

# Arbeitsbericht NAB 09-28

**Vorschlag geologischer  
Standortgebiete für das SMA- und  
das HAA-Lager**

**Darstellung der hydraulischen  
Durchlässigkeit versus Tongehalt in  
Sedimentgesteinen aus Tiefbohrungen in  
der Nordschweiz und am Wellenberg im  
Hinblick auf die Beurteilung der SGT-  
Kriterien "Hydraulische Barrierenwirkung"  
und "Freisetzungspfade"**

Dezember 2009

Nagra

Nationale Genossenschaft  
für die Lagerung  
radioaktiver Abfälle

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

[www.nagra.ch](http://www.nagra.ch)



# Arbeitsbericht NAB 09-28

## Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager

Darstellung der hydraulischen  
Durchlässigkeit versus Tongehalt in  
Sedimentgesteinen aus Tiefbohrungen in  
der Nordschweiz und am Wellenberg im  
Hinblick auf die Beurteilung der SGT-  
Kriterien "Hydraulische Barrierenwirkung"  
und "Freisetzungspfade"

Dezember 2009

Nagra

### KEYWORDS

Tongehalte, Mineralanalyse, Composite-Logs, hydraulische  
Tests, Bohrungen, Nagra-Bohrungen, Fremdbohrungen,  
Nordschweiz, Wellenberg, Sedimentgesteine

Nationale Genossenschaft  
für die Lagerung  
radioaktiver Abfälle

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

[www.nagra.ch](http://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 © 2009 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.....	II
<b>1 Einleitung</b> .....	1
<b>2 Grundlagen für die Darstellung der hydraulischen Durchlässigkeit versus Tongehalt in Tiefbohrungen</b> .....	3
2.1 Erläuterungen zu den Indikatoren der SGT-Kriterien <i>Hydraulische Barrierenwirkung</i> und <i>Fliesspfade</i> (vgl. Nagra 2008a, c) .....	3
2.2 Mindestanforderungen an die Indikatoren 'Hydraulische Durchlässigkeit', 'Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade' und 'Tongehalt' .....	4
2.3 Zusammenhang zwischen der hydraulischen Durchlässigkeit der Wirtgesteine und der Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade .....	5
2.4 Basisdaten.....	5
<b>3 Ergebnisse</b> .....	9
<b>4 Referenzen</b> .....	11
<b>Anhang A Datengrundlage</b> .....	A-1
<b>Anhang B Begründung der im Diagramm nicht berücksichtigten Tests</b> .....	B-1

## Tabellenverzeichnis

Tab. A-1:	Basisdaten zur Erstellung der Darstellungen der hydraulischen Durchlässigkeit vs. Tongehalt in Bohrungen der Nordschweiz und am Wellenberg (berücksichtigte und nicht berücksichtigte Tests).....	2
-----------	---	---

## Figurenverzeichnis

Fig. 1:	Ergebnisse von hydraulischen Test in den Effinger Schichten in Abhängigkeit der Tiefe (wahrscheinlichste Werte und Bandbreiten).....	6
Fig. 2:	Ergebnisse von hydraulischen Tests in den kretazischen und tertiären Mergel-Formationen der Sondierbohrungen Wellenberg in Abhängigkeit der Tiefe sowie hydrochemische Zonierung.....	7
Fig. 3:	Hydraulische Durchlässigkeit versus Tongehalt in Bohrungen der Nordschweiz und am Wellenberg.....	9
Fig. B-1:	Bohrkerne aus einem Abschnitt des Testintervalls im Buntsandstein (981.4 – 990 m Bohrtiefe) der Tiefbohrung Weiach (KV = Kernverlust).....	3
Fig. B-2:	Bohrkerne aus einem Abschnitt zweier Testintervalle in der 'Zyklischen Kristallinbreccien Serie' im Rotliegenden (1373.8 – 1384 m und 1384 – 1394.2 m Bohrtiefe) der Tiefbohrung Riniken.....	4
Fig. B-3:	Bohrkerne aus einem Abschnitt des Testintervalls in der 'Kohle-Serie' im Oberkarbon (1593 – 1613.2 m Bohrtiefe) der Tiefbohrung Weiach.....	5
Fig. B-4:	Bohrkerne aus einem Abschnitt des Testintervalls in der 'Unteren kleinzyklischen Sandstein-Serie' im Oberkarbon (1960 – 1970.2 m Bohrtiefe) der Tiefbohrung Weiach.....	6

## 1 Einleitung

Die Entsorgungspflichtigen haben gemäss Sachplan geologische Tiefenlager (SGT) in der ersten Etappe Vorschläge für geologische Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager eingereicht. Das schrittweise Vorgehen bei der Einengung der geologischen Möglichkeiten und der Festlegung von geologischen Standortgebieten ist in Nagra (2008a, b, c) dokumentiert.

In diesem Einengungsverfahren ist der Tongehalt ein wichtiger Indikator zur Abschätzung der grossräumigen hydraulischen Durchlässigkeit von Gesteinsabfolgen resp. der Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade in diesen Gesteinsabfolgen, von denen keine hydraulischen Tests vorliegen. Als Tongehalt ist der Gehalt an Tonmineralen definiert resp. (aus methodisch-messtechnischen Gründen) die Summe der Schichtsilikate + Akzessorien in Gew.%.

Die Abhängigkeit der hydraulischen Durchlässigkeit (resp. der Transmissivität) vom Tongehalt wird in Nagra (2008b, Kap. 4.1.1) diskutiert. In diesem Zusammenhang wird erwähnt, dass Erfahrungen der Nagra in Tiefbohrungen der Nordschweiz und am Wellenberg gezeigt haben, dass in hydraulischen Tests in Gesteinsabfolgen mit durchschnittlichen Tongehalten von weniger als 20 bis 25 % regelmässig erhöhte Durchlässigkeiten ( $K > 10^{-9}$  m/s) gemessen wurden. Diese Aussage beruht auf einer Durchsicht der entsprechenden Berichte zu den Sondierbohrungen.

Weil das Thema bei der Beurteilung der Unterlagen der Nagra für Etappe 1 des SGT eine grosse Beachtung fand, wird im vorliegenden Bericht die systematische Auswertung von allen hydraulischen Tests in den erwähnten Bohrungen dokumentiert. Dazu werden die Methode und die methodisch bedingten Einschränkungen beschrieben.



## 2 Grundlagen für die Darstellung der hydraulischen Durchlässigkeit versus Tongehalt in Tiefbohrungen

### 2.1 Erläuterungen zu den Indikatoren der SGT-Kriterien *Hydraulische Barrierenwirkung* und *Fliesspfade* (vgl. Nagra 2008a, c)

Die für die Bewertung des SGT-Kriteriums *Hydraulische Barrierenwirkung* massgeblichen Indikatoren sind:

- 'Hydraulische Durchlässigkeit' – Die hydraulische Durchlässigkeit ist als grossräumiger Parameter definiert und bestimmt (zusammen mit dem hydraulischen Gradienten) den Wasserfluss im Nahfeld und in der Geosphäre und hat dadurch einen massgeblichen Einfluss auf die zeitliche Entwicklung der technischen Barrieren, auf die Radionuklidrückhaltung in den verschiedenen Barrieren und auf die Radionuklidfreisetzung aus dem geologischen Tiefenlager. Die grossräumige hydraulische Durchlässigkeit bezieht sich auf den in der Matrixporosität und in kleinräumigen Diskontinuitäten (Klüfte, kleine Störungen) stattfindenden Wasserfluss (Abstände der Diskontinuitäten im Dezimeter- bis Dekameterbereich) und berücksichtigt allfällige sedimentäre Heterogenitäten.
- 'Tongehalt' – Der Tongehalt hat für Sedimentgesteine einen massgeblichen Einfluss auf die hydraulische Durchlässigkeit und auf die Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade – und damit auf den Wasserfluss im Wirtgestein. Der durchschnittliche Tongehalt wird als Ersatz zur Beurteilung des Wasserflusses im Wirtgestein herangezogen, falls keine Erfahrungswerte für die hydraulische Durchlässigkeit und für die Transmissivität vorliegen. Der durchschnittliche Tongehalt kann nur dann sinnvoll angewendet werden, wenn die Schwankungen im Massstab lateral kontinuierlicher Schichten oder Schichtfolgen relativ gering sind (kleinräumige Variationen im cm-Bereich haben erfahrungsgemäss keine hydraulische Bedeutung). Falls extreme Unterschiede existieren, ist der Tongehalt der tonärmeren Bereiche massgebend für die hydraulische Durchlässigkeit, resp. für die Transmissivität des präferenziellen Fliesspfads.
- 'Tiefenlage unter Terrain im Hinblick auf Gesteins-Dekompaktion' – Dieser Indikator dient der Beurteilung der Auswirkungen von Gesteins-Dekompaktionseffekten auf die Langzeitsicherheit (Dekompaktionseffekte als Folge von Erosion können eine Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit im Wirtgestein bewirken und damit die Wasserflussraten und Radionuklid-Freisetzungsraten aus den technischen und geologischen Barrieren erhöhen).

Für die Bewertung des Kriteriums *Freisetzungspfade* werden folgende Indikatoren verwendet, welche ebenfalls mit dem Tongehalt in Zusammenhang stehen:

- 'Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade' – Die Transmissivität bestimmt –zusammen mit dem hydraulischen Gradienten – den Wasserfluss entlang präferenzierter Freisetzungspfade. Die Transmissivität hat dadurch einen massgeblichen Einfluss auf die Radionuklidfreisetzung aus dem geologischen Tiefenlager.
- 'Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums' – Die Art der Transportpfade und Ausbildung des Porenraums beeinflusst das Transportverhalten von Radionukliden im Wirtgestein bzw. im einschlusswirksamen Gebirgsbereich. Von besonderer Bedeutung für die Langzeitsicherheit sind Kluftnetzwerke (mit oder ohne 'Channels'), die präferenzielle Freisetzungspfade für Radionuklide bilden können.

- 'Homogenität des Gesteinsaufbaus' – Der Indikator 'Homogenität des Gesteinsaufbaus' bezieht sich auf allfällig vorhandene Elemente im Wirtgestein bzw. einschlusswirksamen Gebirgsbereich, die eine Mächtigkeit von einigen Metern und eine laterale Ausdehnung von Hunderten von Metern mit signifikant reduzierter Barrierenwirkung aufweisen. Solche Elemente schränken die Möglichkeiten zur vertikalen Platzierung der Lagerebene ein und wirken sich ungünstig auf die Länge der barrierenwirksamen Freisetzungspfade aus.
- 'Selbstabdichtungsvermögen' – Das Selbstabdichtungsvermögen ist wichtig in Zusammenhang mit der Beständigkeit der Standort- und Gesteinseigenschaften, weil es die Auswirkungen allenfalls entstehender Klüfte (auf die hydraulische Durchlässigkeit) und Störungszonen (auf die Transmissivität) im Hinblick auf die Wasserführung im Wirtgestein begrenzt.

Ein weiterer aufgeführter Indikator 'Länge der Fliesspfade' hängt nicht mit dem Tongehalt des Wirtgesteins zusammen.

## **2.2 Mindestanforderungen an die Indikatoren 'Hydraulische Durchlässigkeit', 'Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade' und 'Tongehalt'**

Die Mindestanforderung bezüglich der grossräumigen vertikalen hydraulischen Durchlässigkeit liegt für das SMA-Lager je nach Abfallzuteilung bei  $K_v \leq 10^{-10}$  m/s (Referenz-Abfallzuteilung (RZ)) oder bei  $K_v \leq 10^{-9}$  m/s (Alternative Abfallzuteilung (AZ)) (vgl. Tabelle 2.5-2 in Nagra 2008a), diejenige für das HAA-Lager bei  $K_v \leq 10^{-10}$  m/s. Für die verschärften Anforderungen gelten die gleichen Werte, aber auch in horizontaler Richtung.

Die Mindestanforderungen bezüglich der Transmissivität der präferenziellen Freisetzungspfade liegen für das SMA-Lager bei  $T \leq 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s (beide Abfallzuteilungen), für das HAA-Lager bei  $T \leq 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s. Für die Transmissivität der präferenziellen Freisetzungspfade gibt es keine verschärften Anforderungen.

Ist die grossräumige hydraulische Durchlässigkeit resp. die Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade nicht bekannt, so wird bei Sedimentgesteinen (ausser Evaporiten) stellvertretend der Tongehalt als Indikator herangezogen (Mindestanforderung für SMA und HAA:  $\geq 25$  %). Der Grenzwert von 25 % für die Auswahl potenziell möglicher Wirtgesteine wird in Nagra (2008b) erläutert. Die Erfahrung zeigt, dass bei einem über die Sedimentgesteinsabfolge gemittelten Tongehalt von  $> 25$  % in der Regel ein genügendes Quell- bzw. Kriechvermögen besteht, um bei einer genügenden Überlagerung die erforderliche Selbstabdichtung zu gewährleisten, sodass zumindest die Mindestanforderungen für die alternative Abfallzuteilung beim SMA-Lager erfüllt werden können (vgl. Nagra 2008b).

Die Tiefenlage unter Terrain gibt Aufschluss über die Gesteins-Dekompaktion, welche eine Erhöhung der hydraulischen Durchlässigkeit bewirken könnte (vgl. Tabelle 5.3-4 in Nagra 2008c, NTB 08-05).

### 2.3 Zusammenhang zwischen der hydraulischen Durchlässigkeit der Wirtgesteine und der Transmissivität präferenzierter Freisetzungspfade

Die hydraulischen Tests in den Tiefbohrungen liefern eine Gesamttransmissivität des Testintervalls, welche üblicherweise als durchschnittliche hydraulische Durchlässigkeit des Testintervalls ausgedrückt wird ( $K = T / \text{Länge des Testintervalls}$ ; Länge meist einige Meter bis einige Dekameter). Die Transmissivität der einzelnen Freisetzungspfade in einem Testintervall wurde nur in Einzelfällen durch zusätzliche, speziell auf potenziell transmissive Diskontinuitäten fokussierte Tests mit kleinen Testintervallen eruiert. Aus diesem Grund ist es streng genommen nur möglich, den Zusammenhang zwischen der hydraulischen Durchlässigkeit und dem durchschnittlichen Tongehalt der getesteten Intervalle darzustellen.

Indirekt und annäherungsweise ist dadurch aber auch die Transmissivität einzelner Freisetzungspfade berücksichtigt, weil zwischen dem K-Wert eines Testintervalls und der Transmissivität der darin auftretenden Freisetzungspfade ein Zusammenhang besteht. Die Mindestanforderungen für K und T lauten:

- für SMA:  $K \leq 10^{-9}$  m/s (AZ) bzw.  $10^{-10}$  m/s (RZ) und  $T \leq 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s
- für HAA:  $K \leq 10^{-10}$  m/s und  $T \leq 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s

Das heisst, dass man bei SMA für geklüftete Wirtgesteine von einem dominanten Zufluss mit  $T \approx 10^{-8}$  m<sup>2</sup>/s ca. alle 10 m (für AZ) bzw. alle 100 m (für RZ) ausgeht; für geklüftete HAA-Wirtgesteine entspricht der Mindest-K-Wert Zuflüssen mit  $T \approx 10^{-9}$  m<sup>2</sup>/s, welche ca. alle 10 m vorkommen.

Die nachfolgend präsentierte Datenzusammenstellung für K-Werte versus Tongehalt ist somit annäherungsweise auch für T-Werte von präferenziellen Freisetzungspfaden repräsentativ, wenn man von vernünftigerweise anzunehmenden Abständen und T-Werten ausgeht.

### 2.4 Basisdaten

Ausgewählt wurden die Daten von hydraulischen Tests (K-Werte, durchschnittliche Tongehalte) in den Sedimentabfolgen der Nagra-Bohrungen der Nordschweiz und am Wellenberg bzw. einzelner Fremdbohrungen der Nordschweiz. Es wurden nur Tests aus Tiefen unterhalb der potenziellen Dekompaktionszone berücksichtigt (Tab. A-1). Für die Bohrungen in der Nordschweiz wird davon ausgegangen, dass ab einer Tiefe bzw. einer Gesteinsüberlagerung von  $> 200$  m (s. z. B. Effinger Schichten in Fig. 1) und in den Alpen von  $> 600$  m (s. Mergel-Formationen im Gebiet Wellenberg, Fig. 2) dekompressionsbedingte Durchlässigkeitserhöhungen ausgeschlossen werden können. Dementsprechend erfolgte die Auswahl der Testintervalle der betrachteten Bohrungen. Dabei blieben grosse Testintervalle mit lithologisch sehr unterschiedlichen Gesteinseinheiten unberücksichtigt (sogenannte Übersichtstests), sofern keine Zuflüsse lokalisiert und einer bestimmten Lithologie zugeordnet werden konnten<sup>1</sup>; Daten für typische Wechsellagerungen, wie z. B. bei den Effinger Schichten gingen jedoch in die Auswertung ein.

---

<sup>1</sup> In Fällen, in denen ein Zufluss eindeutig einer bestimmten Lithologie zugewiesen werden konnte und man davon ausgehen musste, dass das Testergebnis fast vollständig von diesem Zufluss bestimmt ist, wurde der Tongehalt der entsprechenden durchlässigen Abfolge berücksichtigt.

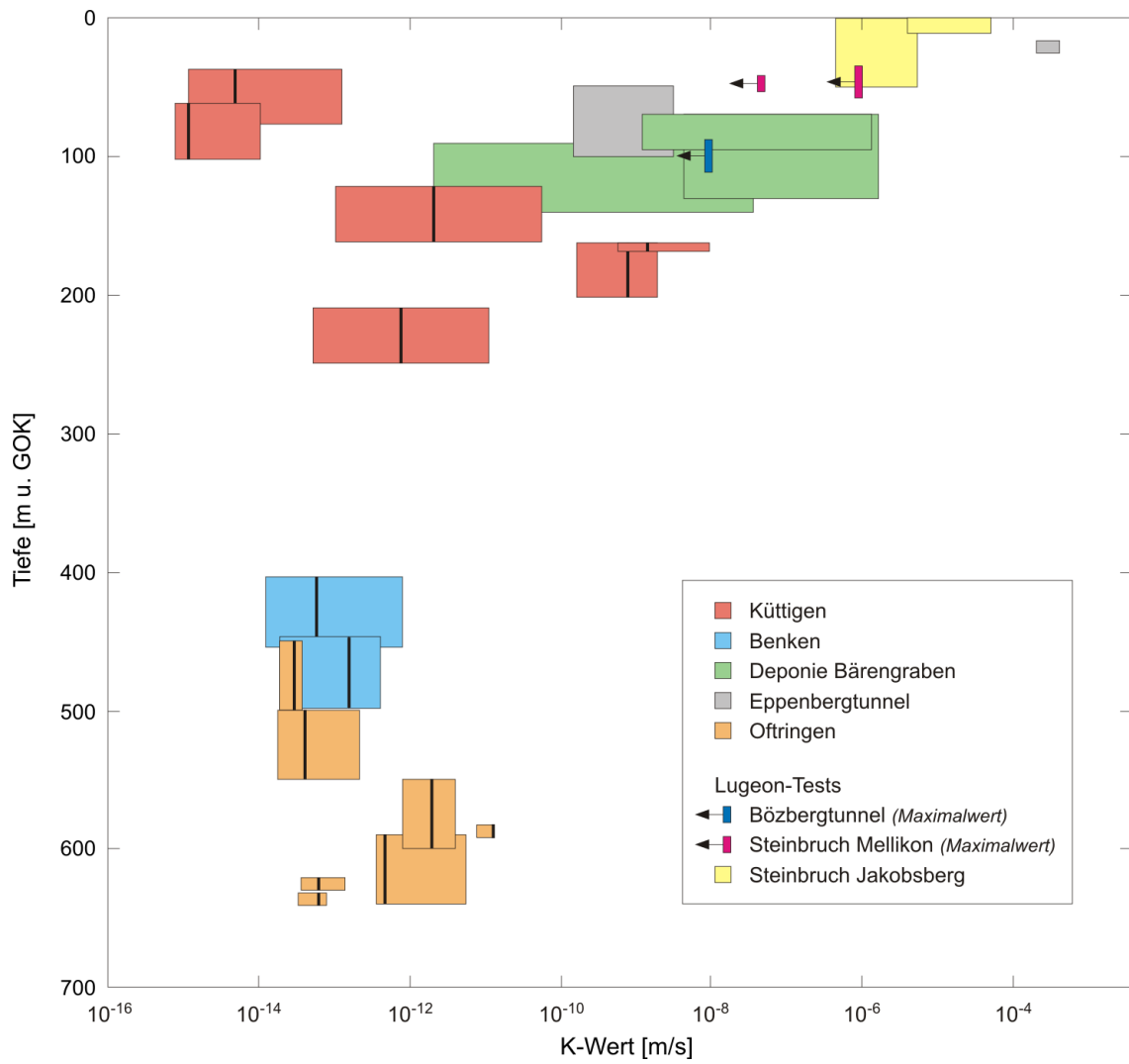


Fig. 1: Ergebnisse von hydraulischen Test in den Effinger Schichten in Abhängigkeit der Tiefe (wahrscheinlichste Werte und Bandbreiten).

Kompilation der Datensätze aus Laws & Deplazes 2007, Enachescu et al. 2008 und Solexperts 2008 (vgl. Nagra 2008c).

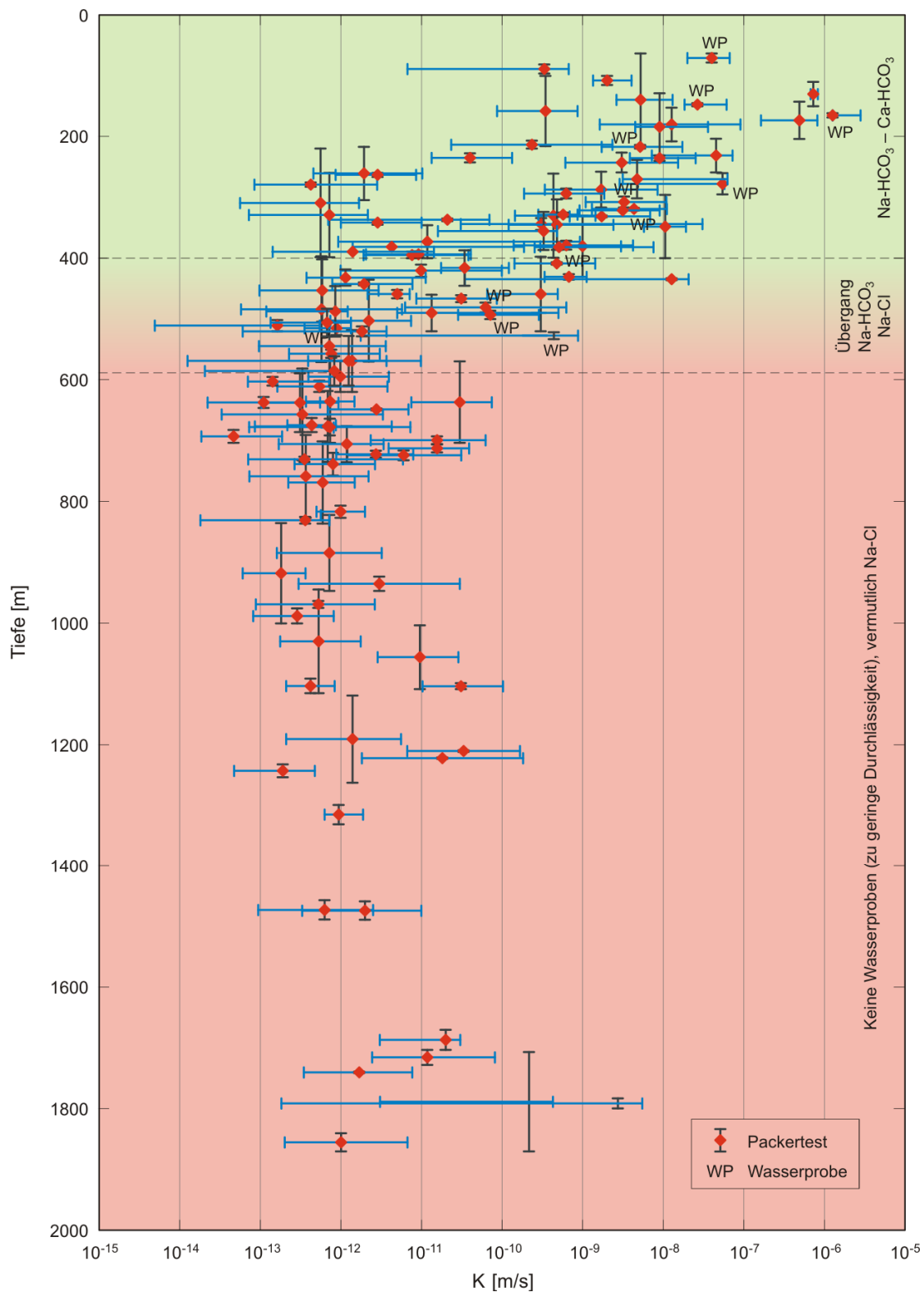


Fig. 2: Ergebnisse von hydraulischen Tests in den kretazischen und tertiären Mergel-Formationen der Sondierbohrungen Wellenberg in Abhängigkeit der Tiefe sowie hydrochemische Zonierung.

Datensatz aus Lavanchy & Marschall (1997), vgl. Nagra (2008c). Bei Tests ohne rotem Symbol sind keine Mittelwerte angegeben (grosse Ungewissheiten).

Der für die wasserführenden Testintervallabschnitte massgebliche Tongehalt wurde je nach Datenlage aus mineralogischen Analysen oder bohrlochgeophysikalischen Logs (Composite-logs) oder aus einer Kombination beider Methoden abgeleitet. Die Werte aus Logs sind jeweils auf 5 % gerundet. Bei relativ homogenen Gesteinseinheiten wurde zur Abschätzung des Tongehalts der ungefähre Mittelwert der mineralogischen Analysen oder der mittlere Wert aus bohrlochgeophysikalischen Logs (grober, begradigter Verlauf der Logs) herangezogen.

In seltenen Fällen wurde, sofern weder Mineralanalysen noch bohrlochgeophysikalische Logs im relevanten Abschnitt vorhanden waren, auf Tonmineralegehalte aus ähnlichen Gesteinsproben ober- oder unterhalb des Testintervalls zurückgegriffen (z. B. im Rotliegenden von Riniken, vgl. Tab. A-1).

Tab. A-1 in Anhang A enthält eine Zusammenstellung der relevanten Daten geordnet nach Bohrungen einschliesslich deren stratigraphische Zuordnung und etwaige Bemerkungen zur Abschätzung des Tongehalts und Bestimmung der hydraulischen Durchlässigkeit der betrachteten Testintervalle. Insgesamt liegen 142 Datenpaare für die hydraulische Durchlässigkeit und den Tongehalt aus den Nagra-Bohrungen Benken, Schafisheim, Weiach, Riniken, Leuggern und Böttstein und den Fremdbohrungen Oftringen, Bassersdorf und Küttigen der Nordschweiz sowie den Bohrungen der Nagra am Wellenberg (SB1, SB2, SB3, SB4, SB4a/v, SB4a/s und SB6) vor. 15 Datenpaare wurden aufgrund von sehr grossen Ungewissheiten bei der Abschätzung des Tongehalts bei der Auswertung nicht berücksichtigt. Diese sind am Schluss von Tab. A-1 aufgeführt. Die Gründe für den Ausschluss dieser Daten sind in Anhang B dargelegt..

Die verbleibenden 127 Datenpaare sind in einem K-Wert / Tongehalt-Diagramm dargestellt (Fig. 3).

### 3 Ergebnisse

Im Hinblick auf die Beurteilung der SGT-Kriterien *Hydraulische Barrierenwirkung* und *Freisetzungspfade* wurden Daten aus Tiefbohrungen zur Darstellung der hydraulischen Durchlässigkeit versus Tongehalt (Indikatoren 'Hydraulische Durchlässigkeit' und 'Tongehalt') zusammengestellt. Es wurden Daten von hydraulischen Tests und Tongehalten von Sedimentgesteinen in Nagra- und Fremdbohrungen der Nordschweiz (> 200 m Bohrtiefe) sowie Nagra-Bohrungen am Wellenberg ausgewertet (> 600 m Bohrtiefe).

Wie erwartet, nimmt die hydraulische Durchlässigkeit von Sedimentgesteinen mit zunehmendem Tongehalt ab (vgl. Fig. 3). Bei einem Tongehalt von > 25 % nimmt die hydraulische Durchlässigkeit auf Werte <  $10^{-9}$  m/s ab (Mindestanforderungen für SMA, alternative Abfallzuteilung), bei einem Tongehalt von > 40 % liegen die Werte unterhalb von  $10^{-11}$  m/s.

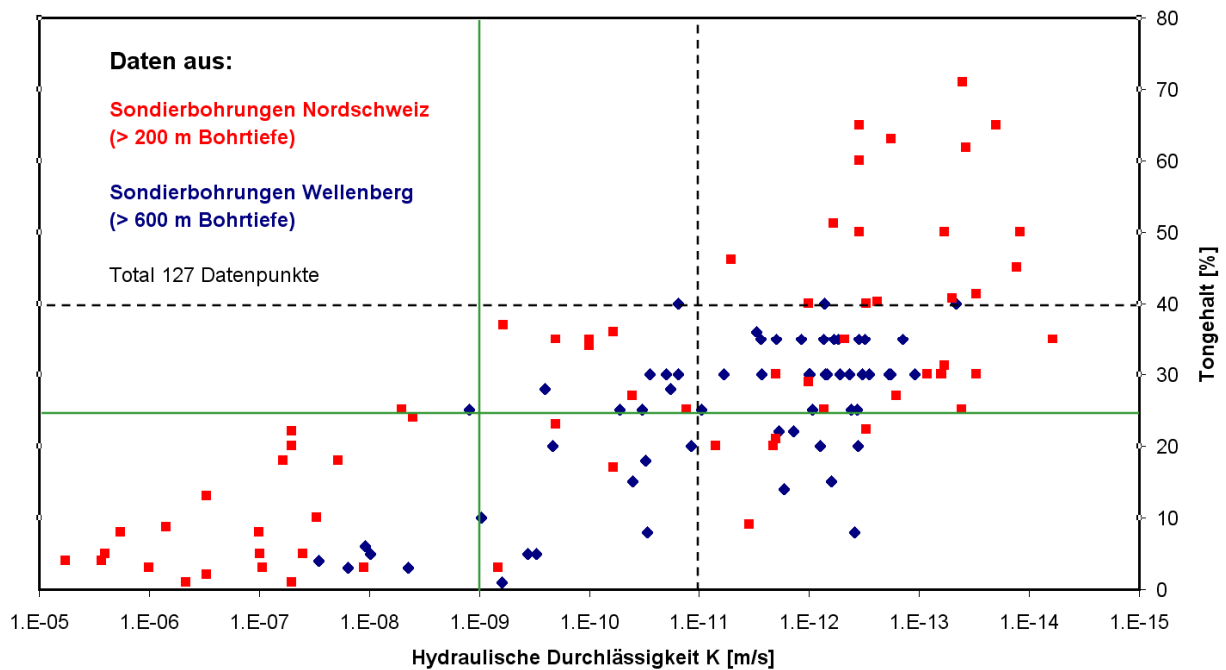


Fig. 3: Hydraulische Durchlässigkeit versus Tongehalt in Bohrungen der Nordschweiz und am Wellenberg.

Hilfslinien: K-Werte bei 25 % bzw. 40 % Tongehalt.



## 4 Referenzen

- Albert, W. (2008): Analyse des Tongehaltes in den Effinger Schichten anhand von Bohrlochmessungen. Nagra Arbeitsbericht NAB 08-09. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Albert, W., Bläsi, H.R., Koroleva, M. & Weber, H.P. (2007): EP-05 EWS Küttigen: Geologische, mineralogische und bohrlochgeophysikalische Untersuchungen (Rohdatenbericht). Nagra Arbeitsbericht NAB 07-15. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Belanger, D.W., Freeze, G.A., Lolcama, J.L. & Pickens, J.F. (1989): Interpretation of hydraulic testing in crystalline rock at the Leuggern borehole. Nagra Technischer Bericht NTB 87-19. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Blaser, P., Gubler, T., K pfer, T., Marschall, P., Matter, A., Matyas, J., Meier, B.P., M ller, W.H., Schlanke, S., Schlunegger, F., Sieber, N. & Wyss, E. (1994): Geothermiebohrung Bassersdorf – Charakterisierung der Oberen Meeressmolasse und Unteren Süsswassermolasse. Nagra Technischer Bericht NTB 94-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Fisch, H.R., Rösli, U., Reinhardt, S., Yeatman, B. & Senger, R. (2008): Oftringen Borehole – Hydraulic Packer Testing. Nagra Arbeitsbericht NAB 08-15. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Lavanchy, J.M. & Marschall, P. (1997): WLB: Hydrogeological interpretation of the Wellenberg borehole data (SB1, SB2, SB3, SB4, SB6, SB4a/v and SB4a/s). Unpubl. Nagra Interner Bericht. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Matter, A., Peters, Tj., Bläsi, H.-R., Meyer, J., Ischi, H. & Meyer, Ch. (1988): Sondierbohrung Weiach – Geologie. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 86-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Matter, A., Peters, Tj., Isenschmid, Ch., Bläsi, H.-R. & Ziegler, H.J. (1987): Sondierbohrung Riniken – Geologie. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 86-02. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Matter, A., Peters, Tj., Bläsi, H.-R., Schenker, F. & Weiss, H.-P. (1988): Sondierbohrung Schafisheim – Geologie. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 86-03. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1985): Sondierbohrung Böttstein – Untersuchungsbericht. Text- und Beilagenband (A und B). Nagra Technischer Bericht NTB 85-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1989): Sondierbohrung Weiach – Untersuchungsbericht. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 88-08. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1990): Sondierbohrung Riniken – Untersuchungsbericht. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 88-09. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1991): Sondierbohrung Leuggern – Untersuchungsbericht. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 88-12. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1991): Sondierbohrung Kaisten – Untersuchungsbericht. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 88-10. Nagra, Wettingen, Schweiz.

- Nagra (1992): Sondierbohrung Schafisheim – Untersuchungsbericht. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 88-11. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1992): Sondierbohrung Siblingen – Untersuchungsbericht. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 90-34. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (1997): Geosynthese Wellenberg 1996 – Ergebnisse der Untersuchungsphasen I und II. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 96-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2001): Sondierbohrung Benken – Untersuchungsbericht. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 00-01. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2008a): Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager. Darlegung der Anforderungen, des Vorgehens und der Ergebnisse. Nagra Technischer Bericht NTB 08-03. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2008b): Vorschlag geologischer Standortgebiete für ein SMA- und ein HAA-Lager. Geologische Grundlagen. Nagra Technischer Bericht NTB 08-04. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Nagra (2008c): Vorschlag geologischer Standortgebiete für das SMA- und das HAA-Lager: Begründung der Abfallzuteilung, der Barrierensysteme und der Anforderungen an die Geologie (Bericht zur Sicherheit und technischen Machbarkeit). Nagra Technischer Bericht NTB 08-05. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Peters, Tj., Matter, A., Meyer, J., Isenschmid, Ch. & Ziegler, H.J. (1989): Sondierbohrung Kaisten – Geologie. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 86-04. Nagra, Wettingen, Schweiz.
- Peters, Tj., Matter, A., Bläsi, H.-R., Isenschmid, Ch., Kleboth, P., Meyer, Ch. & Meyer, J. (1989): Sondierbohrung Leuggern – Geologie. Text- und Beilagenband. Nagra Technischer Bericht NTB 86-05. Nagra, Wettingen, Schweiz.

## **Anhang A Datengrundlage**

Tab. A-1: Basisdaten zur Erstellung der Darstellungen der hydraulischen Durchlässigkeit vs. Tongehalt in Bohrungen der Nordschweiz und am Wellenberg (berücksichtigte und nicht berücksichtigte Tests)

Bohrung	Testtyp	Stratigrafie	Tongehalt [Gew. %]	Bemerkungen Best. Tongehalt	Intervall	Mittl. Tiefe [m]	Top	Basis	Fehler-+ [m/s]	K average	K Unt. Wert	Ob. Wert	Fehler -	Fehler+ Bemerkungen Bestimmung K-Wert
<b>Im Diagramm berücksichtigte Tests</b>														
S81	WLB EPSS	Palfris-F.	40		VM-17	692.95	682.2	703.7	10.75	4.69E-14	1.89E-14	1.89E-13	2.79E-14	1.40E-13
S81	WLB EP	Palfris-F.	35		VM-18	635.8	597.9	703.7	67.9	7.36E-13	3.68E-13	1.47E-12	3.68E-13	7.36E-13
S81	WLB EPSS	Vitznau-Mergel	20		VM-19	830.75	825.2	836.3	5.55	3.60E-13	1.80E-14	7.21E-13	3.42E-13	3.60E-13
S81	WLB EP	Palfris-F., Schimberg-Schiefer/Mélange, Vitznau-Mergel	35	Übersichtstest	VM-20	768.85	701.4	836.3	67.45	5.93E-13	2.22E-13	1.48E-12	3.71E-13	8.00E-13
S81	WLB EPSS	Palfris-F.	30	Übersichtstest	VM-21	988.25	976	1000.5	12.25	2.86E-13	8.16E-14	8.16E-13	2.04E-13	5.31E-13
S81	WLB EP	Palfris-F. (wenig Mélange)	30	Übersichtstest	VM-22	916	835.5	1000.5	82.5	1.82E-13	6.08E-14	3.04E-13	1.21E-13	1.82E-13
S81	WLB DP	Palfris-F.	30		VM-24	722.3	716.6	728	5.7	2.72E-12	8.77E-13	7.89E-12	1.84E-12	5.18E-12
S81	WLB DP	Palfris-F.	30		VM-25	969.2	963.5	974.9	5.7	5.26E-13	8.77E-14	2.63E-12	4.36E-13	2.11E-12
S81	WLB EPSS	Palfris-F./Mélange	18		VM-26	1103.75	1093.9	1108.6	4.85	3.09E-11	1.03E-11	1.03E-11	2.06E-11	7.22E-11
S81	WLB EPSS	Palfris-F./Mélange (wenig)	25	Übersichtstest	VM-27	1056.15	1003.7	1108.6	52.45	9.53E-12	2.88E-12	2.88E-11	6.67E-12	1.91E-11
S81	WLB EP	Mk/Palfris-F., Tenitär (Schimb., Hög., Klms., Kieseck.)	4	Übersichtstest	VTK-1	1159.4	1107.3	1211.5	52.1	2.88E-08	9.00E-09	5.78E-08	1.92E-08	2.88E-08
S81	WLB EP	Tenitär (Schimberg, Högant-, Klmsenn-,), Kieseck.	3	2 Zuluflüsse in geklüfteten Kalkfom.	TK-1	1179.25	1147	1211.5	32.25	1.59E-08	9.30E-09	6.20E-08	6.20E-09	4.65E-08
S81	WLB DP	Kieseck./Befnis-Kalk, Ohri-F.	6	3 Zuluflüsse in geklüfteten Kalkfom.	OK-1	1251.85	1224.3	1279.4	27.55	1.09E-08	5.44E-09	1.81E-08	5.46E-09	7.20E-09
S81	WLB DP	Ohri-F., Grasspass-Sch.	5		OK-2	1308.65	1281.3	1336.4	27.55	3.63E-10	1.45E-10	5.44E-10	2.18E-10	1.81E-10
S81	WLB DP	Trockkalt (Malm), (Grasspass-Schichten)	3	Kalk	TO-1	1362.6	1340	1385.2	22.6	4.42E-09	1.33E-09	1.33E-08	3.09E-09	8.88E-09
S81	WLB EP	Nordhelvet. Flysch/Mélange	25	Sandsteinbank, kein Q&Kalkgehalt	MF-1	1592.5	1562	1633	40.5	1.23E-09	3.70E-10	3.70E-09	8.00E-10	2.47E-09
S81	WLB DP	Mélange	35		M-1	1474.3	1459.2	1489.4	15.1	1.99E-12	3.31E-13	9.93E-12	1.66E-12	7.95E-12
S81	WLB DP	Nordhelvet. Flysch/Mélange	30		M-2	1539.3	1523.6	1590	10.7	2.80E-11	9.35E-12	4.07E-11	1.87E-11	1.87E-11
S81	WLB EP	Nordhelvet. Flysch/Mélange	28		M-3	1610.8	1591.3	1670.3	59.5	2.52E-10	8.40E-11	8.40E-10	1.68E-10	5.88E-10
S82	WLB EPSS	Palfris-F.	30		VM1	724.05	716	732.1	8.05	6.02E-12	1.24E-12	3.11E-11	4.78E-12	2.50E-11
S82	WLB EP	Palfris-F./Diphyloides-K.	30	Übersichtstest v.a. Palfris-F. steilestehende Schichtung, Ton- & Mergelag.	VM2	656.8	581.5	732.1	75.3	3.32E-13	3.32E-14	3.32E-12	2.99E-13	2.99E-12
S82	WLB EPSS	Sichelkalk	8		KK3	1133.5	1115.5	1151.5	18	3.89E-13	1.11E-13	1.39E-12	2.78E-13	1.00E-12
S82	WLB EP	Palfris-F./Diphyloides-K./Gemsam.-Sch./Graue Mergelsch./Sichelkalk	10	Übersichtstest, Zuluflüsse ab 960 m	VKK1	941.8	732.1	1151.5	209.7	9.54E-10	9.54E-11	9.54E-09	8.89E-10	8.99E-09
S82	WLB DP	Graue Mergelsch.	15	1 Zulufluss, gering	GMS1	870.5	858.5	882.5	12	4.00E-11	4.17E-12	4.17E-10	3.89E-11	3.77E-10
S82	WLB EPSS	Gemsam.-Sch./Sichelkalk	5	1 Zulufluss, ausgeprägt	GMS2	1414.15	1408	1420.3	6.15	9.78E-09	1.63E-09	4.88E-08	8.13E-09	3.90E-08
S82	WLB EPSS	Palfris-F.	30		VM3	1697	1670.5	1703.5	16.5	2.00E-11	3.03E-12	3.03E-11	1.70E-11	1.03E-11
S82	WLB EPSS	Palfris-F.	30		VM4	1855.45	1840.5	1870.4	14.95	1.00E-12	2.01E-13	6.99E-12	8.03E-13	5.69E-12
S82	WLB EP	Palfris-F.	20	Übersichtstest	VM5	1788.7	1707	1870.4	81.7	2.19E-10	3.08E-12	4.28E-10	2.13E-10	2.13E-10
S82	WLB DP	Palfris-F.	20		VM8	1715.75	1703.5	1728	12.25	1.19E-11	2.46E-12	8.16E-11	9.99E-12	6.88E-11
S82	WLB DP	Palfris-F.	14		VM10	1740.3	1739	1741.6	1.3	1.69E-12	3.46E-13	7.69E-12	1.35E-12	6.00E-12
S83	WLB EPSS	Palfris-F.	30		VM10	674.45	662.9	686	11.55	4.33E-13	2.18E-13	8.66E-13	2.16E-13	4.33E-13
S83	WLB EP	Palfris-F.	35	4 Zuluflüsse, 1 ausgeprägt	VM11	637.7	589.4	686	48.3	3.11E-13	1.04E-13	9.32E-13	2.07E-13	6.21E-13
S83	WLB EPSS	Palfris-F.	30		VM12	816.85	806.8	826.9	10.05	9.99E-13	4.98E-13	1.99E-12	4.98E-13	9.95E-13
S83	WLB EP	Palfris-F.	25	1-2 Zuluflüsse, schwach	VM13	758.7	690.5	826.9	68.2	3.67E-13	7.33E-14	2.20E-12	2.98E-13	1.83E-12
S83	WLB EPSS	Palfris-F.	36		VM14	935.4	923.7	947.1	11.7	2.99E-12	2.99E-13	2.99E-11	2.68E-12	2.68E-11
S83	WLB EP	Palfris-F.	30	2 Zuluflüsse, schwach	VM15	884.6	822.1	947.1	62.5	7.20E-13	1.00E-13	3.20E-12	5.60E-13	2.48E-12
S83	WLB EPSS	Palfris-F.	25		VM16	1103.35	1091.4	1115.3	11.95	4.18E-13	2.08E-13	8.37E-13	2.09E-13	4.18E-13
S83	WLB EP	Palfris-F.	30	Übersichtstest	VM17	1030.15	945	1115.3	85.15	5.28E-13	1.78E-13	1.78E-12	3.52E-13	1.23E-12
S83	WLB EP	Palfris-F./Mélange	30	z T. tekonisiert	VM18&21	637.05	628	646.1	9.05	1.10E-13	2.21E-14	5.52E-13	8.94E-14	4.42E-13
S83	WLB EPSS	Palfris-F./Mélange	22	3 Zuluflüsse, 2 ausgeprägt	VM22	1243.05	1232.5	1253.6	10.55	1.90E-13	4.74E-14	1.42E-13	1.42E-13	2.84E-13
S83	WLB EP	Mélange/Ohri-F.	5	1 Zulufluss, schwach	VM23	1190.85	1181.9	1262.6	71.75	1.39E-12	2.09E-13	5.57E-12	1.18E-12	4.18E-12
S83	WLB EP	Palfris-F./Mélange/Ohri-F.	25		VM24	1366.5	1353.3	1374.7	8.2	3.08E-10	3.05E-11	3.05E-09	2.75E-10	2.75E-09
S83	WLB DP	Palfris-F./Mélange/Ohri-F.	25		VM25	1317.85	1261	1374.7	56.85	5.28E-11	2.64E-11	8.60E-11	2.64E-11	3.52E-11
S83	WLB DP	Palfris-F.	28		VM26	1210.5	1209	1212	1.5	3.33E-11	6.67E-12	1.67E-10	1.67E-11	1.33E-10
S83	WLB DP	Palfris-F.	28		VM27	1222.1	1221	1223.2	1.1	1.82E-11	1.82E-12	1.82E-10	1.64E-11	1.64E-10
S83	WLB DP	Palfris-F./Mélange	15	2 Zuluflüsse, 1 ausgeprägt?	M1	1473.05	1457.1	1489	15.95	6.27E-13	9.40E-14	2.51E-12	5.33E-13	1.88E-12
S83	WLB DP	Süchelv. Flysch/Palfris-F.	2	1 Zulufluss, ausgeprägt	M2	1416.05	1400.1	1432	15.95	1.88E-12	3.19E-13	9.40E-12	1.57E-12	7.52E-12
S83	WLB DP	Palfris-F./Mélange/Ohri-F./Süchelv. Flysch	1		M3	1365.25	1349.3	1381.2	15.95	6.27E-10	9.40E-11	2.51E-09	5.33E-10	1.88E-09
S83	WLB DP	Palfris-F.	25		M4	1314.95	1299	1330.9	15.95	9.40E-13	6.27E-13	1.88E-12	3.13E-13	9.40E-13

Bohrung	Testtyp	Stratigrafie	Tongehalt [Gew.-%]	Bemerkungen Best. Tongehalt	Intervall	Mitti. Tiefe	Top	Basis	Fehler+-	K average	K Unt. Wert	K Ob. Wert	Fehler -	Fehler+	Bemerkungen Bestimmung K-Wert
<b>Im Diagramm berücksichtigte Tests</b>															
SB4	WLB DP	Palfis-F.	40		WM11	677,75	664	691,5	13,75	7,27E-13	7,27E-14	7,27E-12	6,55E-13	6,55E-12	
SB4	WLB EP	Globigerinen-M./Mélange/Palfis-F.	8	Überschiebst	TV1	636,65	569,8	703,5	66,85	2,89E-11	7,48E-12	7,48E-11	2,24E-11	4,49E-11	
SB4	WLB DP	Palfis-F./Mélange/Globigerinen-M.	20		WM12	712,8	706,4	719,2	6,4	1,95E-11	3,91E-12	3,91E-11	1,17E-11	2,34E-11	
SB4	WLB EP/SS	Globigerinen	30		T3	738,75	719,9	757,6	18,85	7,96E-13	2,65E-13	2,65E-12	5,31E-13	1,86E-12	
SB4	WLB DP	Palfis-F.	20		CV1	699,3	692,9	705,7	6,4	1,56E-11	2,34E-12	6,25E-11	1,33E-11	4,69E-11	
SB4a/v	WLB EP/SS	Globigerinen-M.	35	2 Zillflüsse, schwach	T3	1010,75	601,5	620	9,25	5,41E-13	1,62E-13	3,78E-12	3,78E-13	3,24E-12	
SB4a/v	WLB SI	Globigerinen-M.	30	2 Zillflüsse, schwach	T5	594,65	569,3	620	25,35	9,86E-13	3,94E-13	3,94E-12	5,92E-13	2,96E-12	
SB4a/v	WLB EP/SS	Palfis-F./Globigerinen-M.	35	2 Zillflüsse, schwach	VM9	730,75	726,5	735	4,25	3,53E-13	7,06E-14	5,88E-12	2,82E-13	5,53E-12	
SB4a/v	WLB EP	Palfis-F./Globigerinen-M.	30	2 Zillflüsse, schwach	VM10	676,65	618,3	735	58,35	6,86E-13	8,57E-14	4,28E-12	6,00E-13	3,60E-12	
SB4a/v	WLB SI	Palfis-F.	35		VM11	705,75	676,2	735,3	29,55	1,18E-12	1,69E-13	3,38E-12	1,02E-12	2,20E-12	
SB4a/v	WLB DP	Palfis-F.	35		VM12	648,55	647,1	650	1,45	2,76E-12	6,90E-13	6,90E-12	2,07E-12	4,14E-12	
SB4a/s	WLB SM	Palfis-F.	35		VM10	602,46	595,3537	609,56	7,1	1,41E-13	7,04E-14	7,04E-13	7,04E-14	5,63E-13	
Benken	NCH EP	Malm (Platten/Quaderkalk)	3	Auswert. Logs & Gesteinsproben	M2	387,39	379,98	394,8	7,41	6,70E-10	3,40E-10	3,40E-09	3,30E-10	2,73E-09	ff. Auswert. Geosynth., 6 Tests unberücksichtigt
Benken	NCH EP	Malm (Platten/Quaderkalk)	3	ff.	M3	300,04	205,28	394,8	94,76	1,10E-08	4,70E-09	2,10E-08	6,30E-09	1,00E-08	
Benken	NCH EP	Dogger (Parkinson- bis Murchisonae-Schiehlen)	20	10 Proben (6-65 %), MW: 39,4 %	D2	521,92	486,27	547,57	25,65	2,10E-12	1,00E-12	5,80E-12	1,10E-12	3,70E-12	
Benken	NCH DP	Malm/Dogger (Eflinger, Varians-, Würnb- & Murch.-Sch.)	27	9 Proben (20-66 %), MW: 41,2 %	MD1	471,92	446,27	497,57	25,65	1,80E-13	1,90E-14	3,90E-13	1,41E-13	2,30E-13	
Benken	NCH DP	Malm (Schwarzenbach, Hombuck- & Eflinger Sch.)	31	6 Proben (3-66 %), MW: 31,2 %	M4	428,92	403,27	454,57	25,65	5,90E-14	1,20E-14	7,80E-13	4,60E-14	7,22E-13	
Benken	NCH EP	Dogger (Opalinuston)	45	7 Proben (23-56 %), MW: 45 %	O4	561,48	566,45	586,5	15,03	3,80E-14	3,10E-15	3,10E-14	9,90E-15	1,80E-14	
Benken	NCH DP	Dogger (Opalinuston)	50	2 Proben (52-53 %)	O5	601,76	600,07	603,45	1,69	1,20E-14	1,00E-15	3,20E-14	1,10E-14	2,00E-14	
Benken	NCH EP	Dogger (Opalinuston)	50	55,5 MW aus 4 Proben (52-59 %)	O6	614,37	605,13	623,6	9,24	5,80E-14	4,40E-14	6,50E-14	1,40E-14	7,00E-15	
Benken	NCH EP	Dogger (Opalinuston)	62	MW aus 6 Proben (56-67 %)	O7	639,71	623,72	655,7	15,99	3,70E-14	2,00E-14	1,40E-13	1,70E-14	4,00E-14	
Benken	NCH DP	Lias/Keuper (Kochlamerger?)	41	MW aus 10 Proben (2-78 %)	L1	677,39	656,78	698	20,61	3,00E-14	1,90E-14	7,00E-14	1,10E-14	4,00E-14	
Benken	NCH DP	Keuper (Stubensandstein)	5	4 Proben (3-7 %)	K1	718,61	688	739,22	20,61	9,70E-08	2,20E-08	1,90E-07	7,50E-08	9,30E-08	
Benken	NCH EP	Keuper (Sandstein, Anhydrit)	3	Schiffsandstein (Probe 54 %)	K2	778,65	769,69	787,6	8,96	8,40E-14	5,00E-14	2,20E-13	3,40E-14	1,36E-13	
Benken	NCH EP	Muschelkalk (Trigonodus-D.)	3	4 Proben (0-6 %)	MK1	845,1	813	877,2	32,1	9,30E-08	4,70E-08	6,20E-07	4,60E-08	5,27E-07	
Benken	NCH DP	Muschelkalk (Trigonodus-D.)	1	geschätzt aus Log	MK2	819,51	813	826,01	6,51	4,60E-07	6,00E-08	2,30E-06	4,14E-07	1,84E-06	
Benken	NCH DP	Buntsandstein	4	3 Proben (4-21 %)	B1	978,67	974,3	983,03	4,37	5,70E-06	2,30E-06	9,20E-06	3,40E-06	3,60E-06	
Ofringen	NCH	Birmensdorf-Member bis Hauptrogenstein	20	geschätzt aus Log	Ofr+1	650	700,4	50,4	50,4	7,00E-12	3,30E-12	1,40E-11	3,70E-12	7,00E-12	
Ofringen	NCH	Eflingen-Member	35	1 Gesteinsprobe; 30 %	Ofr+2	515,02	650	640,04	50,04	4,70E-13	3,60E-13	5,60E-12	1,10E-13	5,13E-12	
Ofringen	NCH	Eflingen-Member	30	1 Gesteinsprobe; 30 %	Ofr+3	575,02	550	600,04	50,04	2,00E-12	8,00E-13	4,00E-12	1,20E-12	2,00E-12	
Ofringen	NCH	Eflingen-Member	25	stark schwach im Log, 3 Proben 20,25%	Ofr+4	525,02	500	550,04	50,04	4,10E-14	1,90E-14	2,20E-13	2,30E-14	1,78E-13	
Ofringen	NCH	Eflingen-Member	30	2 Gesteinsproben 15-34 %	Ofr+5	474,87	449,85	499,89	50,04	3,00E-14	1,60E-14	3,80E-14	1,10E-14	8,00E-15	
Ofringen	NCH	Geisberg-Member	5	geschätzt aus Log	Ofr+6d	413,045	408,5	417,59	9,09	4,00E-08	2,40E-08	2,00E-06	1,60E-08	1,96E-06	
Ofringen	NCH	Eflingen-Member	30	stark schwach im Log	Ofr+7	637,045	632,5	641,59	9,09	6,20E-14	3,30E-14	8,00E-14	2,90E-14	1,80E-14	
Ofringen	NCH	Eflingen-Member	30	geschätzt aus Log	Ofr+8c	626,045	621,5	630,59	9,09	6,30E-14	3,70E-14	1,40E-13	2,60E-14	7,70E-14	
Ofringen	NCH	Eflingen-Member	25	1 Gesteinsprobe; 30 %	Ofr+9	587,545	583	592,09	9,09	1,30E-11	7,80E-12	1,30E-11	5,20E-12	0,00E+00	
Ofringen	NCH	Geisberg-Member	5	geschätzt aus Log	Ofr+10	413,045	408,5	417,59	9,09	2,60E-06	7,40E-07	4,90E-06	1,78E-06	2,40E-06	
Basesdorf	NCH	OMM	8	Composite-Log, Ball. 2 NTB 94-01		327,5	315	340	1,90E-06						abgeschätzt aus Fl. für kond. reiche Zone
Basesdorf	NCH	OMM (ohne Konglomerat...)	18	ditto, Übersicht		405,5	264	547	1,90E-06						abgeschätzt aus Residual T für verbleib. OMM
Schalfsheim	NCH	Tertär (USM)	20	3 Gesteinsproben: 24-51 %		557,99	552,98	563	10,02	3,00E-08					unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Dogger (Soverly-Sauzei-Sch.)	35	4 Gesteinsproben: 20-53 %		974,535	981,37	987,7	26,33	6,00E-15	1,00E-15	1,00E-14	5,00E-13	1,00E-13	unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Dogger (Murchis.-Sch. - Opalinuston)	50	3 Gesteinsproben: 60-62 %		1003,23	989,3	1017,16	27,86	3,50E-13	1,00E-13	5,00E-13	5,00E-13	1,00E-13	unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Dogger (Opalinuston)	60	3 Gesteinsproben: 60-62 %		1015,23	1001,3	1029,16	27,86	3,50E-13	1,00E-13	5,00E-13	5,00E-13	1,00E-13	unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Dogger (Opalinuston)	63	2 Gesteinsproben: 63-64 %		1042,81	1028,88	1056,74	27,86	1,80E-13	8,00E-14	2,00E-13	2,00E-13	1,00E-13	unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Dogger (Opalinuston)	65	2 Gesteinsproben: 61-68 %		1095,63	1051,7	1079,56	27,86	3,90E-13	1,00E-13	5,00E-13	5,00E-13	1,00E-13	unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Lias	40	MW 5 Gesteinsproben: 8-74 %		1094,43	1069,5	1108,36	27,86	2,40E-13	9,00E-14	3,00E-13	3,00E-13	1,00E-13	unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Keuper (Gaisinger Dol., Schiffsst. s.l.)	46	MW 5 Gesteinsproben: 24-65 %		1126,13	1122,2	1140,06	27,86	5,10E-12	1,00E-13	1,00E-11	1,00E-11	1,00E-11	unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Oberer Muschelkalk (Trigonodus-Dol.)	1	0 % 1 Gesteinsprobe		1244,06	1238,56	1259,47	11	5,00E-08					
Schalfsheim	NCH	Muschelkalk (Trigonodus-Dol.), Hauptmuschelk.	8	5 Gesteinsproben: 0-17 %		1260,4	1227,8	1293	65,2	3,00E-07					unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Muschelk. Aufschieb. (Dol. Anh.gr.), Hauptm., Dol. Anh.gr.	9	2 Gesteinsproben: 3-9 %		1337,675	1318,5	1356,85	38,35	1,60E-12					unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert
Schalfsheim	NCH	Unt. Muschelkalk (Wellendol., Buntstst. & Kristallin)	37	3 Gesteinsproben: 26-49 %		1488,2	1476	1500,4	24,4	6,00E-10					unsicher, MW aus Unt. & Ob. Wert

Bohrung	Testtyp	Strategie	Tongehalt	Bemerkungen Best. Tongehalt	Intervall	Mittl. Tiefe	Top	Bas	Fehler-	K average	K Unt. Wert	K Ob. Wert	Fehler-	Bemerkungen Bestimmung K-Wert
			[Gew. %]											
<b>Weiach</b>	N'CH	Malm	2	1 Gesteinsprobe	255.0D	254.95	242.9	267	24.1	3.00E-07				
Weiach	N'CH	Dogger	40	1 Gesteinsprobe	550.0D	550	543	557	14	3.00E-13				
Weiach	N'CH	oberer Keuper	17	5 Gesteinsproben: 17 - 64 %, Stub.sdfs.	726.0D	727.95	715.9	740	24.1	6.00E-11				
Weiach	N'CH	oberer Muschelkalk	3	6 Gest.proben: 3 - 51 %	859.1S	859.05	822	896.1	74.1	1.00E-06				
Weiach	N'CH	mittlerer Muschelkalk	22	4 Gesteinsproben: MW: 11 - 35 %	926.2S	926.15	901.4	950.9	49.5	3.00E-13				
Weiach	N'CH	Rolllegendes	18	geschätzt anhand Gest.proben	1117.5D	1117.5	1112	1123	11	6.00E-08				
Weiach	N'CH	Rolllegendes	13	1 Gesteinsprobe	1240.1D	1240.15	1233.5	1246.8	13.3	3.00E-07				
Weiach	N'CH	Rolllegendes	34	2 Gesteinspr.: 34 - 70 %	1411.1D	1411.1	1401	1421.2	20.2	1.00E-10				
Weiach	N'CH	Oberkarbon	36	3 Gest.proben (36 - 84 %)	1456.9D	1456.9	1446.8	1467	20.2	6.00E-11				
<b>Rinken</b>	N'CH	Dogger (Spalkalk/Obere Parkinson-Sch.')	40	Log TonSGR	234.0D	234	217.1	250.9	33.8	1.00E-12				Maximalwert
Rinken	N'CH	"unterer Dogger"	41	MW 4 Gest.proben: 17 - 70 %	325.4D	325.35	313.4	337.3	23.9	5.00E-14				
Rinken	N'CH	Dogger (Opalmulston, oberer Teil)	65	6 Gest.proben: 62 - 68 %	368.2S	368.2	338.7	397.7	59	2.00E-14				
Rinken	N'CH	Dogger (Opalmulston, unterer Teil)	71	2 Gest.pr.: 2x 71	413.9S	413.9	397.7	430.1	32.4	4.00E-14				
Rinken	N'CH	Lias	51	MW 11 Gest.pr.	461.8S	461.8	433.4	490.2	56.8	6.00E-13				
Rinken	N'CH	Mittlerer Keuper (Gansinger Dol./Schiffsdst.)	25	Wert Gans. Dol. 7 Pr.: 25-46, ohne Gipskeu	515.7S	515.75	501	530.5	29.5	5.00E-09				
Rinken	N'CH	Oberer Muschelkalk	9	MW 6 Pr.: 6 - 12 %	654.4PV	656.65	617.3	698	76.7	7.00E-07				Maximalwert
Rinken	N'CH	mittlerer Muschelkalk	29	9 Gest.proben: 0-59%, MW, Satz keine Tonwe	725.0S	725	701.5	748.5	47	1.00E-12				
Rinken	N'CH	Rolllegendes	24	geschätzt anhand Gest.proben	965.5D	965.45	958.4	972.5	14.1	4.00E-09				
Rinken	N'CH	Rolllegendes	22	3 Gest.proben: 21 - 27 %	993.5A	993.5	977	1010	33	5.00E-08				Minimalwert
Rinken	N'CH	Rolllegendes	23	geschätzt anhand Gest.probe ob./unt.	1100.2S	1100.15	1093.6	1106.7	13.1	2.00E-10				
Rinken	N'CH	Rolllegendes	35	Cutt. geschätzt anhand Gest.probe ob./unt.	1262.2D	1262.2	1259.4	1265	5.6	1.00E-10				
Rinken	N'CH	Rolllegendes	35	Cutt. geschätzt anhand Gest.probe ob./unt.	1262.9D	1262.9	1257.8	1268	10.2	2.00E-10				
Rinken	N'CH	Rolllegendes	27	grosses Intervall, viele Pr.: 20 - 65 %	1711.2P	1711.25	1622	1800.5	178.5	4.00E-11				Maximalwert
Rinken	N'CH	Rolllegendes	21	Cutt. geschätzt anhand Gest.probe ob.	1520.9D	1520.85	1512.7	1529	16.3	2.00E-12				
<b>Leuggern</b>	N'CH	Buntsandstein/Metapellit-Serie	10	ca. MW aus 9 Pr.: 8 - 19 %	217.9S	217.86	208.22	227.5	19.28	3.00E-08				Permeabilität für poröses Medium
<b>Bötstein</b>	N'CH	Oberer Muschelkalk	4	7 Gest.proben: 1 - 49 %, 3x 4 %	DST 1	167.25	132.2	202.3	70.1	2.70E-06				T bestimmt
<b>Küttigen</b>	N'CH	Erfingen-Member	25	geschätzt aus Log (Tonmgl.- u. 3 Kalkbankab) Test 1		229.9	209.8	250		7.214E-13				

Im Diagramm berücksichtigte Tests

Bohrung	Testtyp	Stratigrafie	Tongehalt [Gew.-%]	Bemerkungen Best. Tongehalt	Interval	Mittl. Tiefe	Top	Basis	Fehler+	K average	K Unt. Wert	K Ob. Wert	Fehler-	Bemerkungen Bestimmung K-Wert
<b>Im Diagramm nicht berücksichtigte Tests</b>														
<b>SB2</b>	WLB	open hole	40	Übersichtstest	FL2	1427.5	1151.5	1703.5	276	5.89E-11	1.27E-11	3.62E-10	4.71E-11	3.02E-10
<b>SB3</b>	WLB	DP	40	geschätzt aus Log	VM28	1192.9	1191.8	1194	1.1	1.50E-09				nur Gaspermeabilitätstest (k = E·19 m <sup>2</sup> )
<b>Bassersdorf</b>	NCH	USM	25	ditto, Übersicht 0 - 69 %		253								MMW aus Überschlagsrechn. F. K(1 - 2 E-9)
<b>Schafelsheim</b>	NCH	Mittl. Muschelk. (O. Sulf. sch., Salzsch., "MMI" + Sulf. sch.)	36	4 Geleitsproben, MIV: 16 - 57 %		1377.26	1366.18	1398.34	42.16	1.00E-16				unsicher, Minimalwert
<b>Schafelsheim</b>	NCH	Mittl. Muschelk. ("Mittl." Sulf. sch., Salzsch., U. Sulf. sch.)	32	2 Geleitsproben: 18 - 46 %		1417.34	1386.26	1438.42	42.16	1.00E-16				unsicher, Minimalwert
<b>Weisch</b>	NCH	Buntsandstein	45	2 Geleitsproben: 40 - 49 %	985.3D	985.7	981.4	990	8.6	2.00E-07				
<b>Weisch</b>	NCH	Rotliegendes	52	2 Geleitsproben: 39 - 64 %	1369.4D	1369.4	1359.3	1379.5	20.2	3.00E-10				
<b>Weisch</b>	NCH	Oberkarbon	57	1 Geestprobe	1603.1D	1603.1	1593	1613.2	20.2	3.00E-11				
<b>Weisch</b>	NCH	Oberrubin	65	1 Geestprobe	1965.1D	1965.1	1960	1970.2	10.2	1.00E-12				
<b>Rinkeln</b>	NCH	Buntsandstein	48	5 Geestproben, 3x 48 %	805.8S	806.6	793	820.2	27.2	1.50E-06				
<b>Rinkeln</b>	NCH	Rotliegendes	53	? Cutt., geschätzt anhand Geestprobe ob.	1339.1D	1339.1	1334	1344.2	10.2	1.00E-11				
<b>Rinkeln</b>	NCH	Rotliegendes	72	1 Geestprobe, ganz oben Cuttings	1376.9D	1376.9	1373.8	1384	10.2	5.00E-13				
<b>Rinkeln</b>	NCH	Rotliegendes	75	1 Geestprobe, ab 1389 gemesselt	1389.1D	1389.1	1384	1394.2	10.2	1.00E-12				
<b>Rinkeln</b>	NCH	Rotliegendes	21	geschätzt anhand Geestprobe ob.	1520.9D	1520.85	1512.7	1529	16.3	2.00E-12				Maximalwert
<b>Kaisten</b>	NCH	Rotliegendes, Untere Grobkörnige Folge	31	5 Geestproben: 30 - 42 %	284.3S	284.25	276	282.5	16.5	1.00E-06				
<b>Sibilingen</b>	NCH	Keuper (Lettenkohle), Ob. Muschelkalk (Trigonodus-Dol.)		keine Angaben in NTB 90-34	MKK1/183.85S	183.15	171.1	196	24.1	2.10E-06				
<b>Sibilingen</b>	NCH	Keuper (Lettenkohle), Ob. MKK & ob. Teil Mittl. Muschelk.		vgl. Mater & Blas 1989 NIB	MKK2/210.85S	210.05	171.1	249.8	77.9	1.50E-06				
<b>Sibilingen</b>	NCH	Buntsandstein		ditto	BS5T341.05S	342.05	339	345.1	6.1	1.85E-04	1.30E-04	2.00E-04		



## **Anhang B Begründung der im Diagramm nicht berücksichtigten Tests**

Bei den nicht berücksichtigten Datenpaaren handelt es sich um Testintervalle aus lithologisch heterogenen Abfolgen aus dem Buntsandstein von Weiach und Riniken sowie solche aus dem Rotliegenden von Weiach, Riniken und Kaisten und dem Oberkarbon von Weiach. In diesen Tiefenbereichen traten gehäuft Kernverluste auf, und es liegen keine ausgewerteten Logs für Tongehalte vor (ein Intervall im Rotliegenden von Riniken in einer Bohrtiefe von 1334 – 1344.2 m lag in einer Rollenmeisselstrecke und konnte bezüglich des Tongehalts nicht ausgewertet werden). Generell ist in diesen Abschnitten die Repräsentativität der an einzelnen Gesteinsproben bestimmten Tongehalte für das betrachtete Gesteinsintervall fraglich.

Für die Auswertung in Fig. 3 ebenfalls unberücksichtigt bleiben Tests mit unsicheren hydraulischen Durchlässigkeiten (zwei Tests aus dem Mittleren Muschelkalk von Schafisheim, die beide K-Werte von  $10^{-16}$  m/s ergaben und ein Test in der Palfris-Formation der SB3 am Wellenberg von welchem nur ein Gaspermeabilitätswert von  $10^{-19}$  m<sup>2</sup> vorliegt), zwei Übersichtstest aus den Bohrungen SB2 und SB4a/s am Wellenberg mit sehr langen Testintervallen sowie einem berechneten Näherungswert für die hydraulische Durchlässigkeit der gesamten erbohrten USM der Geothermiebohrung Bassersdorf (durchgeführte hydraulische Tests lieferten keine verwendbaren Ergebnisse).

### **Buntsandstein**

In Weiach wurde ein Intervall (981.4 – 990 m Bohrtiefe) hydraulisch getestet. In diesem Abschnitt traten zahlreiche, z. T. erhebliche (bis 1.74 m) Kernverluste auf (vgl. Fig. B-1). Zwei Gesteinsproben (tonige Sandsteine) ergaben Tongehalte (ober- und unterhalb der Zone mit erheblichem Kernverlust) von 40 und 49 %. Gesteinsproben aus den übrigen Sandsteinen ohne toniges Bindemittel fehlen. Daher wurden die Ergebnisse dieses Testintervalls nicht berücksichtigt.

In Riniken wurde ein Intervall (793 – 820.2 m Bohrtiefe) hydraulisch getestet. In diesem Abschnitt traten ebenfalls zahlreiche Kernverluste auf. Von fünf entnommenen Gesteinsproben ergaben drei Sandsteine (tonige Sandsteine bzw. solche mit Tonlagen) einen Tongehalt von 48 % (zwei weitere Gesteinsproben aus Feinkonglomerat und sandigem Siltstein weisen Tongehalte von 50 % und 68 % auf). Gesteinsproben aus den übrigen Sandsteinen ohne toniges Bindemittel fehlen. Aufgrund der lithologischen Heterogenität fanden die Ergebnisse dieses Intervalls keine Berücksichtigung in der Auswertung.

### **Rotliegendes**

In Weiach wurde in der 'Lakustrischen Serie', einer sehr wechselhaften und komplexen Abfolge, ein hydraulischer Test durchgeführt (1359.3 – 1379.5 m Bohrtiefe), der in der Auswertung unberücksichtigt blieb.

In Riniken wurden in der 'Zyklischen Kristallinbreccien Serie' zwei hydraulische Tests durchgeführt (1373.8 – 1384 m und 1384 – 1394.2 m Bohrtiefe), die keine Berücksichtigung in der Auswertung fanden. Fig. B-2 zeigt eine Bohrkernabfolge von 1381.41 bis 1389 m mit einem grossen Kernverlust ab 1386.25 bis 1389 (2.75 m). In den beiden oberen Intervallen wurden insgesamt 2 Gesteinsproben aus den feinkörnigen Zyklen entnommen (Siltstein mit Caliche bzw. toniger Siltstein, 72 – 75 % Tongehalt), Gesteinsproben aus den grobklastischen Zyklen (Breccien, schräggeschichtete Sandsteine) fehlen jedoch in diesen Abschnitten.

In Kaisten wurde in der 'Unteren Grobkörnigen Folge' mit offenen wasserführenden Klüften ein hydraulischer Test durchgeführt (Testintervall 276 – 292.5 m Bohrtiefe), der in der Auswertung nicht berücksichtigt wurde. Die Abfolge wird als gut durchlässiger Kluftwasserleiter charakterisiert (vgl. Peters et al. 1989, NTB 86-04). Fünf entnommene Gesteinsproben (aus einer Breccie, Sandsteinen und einer Kluftfüllung) weisen Tongehalte zwischen 30 und 42 % auf. Die Probenauswahl wurde als nicht repräsentativ für die wasserführenden Schichten beurteilt.

### **Oberkarbon**

In Weiach wurde in der 'Kohle-Serie' im Oberkarbon (1593 – 1613.2 m Bohrtiefe) ein hydraulischer Test durchgeführt, eine Gesteinsprobe aus einem tonigen Sandstein ergab einen Tongehalt von 57 %, der als nicht repräsentativ für das betrachtete Intervall erachtet wurde. Gesteinsproben aus den weniger tonreich gebundenen Sandsteinen fehlen (vgl. zerbrochene Sandsteine in Fig. B-3).

Ein weiterer hydraulischer Test wurde in der 'Unteren kleinzyklischen Sandstein-Serie' (Oberkarbon) durchgeführt (1960 – 1970.2 m Bohrtiefe). Die einzige entnommene Gesteinsprobe stammt aus einem siltigen Tonstein und ist daher nicht repräsentativ für das Intervall (Fig. B-4).



Fig. B-1: Bohrkern aus einem Abschnitt des Testintervalls im Buntsandstein (981.4 – 990 m Bohrtiefe) der Tiefbohrung Weiach (KV = Kernverlust).

Es traten z. T. erhebliche Kernverluste auf. Die Abfolge besteht aus hellgrauen zyklischen Sandsteinen und Konglomeraten (= Diagonalschichtiger Sandstein) mit grünen Tonfasern. Die rötlichen Gesteine kennzeichnen das Rotliegende an welchem die Tongehalte bestimmt wurden.



Fig. B-2: Bohrkern aus einem Abschnitt zweier Testintervalle in der 'Zyklischen Kristallinbreccien Serie' im Rotliegenden (1373.8 – 1384 m und 1384 – 1394.2 m Bohrtiefe) der Tiefbohrung Riniken.

Die Abfolge ist lithologisch heterogen mit feinkörnigen Siltsteinen sowie Breccien und schrägeschichteten Sandsteinen. Ab 1385.75 m Tiefe tritt ein erheblicher Kernverlust auf..



Fig. B-3: Bohrkern aus einem Abschnitt des Testintervalls in der 'Kohle-Serie' im Oberkarbon (1593 – 1613.2 m Bohrtiefe) der Tiefbohrung Weiach.

Zerbrochene hellgraue Sandsteine im oberen Abschnitt des Testintervalls, dunklere Partien kennzeichnen Ton-/Siltsteine und die schwarzen Partien kohleführende Abschnitte.

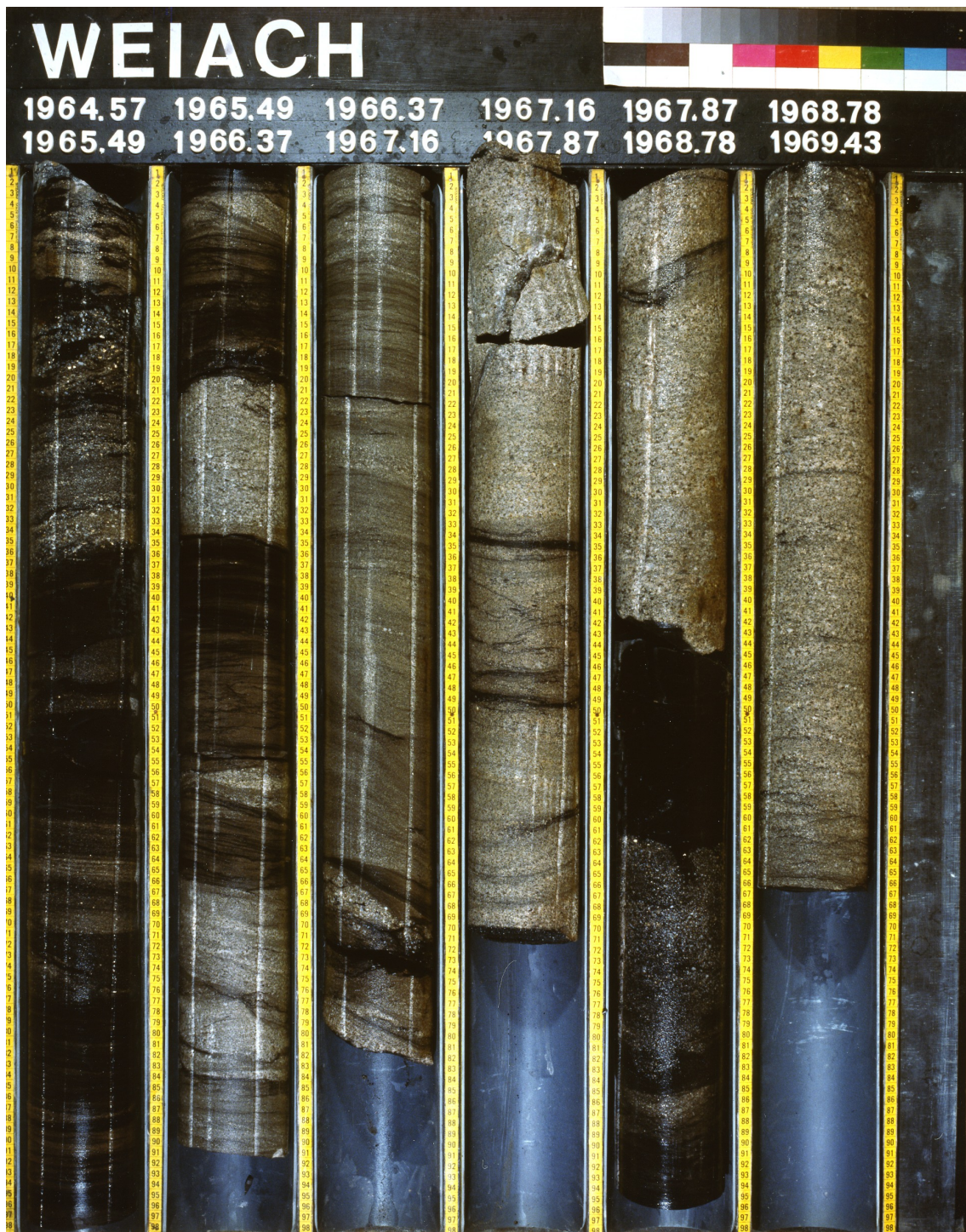


Fig. B-4: Bohrkern aus einem Abschnitt des Testintervalls in der 'Unteren kleinzyklischen Sandstein-Serie' im Oberkarbon (1960 – 1970.2 m Bohrtiefe) der Tiefbohrung Weiach.

Die Abfolge besteht aus hellgrauen Grob- bis Feinsandsteinen (z. T. kreuzgeschichtet und laminiert) sowie dunklen siltigen Tonsteinen mit Sandsteinlinsen und -lagen.