

## **Vorwort**

Von 1997 - 2000 wurde an der Martin-Luther-Universität Halle im „Institut für Geologische Wissenschaften und Geiseltalmuseum“ ein Projekt mit dem Thema: *„Rekonstruktion der thermischen und chemischen Entwicklung von Paläo-Fluidsystemen im Norddeutschen Becken durch die Analyse von Flüssigkeitseinschlüssen im Bereich der DEKORP-Trasse 9601“* bearbeitet. Die Finanzierung erfolgte dankenswerterweise durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG). Die vom Autor durchgeführten Untersuchungen erbrachten eine Reihe von Ergebnissen, welche in der vorliegenden Arbeit präsentiert werden.

Eine wesentliche Vorgabe seitens der DFG ist die Publikation der Daten und Ergebnisse in nationalen und internationalen Fachzeitschriften. Aus diesem Grund sind einige der verwendeten Abbildungen mit englischen Beschriftungen versehen, um eine Veröffentlichung in relevanten Fachzeitschriften zu ermöglichen.

Das Hauptziel des Projektes war, die thermische Entwicklung der progressiven Beckengeneese des Nordostdeutschen Beckens (NEDB) nachzuvollziehen. Gleichermäßen sollte dieser thermischen Rekonstruktion die chemische Charakterisierung und Variation der während der Beckengeneese mobilisierten Fluid-Phasen zugeordnet werden. Diese Informationen sind von großer Bedeutung für das Verständnis der Genese von Kohlenwasserstoff-Vorkommen (Erdöl/Erdgas) einerseits und die Entstehung sekundärer Mineralvorkommen andererseits.

Zur Erreichung dieses Zieles wurden verschiedene diagenetische Mineralparagenesen und die darin enthaltenen Generationen von Flüssigkeitseinschlüssen petrographisch (optisch und Kathodolumineszenz) sowie mikrothermometrisch analysiert. Repräsentative Proben wurden zudem mit Raman- spektroskopischen und REM-edx-analytischen Methoden untersucht.

Die gesteckten Ziele konnten in der vorliegenden Form nur durch die vielfältige Unterstützung von verschiedenen Institutionen, Kollegen und Freunden erreicht werden, denen nachfolgend gedankt wird.

## Zusammenfassung

Das Nordostdeutsche Becken (NEDB) ist ein etwa 300 km breites und 200 km langes Teilbecken des Mitteleuropäischen Beckens, in dem mehr als 8000 m mächtige Gesteine akkumuliert wurden. Seine Entwicklung erfolgte in fünf Stadien und begann im Perm mit der Ablagerung mächtiger Vulkanitserien. Neben diesem initialen Stadium können das permotriassische Hauptabsenkungsstadium, das Differenzierungsstadium (Rhät - Jura), das Inversionsstadium (Kreide) und Stabilisierungsstadium (Tertiär - Quartär) unterschieden werden.

Petrographische, mikrothermometrische und isotopengeochemische Untersuchungen ( $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) von Bohrkernproben zeigen, dass sich in diagenetischen Mineralparagenesen und den darin enthaltenen Flüssigkeitseinschlüssen die Beckenentwicklung widerspiegelt. Die authigenen und hydrothermalen Minerale repräsentieren die chemische Zusammensetzung, die physiko-chemischen Parameter sowie die Herkunft und Migrationspfade von verschiedenen Paläo-Fluidsystemen. Basis der Untersuchungen bilden ca. 250 Proben von 29 Tiefbohrungen und mehreren Oberflächenaufschlüssen aus dem NEDB. Es standen jeweils 211 Proben für petrographische und mikrothermometrische Untersuchungen und 150 Mineralseparate für isotopengeochemische Analysen zur Verfügung. Schwerpunkt der Untersuchungen waren die fluid-führenden sekundären Karbonate, Quarze, Anhydrite, Baryte, Fluorite und Feldspäte. Unter Berücksichtigung der petrographischen und regionalgeologischen Bedingungen konnten sieben Fluidphasen unterschieden werden (Abb. 9-1):

1. Älteste Mineralbildungen sind Drusenfüllungen und intraformationelle Brekzien in den permokarbonen Vulkaniten. Diese sind wahrscheinlich das Resultat einer hydrothermalen „Nachphase“ des Rotliegend-Vulkanismus. Charakteristische Minerale sind vor allem Kalzit und Epidot, außerdem Albit, Chlorit und Quarz. Die entsprechenden Flüssigkeitseinschlüsse sind durch niedrige Salinitäten von ca. 2 - 15 Gew. %  $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$  Äquiv. und Bildungstemperaturen (Tb) von 210 - 290 °C charakterisiert.
- 2.-3. Es folgen zwei Fluidphasen, welche durch früh- und spätdiagenetischen Mineralbildungen repräsentiert werden. Flüssigkeitseinschlüsse in frühdiaagenetischen Anhydrit- und Dolomitzementen lassen auf Tb < 50 °C schließen. Spätdiagenetischen Fluide, welche überwiegend in Kalzit- und Quarzzementen beobachtet wurden, zeigen bei niedrigen bis mittleren Tb von 50 - 175 °C sehr hohe Salinitäten von 20 - 35 Gew. %  $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$  Äquiv.
4. Ein viertes Fluidereignis repräsentiert das Differenzierungsstadium am Ende der maximalen Beckenversenkung im Keuper. Neben den tektonisch bedingten Störungssystemen sorgten infolge starker Alteration von Feldspäten, Illitisierung, Chloritisierung und weiterer diagenetischer Prozesse entstandene Permeabilitäten und Porositäten für erhöhte Fluidzirkulationen. Die in Kluftmineralen enthaltenen Flüssigkeitseinschlüsse weisen tiefenabhängig hohe Salinitäten von etwa 20 - 30 Gew. %  $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$  Äquiv. und Tb von 60 - 270 °C auf. Die Sauerstoff-Isotope zeigen Signaturen basinaler Tiefenwässer.
5. Während die oben genannten Fluidsysteme im gesamten Becken nachgewiesen werden konnten, beschränkt sich ein fünftes, hochthermales Fluid mit Tb bis 350°C auf das Beckenzentrum und Klüfte der permokarbonen Vulkanite sowie den Zeitraum Rhät bis Jura. Die Salinitäten änderten

sich zum vierten Fluidsystem nicht. Kogenetisch zu den wässrigen Einschlüssen gebildete  $N_2$ - und  $CH_4$ -Einschlüsse deuten auf erhöhte Gasmigration hin.

6. Ein sechstes Fluidsystem wurde nur in Kluftmineralen der Störungszone des nördlichen und südlichen Beckenrandes nachgewiesen. Es zeigt Fluideinschlüsse mit niedrigeren  $T_b$  von 60 - 180°C und Salinitäten von 20 - 28 Gew. %  $NaCl+CaCl_2$  Äquiv. Während im Beckenzentrum Gradienten von 50 °C/km bestimmt wurden, waren im Bereich der Scholle von Calvörde 70 °C/km nachweisbar. Diese Gradienten können nicht auf die Tiefenlagen vor der Heraushebung zurückgeführt werden. Die Sauerstoff-Isotopendaten weisen auf eine Mischung basinaler Tiefenwässer mit meteorischen Wässern hin. Starke Hebungsvorgänge von Krustenschollen in der Kreide führten zur hydraulischen Mischung der Fluide. Charakteristische Minerale dieser Fluidphase sind Kalzit, Fluorit, Baryt und Anhydrit.
7. Die jüngsten Fluide konnten in sekundären Einschlüssen von Mineralzementen nachgewiesen werden. Die  $T_b$  von 60 - 250 °C repräsentieren das Stabilisierungsstadium des Sedimentbeckens. Charakteristisch sind Salinitäten von 0 - 10 Gew. %  $NaCl+CaCl_2$  Äquiv. Offenbar waren zum Zeitpunkt der Fluidbildung die bestehenden Mineralparagenesen so stabil, dass keine Gesteins-Fluid-Wechselwirkungen stattfanden.

Neben dieser Differenzierung der Fluidphasen konnten weitere Ergebnisse erzielt werden. So zeigt die mikrothermometrisch ermittelte, vertikale Temperaturverteilung einen sehr steilen thermischen Gradienten im Bereich der permokarbonen Vulkanite. Dieser lässt sich nur unter Annahme konvektiver oder advektiver Fluidzirkulation in den stark alterierten und geklüfteten Vulkaniten erklären. Bedeutsam ist auch, dass nur in den Vulkaniten zonierte gewachsener Kluftquarz beobachtet wurde.

Ein weiteres Ergebnis zeigt sich im Vergleich der Fluiddaten des NEDB mit denen der Harzer Sulfid-Gänge (z.B. ZHENG & HOEFS 1993a, b, LÜDERS et al. 1993a). Mikrothermometrische, petrographische und isotopengeochemischen Signaturen deuten so auf z.T. gemeinsame Fluidquellen hin.

In Kooperation mit C. Breitzkreuz, G. Brecht und A. Schmidt Mumm konnte zudem ein hydrothermales liassisches Ereignis (206 - 156 Ma) in den permokarbonen Vulkaniten des NEDB nachgewiesen werden (BRECHT & WOLFGGRAMM 1998, WOLFGGRAMM et al. 1998), welches durch Temperaturen bis 350°C charakterisiert ist.

Die isotopengeochemischen Signaturen geben Hinweise auf verschiedene Quellen, Pfade und Mischung von Fluiden. So konnte eine Mischung von deszendierenden Zechsteinwässern mit Porenwässern der Rotliegend-Sandsteine und im Bereich tiefgreifender Störungszone sogar mit Wässern der permokarbonen Vulkanite ebenso nachgewiesen werden wie die Mischung meteorischer mit basinalen Tiefenwässern. Die Kohlenstoff-Isotope deuten auf aufsteigende Wässer der kohlenstoffreichen Karbon-Sedimente und teilweise auf juvenile Wässer hin. Das NEDB kann dem entsprechend nicht als geschlossenes System betrachtet werden, da es auch durch externe Fluidquellen beeinflusst wird.

## Abstract

The Northeast German Basin (NEDB) is a c.300 km long and 200 km wide subbasin of the Mid-European Basin in which more than 8000m of volcanic and sedimentary rocks were accumulated. Evolution of the basin can be subdivided into five distinct phases. It begun with deposition of thick volcanic sequences in the Upper Carboniferous / Permian. This initial stage was followed by the Permo-Triassic main phase of subsidence, the Rhaetian- Jurassic phase of basin differentiation , the Cretaceous phase of inversion and the final cratonic stabilisation in the Tertiary - Quaternary.

Petrographic, microthermometric and stable isotope ( $\delta^{34}\text{S}$ ,  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{18}\text{O}$ ) investigations of drill cores show that the burial history of the basin is documented in diagenetic mineral assemblages and fluid inclusion contained therein. Authigenic and hydrothermal minerals represent the chemical composition, chemical and physical parameters as well as origin and pathways of migration of several fluid systems. Investigations are based on 250 samples from deep wells and 29 samples from surface outcrops in the NEDB . 211 samples were investigated by petrographic and microthermometric methods, 150 mineral separates were used for stable isotope analyses. Emphasis of the investigations was put on secondary carbonates, quartz, anhydrite, barite, fluorite and feldspars.

Considering the petrographic and regional geological investigations, seven phases of fluid mobilisation and migration can be distinguished:

1. The oldest secondary, diagenetic minerals can be identified in geodes and intraformational breccias of the Permo-Carboniferous volcanic rocks. These minerals are related to a late hydrothermal phase of the Rotliegend volcanism. Characteristic minerals are predominating carbonates and epidote, subordinate albite, chlorite and quartz. These contain fluid inclusions of low salinity (2 - 15 wt%NaCl+CaCl<sub>2</sub>equiv.) and document temperatures of formation (Tb) of 210 - 290 °C.
- 2.-3. The next two phases of fluid activity are represented by early and late diagenetic cement minerals. fluid inclusions in anhydrite and dolomite ascribed to this phase document Tb <50 °C. At a later stage fluid inclusion Tb increased to 50 - 175 °C at high salinities of 20 - 35 wt%NaCl+CaCl<sub>2</sub>equiv.
4. The fourth fluid event represents a stage of differentiation at the end of the basin subsidence during the Upper Triassic. Besides the structural controlled system of joints, processes of intense alteration of feldspars, illitisation and chloritisation resulted in increasing permeability and porosity allowing for a system of convecting fluid to develop. Fluid inclusion in hydrothermal minerals in the joints and open fractures demonstrate a depth dependent salinity of 20 - 30 wt%NaCl+CaCl<sub>2</sub>equiv. and Tb of 60 - 270 °C. Oxygen isotopes suggest a basinal source for these fluids.
5. Fluid phases 1 to 4 can be identified throughout the basin, whereas the fifth, high temperature fluid phase with Tb of up to 350 °C is restricted to joints in volcanic rocks in the central basin and was

active during Rhaetian to Jurassic times. Salinity of these fluids is similar to that of phase 4. Gas ( $N_2$  and  $CH_4$ ) containing inclusions formed together with the ubiquitous aqueous inclusions during phase 5, demonstrating increasing mobility of gases.

6. The sixth fluid system was exclusively found in hydrothermal minerals precipitated in fractures and faults along the northern and southern margins of the basin. Fluid inclusions of this system are characterised by low  $T_b$  (c. 60 - 180 °C) and medium salinities (20 - 28 wt% NaCl+CaCl<sub>2</sub>equiv). In contrast to the geothermal gradient of 50 °C/km inferred for the centre of the basin, a high gradient of up to 70 °C/km was interpreted for the Calvoerde block. This gradient does not reflect the depth before uplift of the Calvoerde High. Oxygen isotopic data suggest a mixture of basinal brines and meteoric fluids for the fault filling minerals. High rates of Cretaceous uplift of crustal blocks induced hydraulic mixture of the fluids. Characteristic minerals formed from this fluid phase are calcite, fluorite, barite and anhydrite.
7. The latest fluid phase was only found in secondary inclusions in pore space filling minerals.  $T_b$  of 60 - 250 °C represent the phase of crustal stabilisation of the sedimentary basin. Salinities of <10 wt% NaCl+CaCl<sub>2</sub>equiv. are characteristic. This low salinity resulted in decreased fluid-rock interaction at stable mineral parageneses.

Besides the distinction of fluid phases, the fluid inclusion investigation revealed further characteristics of the basin fluid evolution. The microthermometrically determined depth dependent temperature distribution implies a partially steep geothermal gradient within the Permo-Carboniferous volcanic rocks. This can readily be explained by assuming convective or advective fluid circulation within the intensely altered volcanic rocks. It is further noteworthy that zoned euhedral quartz crystals are restricted to the volcanic rocks.

Another pattern of fluid migration is revealed by the comparison of fluid inclusion data from the NEDB with those of the sulphide vein deposits of the Harz mountains (e.g. Zheng and Hoefs 1993a,b, Lueders et al 1993a). Microthermometric, petrographic and stable isotope signatures suggest common fluid sources for both processes.

A hydrothermal event during the Jurassic (206 - 156 Ma), characterised by temperatures up to 350 °C could be demonstrated for the Permo-Carboniferous volcanic rocks in cooperation with C. Brecht and A. Schmidt Mumm

The isotopic signatures of cementing and hydrothermal minerals indicate various sources, migrational passages and fluid mixtures. A mixing of descending Zechstein related fluids with brines mobilised from Rotliegendes sandstones can be demonstrated as well as fluids related to Permo-Carboniferous volcanic rocks in the vicinity of deep seated faults and mixing of basinal brines with meteoric water. Carbon isotope ratios suggest ascending aqueous fluids derived from carbon-rich Carboniferous sediments and juvenile water.

The NEDB thus has to be seen as an open system as it is partly influenced by external fluids.

# Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Dank	II
Zusammenfassung	IV
Abstract	VI
Inhaltsverzeichnis	VIII
Abkürzungsverzeichnis	XI

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
1.1	PROBLEMSTELLUNG UND ZIELSETZUNG	1
1.2	STAND DER FORSCHUNG	2
1.3	PROBENMATERIAL UND DATENBASIS	6
	1.3.1 Auswahl der Bohrungen und des Probenmaterials	6
	1.3.2 Zustand des Probenmaterials	8
<b>2</b>	<b>GEOLOGISCHER ÜBERBLICK</b>	<b>9</b>
2.1	LAGE DES UNTERSUCHUNGSGEBIETES	9
2.2	ENTWICKLUNG DES PRÄPERMISCHEN GRUNDGEBIRGES DES NEDB	11
2.3	BILDUNG DES MITTELEUROPÄISCHEN BECKENS (MEB)	12
2.4	ENTSTEHUNG UND STRUKTURIERUNG DES NEDB	13
	2.4.1 Frühstadium	13
	2.4.2 Hauptabsenkungsstadium	15
	2.4.3 Das Differenzierungsstadium	17
	2.4.4 Das Inversionsstadium	19
2.5	DIE ROLLE DES ZECHSTEINSSALZES FÜR DIE ENTWICKLUNG DES NEDB	20
<b>3</b>	<b>METHODIK</b>	<b>22</b>
<b>4</b>	<b>PETROGRAPHIE UND DIAGENESE</b>	<b>25</b>
4.1	PROBENMATERIAL	25
4.2	DIAGENETISCH UND HYDROTHERMAL GEBILDETE MINERALE UND IHRE PARAGENESEN	25
	4.2.1 Karbonate	25
	4.2.2 Sulfate	30
	4.2.3 Quarz	31
	4.2.4 Fluorit	32
	4.2.5 Feldspäte	33
	4.2.6 Tonminerale (Illit, Chlorit, Kaolinit)	34
	4.2.7 Erzminerale	38
	4.2.8 Epidot, Orthit	39
	4.2.9 Auflösungs- und Ersetzungserscheinungen	40
4.3	SILIZIKLASTISCHE SEDIMENTE	41
	4.3.1 Konglomerate und Fanglomerate (Schuttfächerfazies)	41
	4.3.2 Sandsteine (äolische und fluviatile Fazies)	42
	4.3.3 Silt- und Tonsteine (Sabkha-Fazies)	46
	4.3.4 Prä-Perm-Sedimente	47

4.3.5	<i>Diagenese der siliziklastischen Gesteine</i>	48
4.4	KARBONAT- UND ANHYDRITGESTEINE	51
4.4.1	<i>Evaporite des NEDB</i>	51
4.4.2	<i>Klassifikation der Anhydritgesteine</i>	52
4.4.3	<i>Petrographie und Diagenese der Anhydritgesteine</i>	54
4.4.4	<i>Interpretation der petrographischen und diagenetischen Befunde</i>	56
4.5	PERMOKARBONE VULKANITE DES NEDB	57
4.5.1	<i>Nomenklatur, Petrographie und sekundäre Umwandlungen der Vulkanite</i>	59
4.6	DIAGENETISCHE UND HYDROTHERMALE MINERALPARAGENESEN UND RELATIVE ALTERSFOLGE	60
4.7	TEILZUSAMMENFASSUNG: DIAGENETISCHE MINERALBILDUNGEN	63
<b>5</b>	<b>ALTER DER FLUIDE</b>	<b>65</b>
5.1	EINLEITUNG	65
5.2	RADIOMETRISCHE ALTERSDATEN	65
5.2.1	<i>Diskussion der verschiedenen Verfahren</i>	65
5.2.2	<i>Radiometrische Altersdaten aus dem weiteren Bereich des NEDB</i>	66
5.3	RELATIVE ALTERSABFOLGE DIAGENETISCHER MINERALPARAGENESEN	67
5.3.1	<i>Alter diagenetischer Mineralbildungen</i>	67
5.3.2	<i>strukturkontrollierte Bildung hydrothermaler Kluffüllungen</i>	68
<b>6</b>	<b>CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER FLUIDE</b>	<b>71</b>
6.1	VORKOMMEN UND KLASSIFIZIERUNG VON FLUIDEINSCHLÜSSEN	71
6.2	ZUSAMMENSETZUNG WÄSSRIGER FLUIDEINSCHLÜSSE	72
6.2.1	<i>Mikrothermometrische Bestimmung der Zusammensetzung wässriger Fluide</i>	72
6.2.1.1	Allgemein	72
6.2.1.2	Chemische Zusammensetzung der untersuchten Flüssigkeitseinschlüsse	75
6.2.2	<i>Chemische Zusammensetzung der wässrigen Einschlüsse (Cryo-REM-EDX)</i>	79
6.2.2.1	Allgemeine Grundlagen der Methode: Cryo-REM-EDX	79
6.2.2.2	Chemische Zusammensetzung der Flüssigkeitseinschlüsse nach Cryo-REM-EDX	80
6.3	GAS- UND KOHLENWASSERSTOFFHALTIGE FLUIDEINSCHLÜSSE	82
6.3.1	<i>Mikrothermometrie der gashaltigen Fluideinschlüsse</i>	82
6.3.2	<i>Ramanspektroskopische Analyse gashaltiger Einschlüsse</i>	84
6.4	KOHLENWASSERSTOFFHALTIGE EINSCHLÜSSE	87
6.5	TEILZUSAMMENFASSUNG: CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG DER FLUIDE	87
<b>7</b>	<b>TEMPERATUR- UND DRUCKINFORMATIONEN</b>	<b>89</b>
7.1	HOMOGENISIERUNGSTEMPERATUREN UND IHRE VERTEILUNG	89
7.2	SEKUNDÄRE VERÄNDERUNGEN DER FLÜSSIGKEITSEINSCHLÜSSE	94
7.3	FLUIDDRÜCKE, GEOBAROMETRIE	98
7.3.1	<i>Allgemeines zur Ermittlung von Fluiddrücken</i>	98
7.3.2	<i>Modell zur Abschätzung der Paläo-Fluiddrücke im Bereich des NEDB</i>	100
7.3.3	<i>Paläo-Fluiddrücke im NEDB</i>	101
7.4	AUTHIGENE MINERALBILDUNGEN UND IHRE BILDUNGSTEMPERATUREN	106
7.4.1	<i>Druckkorrektur zur Bestimmung der Mineralbildungstemperaturen</i>	106
7.4.2	<i>Mineralzemente und ihre Bildungstemperaturen</i>	107

7.4.3	<i>Kluftminerale und ihre Bildungstemperaturen</i>	110
7.4.4	<i>Quarz-Detritus, Quarz-Matrix und deren Temperaturinformationen</i>	110
7.5	TEMPERATURDATEN ANDERER GEOTHERMOMETER	110
7.5.1	<i>Thermometrie auf Basis der Fluidchemie</i>	111
7.5.2	<i>Temperaturinformationen aus Vitrinitreflexionsdaten</i>	114
7.5.3	<i>Chlorit-Illit-Thermometrie</i>	116
7.5.4	<i>weitere Geothermometer</i>	117
7.5.5	<i>Bohrlochtemperaturen</i>	117
7.6	TEILZUSAMMENFASSUNG: FLUID-DRÜCKE UND -TEMPERATUREN	119
<b>8</b>	<b>HERKUNFT DER FLUIDE</b>	<b>122</b>
8.1	GEOCHEMIE STABILER ISOTOPE ( $\delta^{34}\text{S}$ , $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{18}\text{O}$ )	122
8.2	ALLGEMEINER UND REGIONALER RAHMEN	123
8.3	SCHWEFEL-ISOTOPEN-UNTERSUCHUNGEN	127
8.3.1.	<i>Sulfide</i>	128
8.3.2	<i>Sulfate (<math>\delta^{34}\text{S}</math>, <math>\delta^{18}\text{O}</math>)</i>	129
8.4	KOHLLENSTOFF- UND SAUERSTOFF-ISOTOPE DER KARBONATE	131
8.4.1	<i>Isotopenfraktionierung und Mineralbildungstemperaturen</i>	134
8.5	ZUSAMMENFASSEND E DISKUSSION DER ISOTOPENDATEN	136
<b>9</b>	<b>DISKUSSION DER ERGEBNISSE UND RESULTIERENDE MODELLE</b>	<b>144</b>
9.1	BECKENENTWICKLUNG UND DIAGENESE	144
9.2	FLUIDZUSAMMENSETZUNG ALS RESULTAT DIAGENETISCHER PROZESSE	145
9.3	PALÄOTEMPERATUREN UND WÄRMEFLUSS	147
9.4	PHASEN DER FLUIDENTWICKLUNG IM NEDB	149
	<b>LITERATURVERZEICHNIS</b>	<b>154</b>

**FOTOTAFELN**

**ANHANG**



## Abkürzungsverzeichnis

<u>Abkürzung</u>	<u>Beschreibung</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Beschreibung</u>
Ab	Albit	p	Druck
ABS	vermutete Avalonia-Baltica-Sutur	PBD	Isotopenstandard (Bellemnitella americana aus der Peedee-Formation)
AF	Anklam-Störung	p <sub>H</sub>	hydrostatischer Druck
anhy	Anhydrit	p <sub>L</sub>	lithostatischer Druck
Anhy	Anhydrit	p <sub>L+H</sub>	Modelldruck (lithostatischer + hydrostatischer Anteil)
Ar	Argon	prim.	primär
c	Karbon	PT	Polnischer Trog
cc	Kalzit	Q	Quarz-Typ
CDF	kaledonische Deformationsfront	qtz	Quarz
CDT	Isotopenstandard (Canyon Diablo Eisenmeteorit)	qz	Quarz
CF	kaledonische Vorsenke	R	Isotopenverhältnis
CL	Kathodolumineszenz	Rb	Rubidium
cps	Zählimpulse pro Sekunde	REM	Rasterelektronenmikroskop
Cr	Chrom	REM-EDS	Rasterelektronenmikroskop mit kombinierter Elementanalyse
cryo-REM-EDS	Gefrierapplikation am Rasterelektronenmikroskop mit kombinierter Elementanalyse	REM-EDX	Rasterelektronenmikroskop mit kombinierter Elementanalyse
D	Darcy	RL	Rheinsberger Lineament
DB	Dänisches Becken	Rn	mittlere Vitrinit-Relfektivität
Delta	Konzentrationsverhältnis der Isotope zu einem Standard	ro	Ober-Rotliegend
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft	ro	Ober-Rotliegend
dol	Dolomit	RTF	Rostock-Teterow-Störung
Dy	Dysprosium	ru	Unter-Rotliegend
EL	Elbe-Lineament	ru	Unter-Rotliegend
ET	Endteufe	SB	Sabkha-Typ
FI	Flüssigkeitseinschlüsse	SB-A	Anhydrit-Typ
FIA	Flüssigkeitseinschluss-Generation	SB-AD	Anhydrit-Dolomit-Typ
Fps	Feldspäte	SB-D	Dolomit-Typ
Gew.%	Gewichtsprozent	SEE	Selten-Erd-Elemente
GF	Gardelegener Abbruch	sek.	sekundär
h	Tiefe	SF	Stralsund-Störung
HäK	Hämatit-Kaolinit-Typ	Sm	Samarium
HF	Harznordrand-Störung	SMOW	Isotopenstandard (mittlere Ozeanwasserzusammensetzung)
Hm	Hämatit	Sr	Strontium
HRS-CL	Hochauflösende Spektroskopie der Kathodolumineszenzfarben	STZ	Sorgenfrei-Tornquist-Zone

Fortsetzung auf der nächsten Seite

<u>Abkürzung</u>	<u>Beschreibung</u>	<u>Abkürzung</u>	<u>Beschreibung</u>
IC	Illit-Hüllentyp	t	Zeit
Im	Maschen-Illit	Tb	Terbium
IM	Maschenillit-Typ	Tb	Bildungstemperatur
IQK	Illit-Quarz-Karonat-Typ	Te	Temperatur der ersten Schmelze
j	Jura	TEF	Transeuropäische Störung
JMF	Jütland-Moen-Störung	Th	Homogenisierungstemperatur
ju	Lias	TL	Tornquist-Lineament
K	Kalium	Tm	Temperatur der letzten Schmelze
kb	Karbonat, unbestimmt, fleckig, nicht auskristallisiert	Tm <sub>CL</sub>	Schmelztemperatur von Clathrat
KL	Kathodolumineszenz	Tm <sub>HH</sub>	Schmelztemperatur von Hydrohalit
L	flüssig	Tm <sub>ice</sub>	Schmelztemperatur von Eis
log	dekadischer Logarithmus	TTZ	Tornquist-Teisseyre-Zone
LV	flüssig und gasförmig	VDF	variszische Deformationsfront
LVS	flüssig, gasförmig und fest	VL	Vesser-Lineament
Ma	Millionen Jahre	WF	Wiek-Störung
Ma.%	Massenprozent	wt%	Gewichtsprozent
Mg	Magnesium	XRD	Pulver-Röntgendiffraktometrie
Mn	Mangan	XRF	Röntgenfluoreszenzanalyse
MPa	Mega-Pascal	z	Zechstein
Ms	Muskovit		
n	Anzahl		
Na	Natrium		
NDB	Norddeutsches Becken		
NEB	Niederländisch-Englisches Becken		
NEDB	Nordostdeutsches Becken		
NL	Norddeutsches Lineament		
NWDB	Nordwestdeutsches Becken		