

1. Einleitung

1.1 Problemstellung und Zielsetzung

Das Gebiet zwischen Elbe und Oder zeichnet sich durch zahlreiche Erdölbohrungen im Bereich des Nordostdeutschen Beckens (NEDB) aus. Aufgrund der Freigabe durch die Erdöl-Erdgas Gommern stand dieses Bohrkernmaterial erstmals zur Verfügung, was besonders deshalb von großer Wichtigkeit ist, da kaum obertägige Aufschlüsse vorhanden sind. Im Rahmen des DFG-Projektes: *„Rekonstruktion der thermischen und chemischen Entwicklung von Paläo-Fluidsystemen im Norddeutschen Becken durch Analyse von Flüssigkeitseinschlüssen im Bereich der DEKORP Trasse 9601, NE-Deutschland“* (DFG.-Nr. SCHM 3/ 1-1, SCHM 3 / 1-2 und BA 487 / 13-3) wurden diese guten Voraussetzungen genutzt, um eine Reihe von Bohrungen zu beproben, welche sich im Bereich der 1996 aufgenommenen seismischen DEKORP-Traversal „Basin 9601“, die das NEDB von Norden nach Süden quert, befinden. Ziel dieser Arbeit ist es, die thermische und chemische Entwicklung von Paläofluidsystemen eines sedimentären Beckens durch Analyse von Flüssigkeitseinschlüssen unter Berücksichtigung von Diagenese- und Beckenentwicklung zu rekonstruieren. Schwerpunkte dieser Arbeit sind folgende Fragestellungen:

1. Welche Fluidsysteme prägen die Beckenentwicklung und in welchen Mineralbildungen sind diese nachzuweisen?
2. Wie setzen sich die Beckenfluide chemisch zusammen?
3. Lassen sich Hinweise über die Herkunft, die Migration und das Alter der Fluidlösungen gewinnen?
4. Geben die mikrothermometrischen Daten Hinweise auf Paläo-Fluiddrücke im Bereich des Beckens; was ergibt sich somit für die Druckkorrektur der Flüssigkeitseinschlüsse?
5. Können Aussagen über Paläo-Wärmefluss und -Temperaturgradienten getroffen werden?
6. Welchen Einfluss haben die mächtigen salinaren Folgen des Zechsteins auf die Fluidmigration und den Paläo-Wärmefluss?
7. Welchen Einfluss haben sekundäre Veränderungen von Flüssigkeitseinschlüssen (z.B. thermale Re-Equilibrierung) auf die ermittelten Parameter?
8. Wie erfolgte die tektonothermale Entwicklung des NEDB und wie spiegeln sich ermittelte Fluidsysteme in dieser Chronologie wider?

Erste Arbeiten, welche mikrothermometrische Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen für die Modellierung der thermischen Entwicklung von Sedimentbecken sowie zur Modellierung der Genese und Migration von Kohlenwasserstoffen nutzen, sind in den letzten Jahren publiziert worden (z.B. BILAL 1997; CATHELINEAU 1997; DUDOK 1997). Sie konnten aber die auftretenden Fragen nur teilweise beantworten (Kap. 1.2).

1.2 Stand der Forschung

Beckenentwicklung und Diagenese

Über die Entstehung und Entwicklung des Norddeutschen Beckens sind viele Arbeiten vorhanden. Prinzipiell können im NEDB vier bzw. fünf Entwicklungsstadien unterschieden werden (u.a. NÖLDEKE & SCHWAB 1977, ZIEGLER 1990, PLEIN 1993, BACHMANN & HOFFMANN 1997, SCHECK 1997). Die strukturelle Entwicklung des Beckens ist in erster Linie durch Extension und Subsidenz gekennzeichnet. Im weiteren Entwicklungsverlauf nehmen halokinetische Einflüsse an Bedeutung zu, besonders im Zusammenhang mit der kretazischen Inversion, die von WIENHOLZ (1965), MEINHOLD & REINHARDT (1967), REINHARDT (1993), BEUTLER (1995), BENOX et al. (1997) umfassend beschrieben wurden. Dabei wurde z.T. auch der Bezug der Beckenentwicklung zur Orogenese der Alpen hergestellt (z.B. STACKEBRAND 1997).

Die Diagenese verschiedener Gesteine im Bereich des NEDB wurde in der Literatur umfangreich beschrieben. Für die Rotliegend-Sedimente sind vor allem die Arbeiten von GAUPP et al. (1993) und GAUPP (1994) zu nennen. Hier wird dargestellt, dass diagenetisch gebildete Mineralparagenesen faziesabhängig sind und es werden Diagenesetypen vorgeschlagen (GAUPP 1994). MCCANN (1998) und GAST et al. (1998) beschreiben die laterale und vertikale Verteilung der Rotliegend-Sedimente in Bezug zu den enthaltenen diagenetischen Mineralbildungen.

Im den Rotliegend-Vulkaniten herrschen besonders im Zuge von Alterationen gebildete authigene Minerale vor, welche von BRECHT (1999) beschrieben und dokumentiert wurden. Weitere Bearbeiter (KOCH 1994, JACOB et al. 1995, EHLING et al. 1995) dokumentierten und beschrieben Alterationen und hydrothermale Mineralbildungen der Vulkanite im Bereich des Flechtinger Blocks.

Für die Präperm-Sedimente sind vor allem die Arbeiten von HOTH (1993, 1997) hervorzuheben. Er weist durch seine sehr umfangreichen Dokumentationen drei Diagenese- bzw. Metamorphosetrends nach. Im südlichen Beckenteil wird eine starke tektonothermale Überprägung der Gesteine nachgewiesen und als „hyperthermische Beckenregion“ bezeichnet. Der nördliche Beckenabschnitt weist hingegen nur geringe Inkohlung und versenkungsbedingte diagenetische Umwandlungsreaktionen auf. Diesen Beckenabschnitt ordnet HOTH (1993) den „Plattformbecken“ zu. Ein letzter diagenetischer Trend wird von HOTH (1993) auf lokale Bereiche beschränkt, welche seiner Meinung nach durch die Einwirkung basischer und saurer Effusiva oder Subeffusiva beeinflusst wurden.

Fluidzusammensetzung und Fluidherkunft

Bisher gibt es nur wenige Untersuchungen von Flüssigkeitseinschlüssen im Bereich des NEDB. Erste Arbeiten von REUTEL & LÜDERS (1998) sowie LÜDERS et al. (1999) beschränken sich auf den weiteren Bereich der Erdgaslagerstätte Salzwedel-Peckensen im Zentralbereich des NEDB. Der Schwerpunkt der bisherigen Bearbeitung lag vor allem in der zeitlichen

Einordnung der Migration von gashaltigen Fluiden. Dabei wurde postuliert, dass CH₄-reiche Einschlüsse vor der kreidezeitlichen Beckeninversion und N₂-reiche Einschlüsse im Zuge der Inversion migriert sind (LÜDERS et al. 1999). Ebenfalls publiziert wurden erste Arbeiten zur thermischen und chemischen Entwicklung von Paläo-Fluidsystemen des gesamten NEDB von WOLFGRAMM et al. (1998, 1999b, 2000b), WOLFGRAMM & SCHMIDT MUMM (1999a, 1999c, 2000a) und BRECHT & WOLFGRAMM (1998). Die dort dokumentierten Daten und Ergebnisse sind in die vorliegende Arbeit einbezogen worden.

Vom Nordwestdeutschen Becken (NWDB) existieren schon seit längerem detaillierte mikrothermometrische und isotopengeochemische Untersuchungen, vor allem von RIEKEN (1988), RIEKEN & GAUPP (1991), GAUPP et al. (1993) und PLATT (1994). Von ihnen werden verschiedene Fluidsysteme charakterisiert und die Herkunft der Fluide sowie der aus den Fluiden ausgefallenen Minerale diskutiert. Dabei werden als Fluidquellen zum einen Wässer der Zechstein-Evaporite, intraformational remobilisierte Wässer der Rotliegend-Sedimente und saure Wässer aus dem Bereich der Karbon-Kohlen aufgeführt (GAUPP 1993).

Weitere mikrothermometrische und isotopengeochemische Daten wurden für den Harz ermittelt, welcher an das NEDB angrenzt. Hierbei sind vor allem die Arbeiten von LÜDERS et al. (1993a, 1993b), KRIEBEL et al. (1997) und ZHENG & HOEFS (1993a, 1993b) hervorzuheben. Wichtig erscheinen besonders die Unterschiede des Fluid-Inventars und der Isotopengeochemie für die einzelnen Gangbezirke des Harzes. Da die verschiedenen Mineralisationen unterschiedlichen Alters sind (vgl. FRANZKE 1973, FRANZKE & ZERJADTKE 1993), scheinen die hier ermittelten Signaturen Rückschlüsse über das Alter von Mineralbildungen des NEDB zu ermöglichen. Die für das NWDB und den Harz dokumentierten petrographischen, mikrothermometrischen und isotopengeochemischen Ergebnisse sollen vor allem zu Vergleichszwecken herangezogen werden.

Alter der Fluide

Ein wichtiger Punkt bei der Rekonstruktion der Paläo-Fluidsysteme ist die zeitliche Einordnung ihrer Aktivitätsphasen. Da die diagenetischen und hydrothermalen Bildungen selten direkt datiert werden können, sind Rückschlüsse bekannter Datierungen auf die bearbeiteten Minerale notwendig. Ein wichtiges Zeitdatum bildet vor allem das Alter der permokarbonen Vulkanite als höchstes Alter von Mineralbildungen im Rahmen der Beckenentwicklung. Dieses wird von BREITKREUZ & KENNEDY (1999) mit Hilfe von U/Pb-SHRIMP-Datierungen an Zirkonen aus SiO₂-reichen Vulkaniten des Beckens auf den Zeitraum von 297 - 302 Ma eingegrenzt. K/Ar-Datierungen authigen gebildeter Illite in den Vulkaniten ergeben ein Alter von 206 - 156 Ma (BRECHT 1999). Temperaturmessungen von kogenetisch mit dem Illit gebildetem Chlorit (Chlorit-Thermometrie), Kalzit und Quarz weisen auf ein hochthermales Ereignis hin, das letztlich zur Bildung dieser Mineralphasen geführt hat (WOLFGRAMM et al. 1998a). Dieses Ereignis ist zudem überregional in ganz Westeuropa wirksam gewesen (z.B. REUTER 1985; WEMMER 1991; CLAUER et al. 1996; BECHTEL et al. 1999).

Weitere Altersdaten (K/Ar-Methode und Rb/Sr-Methode) wurden für die Ganglagerstätten im Harz ermittelt (HAGEDORN & LIPPOLT 1993). Hier wurden Alter von 210 Ma, 135 Ma und 92 Ma für verschiedene hydrothermale Prozesse angegeben. Das jüngste Alter spiegelt sich in der beginnenden kreidezeitlichen Inversionstektonik wider. FRANZKE & ZERJADTKE (1993) und FRANZKE (1973) haben Klüfte und Störungen in Bezug zu ihren Mineralfüllungen und ihrer Lage im Raum analysiert. Die Altersbeziehungen dieser mit verschiedenen Mineralparagenesen gefüllten Hohlräume sind umfangreich dokumentiert worden. Ein Vergleich der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Kluffüllungen mit denen des Harzes könnte Indizien zum Alter der diagenetischen und hydrothermalen Mineralparagenesen des NEDB liefern.

Alternative Temperaturdaten

Um die mit Hilfe der Flüssigkeitseinschlüsse ermittelten Temperaturdaten zu bestätigen, sind Vergleiche zu anderen Temperaturbestimmungen, wie Mineral-Thermometern, notwendig. Aus einer Anzahl möglicher Temperaturindikatoren wurden die Methoden der Vitritreflexion (TEICHMÜLLER et al. 1979, 1984, TEICHMÜLLER 1979, KOCH et al. 1997, THOMASER 1992, HOTH 1997, FRIBERG 1999), der Chlorit- und Illit-Thermometrie (TEICHMÜLLER et al. 1979, BRECHT 1999) bereits von anderen Bearbeitern angewandt, um Aussagen zur Temperaturgeschichte des NDB und des NEDB zu gewinnen. Die Chlorit-Thermometrie fand teilweise an den gleichen Proben Anwendung, an denen auch Flüssigkeitseinschluss-Untersuchungen durchgeführt wurden (WOLFGGRAMM et al. 1998a). Beide Methoden lieferten vergleichbare Ergebnisse (WOLFGGRAMM et al. 1998a, BRECHT & WOLFGGRAMM 1998b). Das Illit-Thermometer hingegen lieferte keine sinnvollen Ergebnisse (BRECHT 1999). Die in der Literatur diskutierten Vitritreflexionen zeigen für den Kupferschiefer Werte zwischen 1 % und 3 % und für die Prä-Perm-Sedimente 2 - 4 % (KOCH et al. 1997). Die hohen Werte im Prä-Perm lassen sich nicht einfach durch Versenkungsdiagenese erklären (KOCH et al. 1997). Die Maxima der Reflexionswerte befinden sich im Bereich der Bohrung Parchim (vgl. THOMASER 1982). BRECHT (1999) führte diese lokal erhöhte Inkohlung auf einen von BACHMANN & HOFFMANN (1995) vermuteten Manteldiapir zurück, welcher sich durch eine Schwere- und Magnetikanomalie charakterisieren lässt. Eine weitere Möglichkeit der Temperaturabschätzung besteht durch Auswertung der temperaturabhängigen $\delta^{18}\text{O}$ -Werte (vgl. auch RIEKEN 1988).

Fluid-Druck

Paläo-Fluide im NEDB wurden bisher, wie auch schon die Paläo-Temperaturen, nur untergeordnet und lokal beschränkt bearbeitet.

Neben der Bestimmung der Paläo-Temperaturen und der Fluidchemie ist auch die Kenntnis über die Fluid-Drücke ein wichtiger zu ermittelnder Parameter. PISKE & RASCH (1998) zeigen, dass die Paläo-Drücke im Staßfurt-Karbonat (Zechstein) während der Kreide fast dem lithostatischen Druck (Überlagerungsdruck) entsprachen. Das Salz scheint aufgrund seiner

Eigenschaften, wie der extrem geringen Permeabilität (ca. 10^{-10} mD), seiner hohen Löslichkeit und Wärmeleitfähigkeit sowie der geringen Kompressibilität eine besondere Rolle für die Temperatur-Druckverteilung im NEDB zu spielen. JOWETT (1986) zeigt ein interessantes und vergleichbares Modell für das polnische Teilbecken auf. Er beschreibt modellhaft den Zechstein und die karbonen Sedimente als relativ impermeable Schichtenfolgen. In den dazwischen befindlichen klüftigen Vulkaniten zirkulieren die Wässer, ohne in die liegenden oder hangenden Schichten zu gelangen. Dieses „Konvektions“-Modell ist auch im Bereich des NEDB wirksam und während der Beckenentwicklung von großer Bedeutung gewesen (WOLFGRAMM & SCHMIDT MUMM 1999a).

Die Untersuchung von Sedimentbecken ist vor allem durch die Aussicht, Kohlenwasserstoffe zu finden, motiviert. Diese migrieren zusammen mit anderen Fluiden und sind abhängig von der Beckensubsidenz sowie der Diagenese-, Temperatur- und Strukturentwicklung. Zusammenfassend wird bei BANDLOWA (1998) die Erdgasverteilung des Mitteleuropäischen Beckens (MEB), welches das NEDB als ein Teilbecken einschließt, diskutiert und mit Hilfe einer Reihe von Karten dokumentiert. MÜLLER (1990) und MÜLLER et al. (1993) beschreiben die im Norddeutschen Becken triassisch angelegten Paläo-Gaslagerstätten, die einem kreidezeitlichen Umbau unterlagen. Während dieses Umbaus kam es zur Zerstörung und Umlagerung der Lagerstätte sowie zur Zufuhr von Tiefenstickstoff (MÜLLER 1990). Die Herkunft des Stickstoffs wird allerdings kontrovers diskutiert. GERLING et al. (1997) postulierten zwei regional unterschiedliche „Gasküchen“ und wiesen nach, dass der Hauptteil an Stickstoff aus der Pyrolyse der Oberkarbon-Kohlen stammt. MERKEL et al. (1998) stellten den Beginn der Kohlenwasserstoffbildung ins Rät bzw. den Jura. WOLFGRAMM et al. (1998a) beschrieben ein zeitgleich stattfindendes tektonothermales Ereignis. Der Hauptteil der Lagerstättenbildung erfolgte nach MERKEL et al. (1998) in der späten Unterkreide. Die karbonen Muttergesteine für diese Lagerstätte sind nach GAITZSCH et al. (1998), GAST et al. (1998) und HOFFMANN et al. (1998) auf den Nord- und Südrand des Beckens beschränkt.

Die hier vorliegende Arbeit hat das Ziel, die regionale Verbreitung, Entwicklung und Zusammensetzung von Fluiden im NEDB zu rekonstruieren und den Bezug zur Beckenentwicklung darzulegen.

1.3 Probenmaterial und Datenbasis

1.3.1 Auswahl der Bohrungen und des Probenmaterials

Zur Durchführung der Arbeiten wurde Kernmaterial von 29 Bohrungen bearbeitet (Anhang AO1), davon befinden sich 12 Bohrungen in Mecklenburg-Vorpommern, 10 Bohrungen in

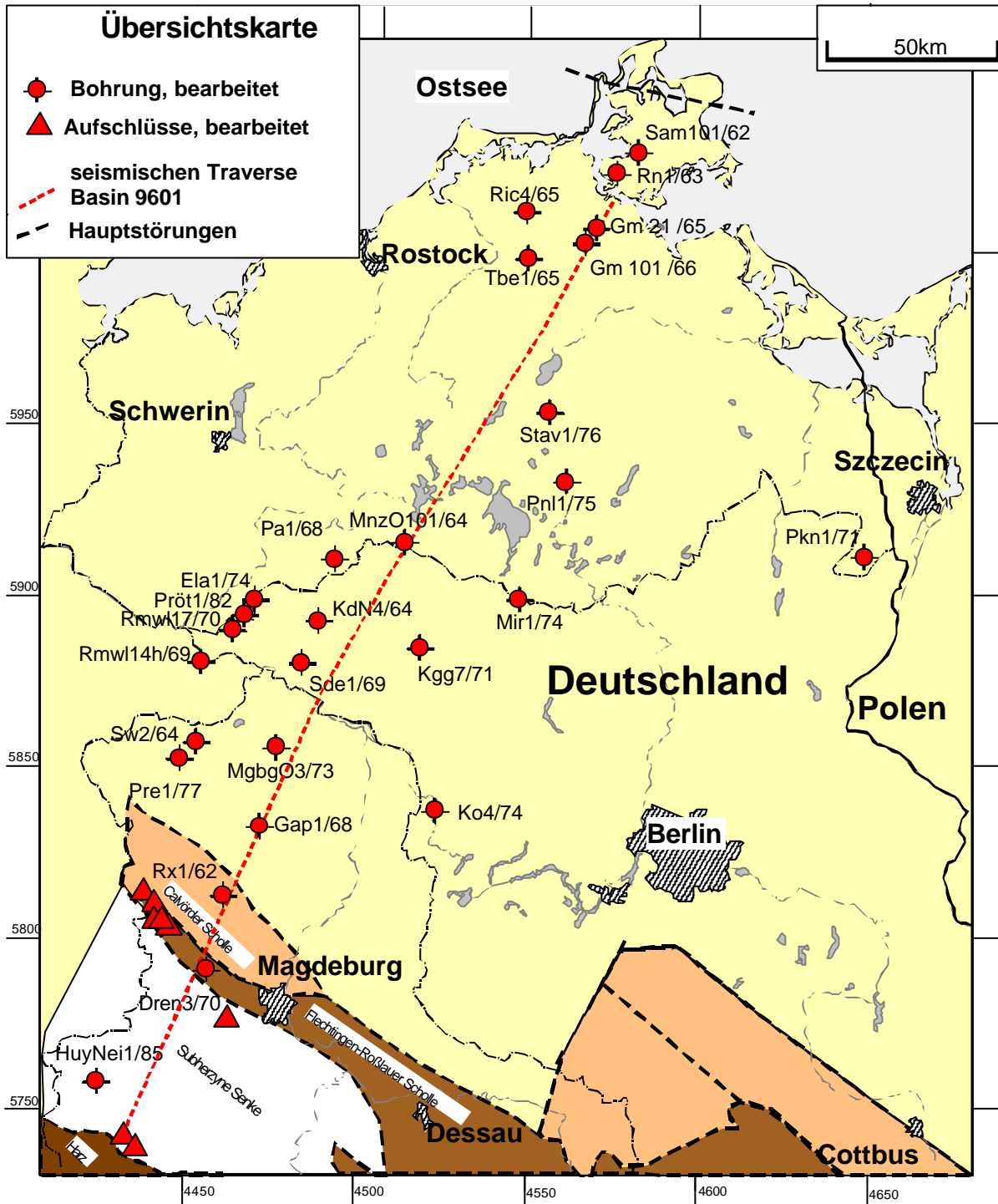


Abb.1-1: Die DEKORP-Traverse „Basin 9601“ und die für die Bearbeitung ausgewählten Bohrungen

Brandenburg und 7 Bohrungen in Sachsen-Anhalt.

Die Bohrungen orientieren sich an einem N - S-Profil durch das gesamte NEDB von Rügen bis zum Harz (Abb. 1-1). Des weiteren wurden einige der wenigen Aufschlüsse im Bereich zwischen der Calvörder Scholle und dem Harz beprobt (Anhang O2, Abb. 1-1).

Die Proben wurden verschiedenen tektonisch-lithologischen Bereichen entnommen (Abb. 1-2), wobei die Probenauswahl auf einschlussführende Mineralbildungen in Form diagenetisch gebildeter Zemente, Gänge und Drusen beschränkt war.

Insgesamt wurden aus 29 Bohrungen 234 Proben und aus 8 Aufschlüssen 17 Proben entnommen und davon 422 Präparate (211 zumeist polierte Dünnschliffe {25µm} und 211 beidseitig polierte Dickschliffe {100 - 200 µm}) angefertigt. Von 28 weiteren Proben wurden Tonmineralseparate abgetrennt, um mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) und der Diffraktometrie (XRD) die authigen gebildeten Tonminerale zu untersuchen (Kap. 4.2.6). Für die Isotopenuntersuchungen wurden außerdem 150 Anhydrit-, Baryt-, Quarz-, Pyrit-, Galenit- und Kalzitproben separiert (Kap. 8).

In den Bohrkernlagern waren meist nur ausgewählte Abschnitte der einzelnen Bohrungen archiviert, wodurch sich die Bearbeitung zumeist auf Bohrkern des Rotliegend (vgl. Anhang

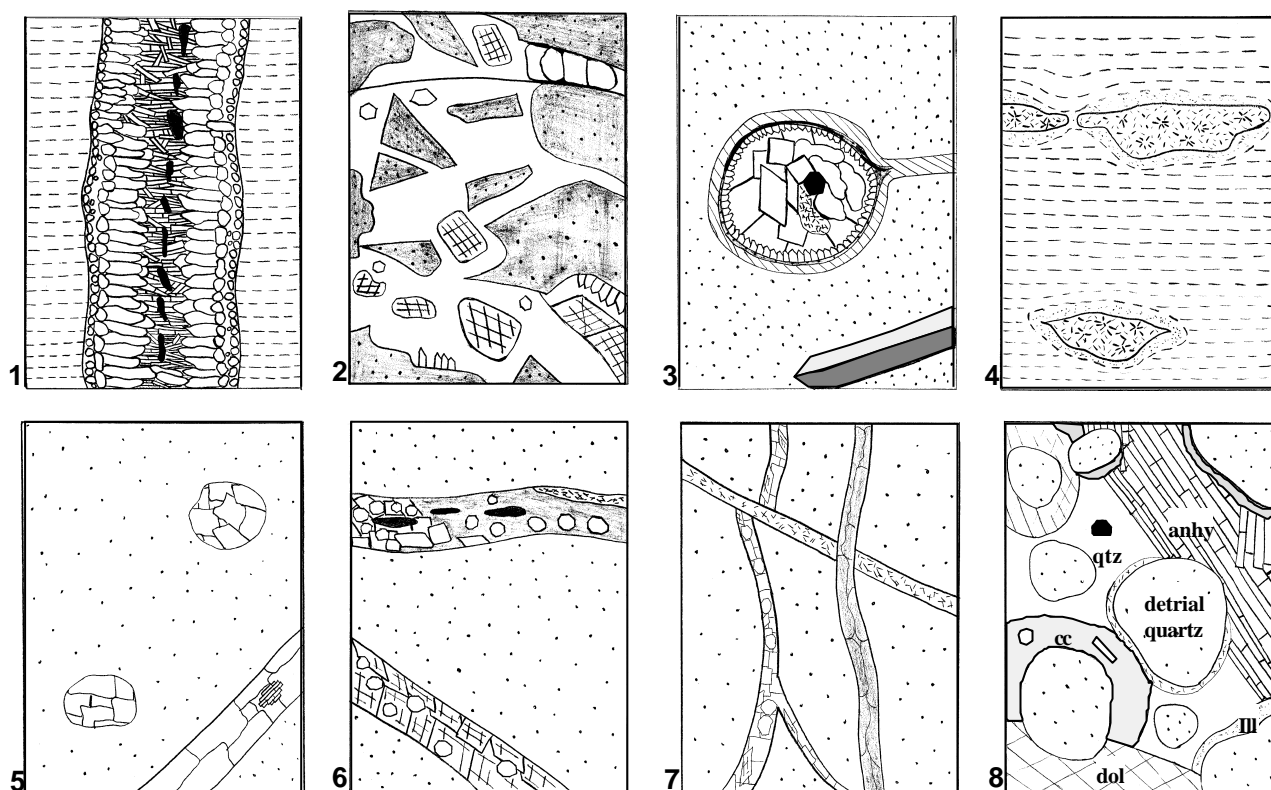


Abb. 1-2: Beprobte Gefügetypen

1 - Kluffüllungen in Extensionsklüften, 2 - Gangbrekzien, 3 - Drusen, 4 - Anhydritkonkretionen in Ton- und Siltstein, 5 - Mineralneu- und Mineralumbildungen, 6 - Kluffüllungen, ungegliedert, 7 - Kluffüllungen gestörter Bereiche, 8 - Zemente (qtz= Quarz; cc= Kalzit, dol= Dolomit, anhy= Anhydrit) in grobklastischen Sedimenten

0-1) konzentrierte. Probleme ergaben sich vor allem bei der zeitlichen Eingliederung der einzelnen ermittelten Fluidsysteme. Es wurde versucht, über große Teufenbereiche vorhandene Kernabschnitte zu beproben, um so eine Veränderung in der Zusammensetzung der Flüssigkeitseinschlüsse räumlich und zeitlich zu korrelieren.

1.3.2 Zustand des Probenmaterials

Der Zustand des bearbeiteten Bohrkernmaterials war zumeist gut, da die Bohrkernkerne immer in Hallen gelagert waren. Die Bohrkernkerne waren nicht orientiert entnommen worden, so dass nie die Streichrichtung von Gängen ermittelt werden konnte. Somit war eine Verknüpfung von lithologischen und zeitlichen Parametern, wie sie von FRANZKE (1973) und FRANZKE & ZERJADTKE (1993) für die Gänge des Unterharzes dokumentiert wurde, nicht möglich.