen zur Strukturaufnahme

Es hat sich gezeigt, dass sich ein Grossteil der Strukturen zuverlässig am Kernfoto bestimmen lässt. In strukturarmen Zonen konnten praktisch alle relevanten Strukturen erkannt werden. Häufig stellte sich die Frage, ob eine Struktur natürlich oder künstlich induziert ist. Dies betrifft hauptsächlich die Unterscheidung von künstlich induzierten Bruchstrukturen von Rutschharnischen sowie Klüften. In Intervallen, welche stark gestört sind und somit eine grosse Anzahl an Strukturen beinhalten, war die Abweichung von erkannten zu nicht erkannten und von richtig zu falsch definierten Strukturen viel grösser als in den strukturarmen Intervallen. Die Strukturaufnahmen weichen auf Kernfotos z.T. weit von einer Strukturauswertung direkt am Kern ab. Speziell bei planaren Strukturen mit Scherindikatoren ist der Fehler gross, so dass diese auf Kernfotos nicht oder falsch erkannt werden, da nicht die Bruchfläche analysiert werden kann.

Es kann aber festgehalten werden, dass eine vorgängige Auswertung der Kernfotos ökonomisch Sinn macht. Die fraglichen Intervalle und einzelne Strukturen lassen sich gut identifizieren, welche dann in einem zweiten Schritt gezielt am Kern begutachtet werden können. Eine alleinige Auswertung aufgrund von Kernfotos kann aber nicht empfohlen werden, da zu viele Strukturtypen falsch definiert werden oder nicht erkannt werden können.

6 Referenzverzeichnis

- Albert, W., Bläsi, H.R., Madritsch, H., Vogt, T. & Weber, Hp. (2012): Geologie, Stratigraphie, Strukturgeologie, bohrlochgeophysikalisches Logging und Wasserproben der Geothermiebohrung Schlattigen SLA-1 (Rohdaten). Unpubl. Nagra Project Report. Nagra, Wettingen.
- Albert, W. & Bläsi, H.R. (2008): NOK EWS Oftringen: Geologische, mineralogische und bohrlochgeophysikalische Untersuchungen (Rohdatenbericht). Mit Beiträgen von: J. Croisé, M. Koroleva, R. Schwarz, P. Steffen und U. Zerbe. Nagra Arbeitsbericht NAB 08-02. Nagra, Wettingen.
- Albert, W., Bläsi, H.R. & Weber, Hp. (2009): Geologische und geophysikalische Untersuchungen in Bohrungen am Standort Gösgen / Niederamt (Rohdatenbericht). Unpubl. Nagra Project Report. Nagra, Wettingen.
- Albert, W. & Schwab, K. (2013): Analyse des Tonmineralgehalts anhand von Bohrlochmessungen in Bohrungen der Nordschweiz. Nagra Arbeitsbericht. NAB 12-56. Nagra, Wettingen.
- Bläsi, H.R., Kleboth, P. & Liniger, M. (1999): Sondierbohrung Benken: Bohrstellengeologie – Stratigraphie, Stukturgeologie, Laboranalysen. Teil 1, Geologie-Log 1:100. Unpubl. Nagra Interner Bericht. Nagra, Wettingen.
- Bläsi, H.R., Deplazes, G., Schnellmann, M. & Traber, D. (2013): Sedimentologie und Stratigraphie des 'Brauner Doggers' und seiner westlichen Äquivalente. Nagra Arbeitsbericht NAB 12-51. Nagra, Wettingen.
- Deplazes, G., Bläsi, H.R., Schnellmann, M. & Traber, D. (2013): Sedimentologie und Stratigraphie der Effinger Schichten. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-16. Nagra, Wettingen.
- Huber, M. & Huber, A. (1994): Strukturgeologische Terminologie bei Gelände- und Kernaufnahmen in Sedimentgesteinen. Unpubl. Nagra Interner Bericht. Nagra, Wettingen.
- Liniger, M. (1999): Sondierbohrung Benken: Bohrstellengeologie: Strukturdaten (Rohdaten-Zusammenstellung). Unpubl. Nagra Interner Bericht. Nagra, Wettingen.
- Matter, A., Peters, Tj., Bläsi, H.R., Meyer, J., Ischi, H. & Meyer, Ch. (1988a): Sondierbohrung Weiach Geologie: Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 86-01. Nagra, Wettingen.
- Matter, A., Peters, Tj., Bläsi, H.R., Schenker, F. & Weiss, H.-P. (1988b): Sondierbohrung Schafisheim Geologie: Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 86-03. Nagra, Wettingen.
- Matter, A., Peters, Tj., Isenschmid, Ch., Bläsi, H.R. & Ziegler, H.J. (1987): Sondierbohrung Riniken, Geologie: Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 86-02. Nagra, Wettingen.
- Mazurek, M. (2013a): Wasserführende Systeme im 'Braunen Dogger'. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-12. Nagra, Wettingen.
- Mazurek, M. (2013b): Wasserführende Systeme in den Effinger Schichten. Nagra Arbeitsbericht NAB 13-50. Nagra, Wettingen.

Nagra (2008): Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager: Geologische Grundlagen (Bericht zur Geologie). Nagra Tech. Bericht NTB 08-04. Nagra, Wetztingen