

**Rb-Sr Alter und Sr-Pb Isotopencharakteristik von Gangmineralisationen
in paläozoischen Gesteinen am Nordrand des linksrheinischen
Schiefergebirges (Raum Stolberg-Aachen-Kelmis) und Vergleich mit den
rezenten Thermalwässern von Aachen-Burtscheid**

Von der Fakultät für Georessourcen und Materialtechnik der
Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

zur Erlangung des akademischen Grades einer

Doktorin der Naturwissenschaften

genehmigte Dissertation

vorgelegt von

Dipl. Min. Maria Chatziliadou

aus Leverkusen, Deutschland

Berichter: Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Ulrich Kramm
Univ.-Prof. Dr.rer.nat. Georg Roth

Tag der mündlichen Prüfung: 20.02.2009

Diese Dissertation ist auf den Internetseiten der Hochschulbibliothek online verfügbar

Μεταφυσικά

.....ἕτεροι δὲ τῶν αὐτῶν τούτων τὰς ἀρχὰς δέκα λέγουσιν εἶναι τὰς κατὰ συστοιχίαν λεγομένας,

πέρας καὶ ἄπειρον,
περιττὸν καὶ ἄρτιον,
ἓν καὶ πλῆθος,
δεξιὸν καὶ ἀριστερόν,
ἄρρεν καὶ θῆλυ,
ἡρεμοῦν καὶ κινούμενον,
εὐθὺ καὶ καμπύλον,
φῶς καὶ σκότος,
ἀγαθὸν καὶ κακόν,
τετράγωνον καὶ ἑτερόμηκες,.....

Ἀριστοτέλης (384 π.Χ. - 322 π.Χ.)

VORWORT

Die vorliegende Arbeit entstand am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen im Zusammenhang mit dem DFG-Forschungsvorhaben (Si810/2). Die Vorbereitung der Arbeit und die Einführung in das Thema erfolgten durch Herrn Dr. S. Sindern, Herrn PD Dr. C. Hilgers und Herrn Prof. Dr. U. Kramm, denen ich hiermit danken möchte.

Herrn Prof. Dr. U. Kramm gilt mein besonderer Dank für die Betreuung dieser Arbeit, für hilfreiche Anregungen und Diskussionen, die zum Fortgang und Abschluss dieser Arbeit geführt haben.

Herrn Prof. Dr. G. Roth möchte ich für die Übernahme des Korreferats danken.

Herrn Dr. S. Sindern danke ich für die Betreuung, Hilfestellungen und Diskussionsbereitschaft zu wissenschaftlichen Problemstellungen. Darüber hinaus danke ich ihm und Herrn R. Neef für die zahlreichen Messungen, die im Labor für Geochemie und Umweltanalytik durchgeführt wurden.

Ein ganz besonderer Dank gilt Herrn Dr. J. Schneider von der Katholischen Universität Löwen für die Zusammenarbeit, die Diskussionsbereitschaft, die zahlreichen Hilfestellungen im Isotopenlabor und die Durchführung isotopengeochemischer Messungen am Institut für Isotopengeologie und Mineralische Rohstoffe an der ETH-Zürich und dem Department of Geology and Soil Science der Universität Gent in Belgien. Für die Genehmigung zur Durchführung isotopengeochemischer Untersuchungen am Zentrallaboratorium für Geochronologie in Münster danke ich Herrn Prof. Dr. Mezger und besonders Frau Heidi Baier für ihre ständige Hilfsbereitschaft.

Herrn Dr. V. Lüders vom GFZ-Potsdam sei für die mikrothermometrischen Messungen gedankt. Herrn Dr. L. Kirschner vom Department of Earth and Atmospheric Science an der St. Louis University, USA danke ich für die Bestimmung der Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen.

Die Analysen an der Mikrosonde wären ohne die ständige Hilfsbereitschaft und Geduld von Herrn R. Klinghardt nicht möglich gewesen. Herrn T. Derichs danke ich für die Herstellung der Dünn- und Anschliffe und für seine aufmunternden Worte während dieser Zeit. Frau M. Wiechert sei für die Anfertigung des benötigten Bildmaterials und ihre herzliche und liebenswerte Art gedankt. Frau G. Siebel sei gedankt für die Röntgendiffraktometrischen Messungen, darüber hinaus der Bibliothekarin Frau. G. Günther für die Beschaffung hilfreicher Literatur.

Allen weiteren nicht persönlich genannten Mitarbeitern des Instituts für Mineralogie und Lagerstättenlehre und des Instituts für Geologie möchte ich für ihre Hilfestellung und Unterstützung danken.

Die finanzielle Unterstützung wurde vom DFG-Projekt (Si810/2) ermöglicht. Für die weitere finanzielle Unterstützung dieser Arbeit möchte ich mich beim Stipendiatenamt

der RWTH-Aachen bedanken, das mir ein Abschlussstipendium der Graduiertenförderung des Landes NRW bewilligte.

Ein ganz lieber Dank geht an Bemba, Johann, Volker, Seongje, Arif, Hassan Andre und Christian aus dem Institut. Bill dir danke ich für deine Pure Freundschaft und die langen feuchtfröhlichen und philosophischen Abende. Katerina, Maria, Fani, Argyro, Nikolas, Wassilis, Alexandros und Ilias danke ich für die aufmunternden Worte und Momente über diese schwierige Zeit.

Meinen Freunden, Landsleuten und Kollegen Fotios, Grigorios und Katerina danke ich über alles für ihre Liebe, für ihre Hilfsbereitschaft und die unzähligen heiteren und lustigen Momente im und außerhalb des Instituts. Besonders meinem immerwährenden Kindheitsfreund Fotios Risvanis danke ich aus ganzem Herzen für seine Liebe, Kraft, Unterstützung über all diese Jahre.

Mein ganz besonderer Dank gilt meinen Eltern und Geschwistern für ihre Liebe, Anteilnahme und Unterstützung in allen schwierigen und heiteren Momenten meines Lebens. Ohne sie wäre das alles nicht möglich gewesen. Σάς Αγαπώ.

An dieser Stelle sei auch gesagt, dass in meinem Leben ohne die immerwährende Kraft und Liebe Gottes alles sinnlos erscheinen würde.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Bereich der Nordeifel und ihrem nördlichen Vorland sind Gangmineralisationen unterschiedlichen Alters und unterschiedlicher Genese untersucht worden. Das Nebengestein wurde bezüglich seiner Isotopensystematik zusätzlich untersucht. Schwerpunkt war die mikrostrukturelle, geochemische und isotopengeochemische (Rb-Sr, U-Pb) Klassifizierung und Charakterisierung des diskreten Fluidflusses zur Mineralneubildung in Gängen und die Datierung (Rb-Sr) der unterschiedlichen Bildungsstadien. Die Gegenüberstellung von rezentem und variszisch/postvariszischem Fluidfluss erfolgte mit Proben der RWTH-1 Bohrung (variszisch), mit Proben aus den Pb-Zn-Mineralisationen des Raums Aachen-Stolberg-Kelmis (Schwerpunkt Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke und Vergleichsvorkommen Diepenlienchen, Albertsgrube, Thermae 2002, Bleiberg und Altenberg (postvariszisch)) und mit den Thermalwässern von Aachen-Burtscheid (rezent).

Die Bohrung RWTH-1 in Aachen wurde in den Überschiebungsgürtel der Aachen-Überschiebung abgeteuft und erreichte eine Tiefe von 2544m. Oberkarbonische, oberdevonische und unterdevonische siliziklastische Gesteine zeigen in den drei gekernten Teufenbereichen eine intensive Durchaderung unterschiedlich orientierter millimeter- bis zentimeterbreiter Gänge, die einen variszischen Fluidfluss dokumentieren. Die Gang- und Aderfüllungen bestehen aus Calcit, Dolomit, Ankerit, Quarz, Chlorit und gelegentlich Pyrit. Extreme Spurenelementkonzentrationen von Ba und Cu im Bereich der Überschiebungsbahnen werden als Ausdruck dieses Fluidflusses gesehen. Die Gänge stellen Extensionsstrukturen dar, deren mineralischer Inhalt besonders an den Gangrändern eine deformative Komponente aufweist. Chlorit weist auf Deformationsvorgänge und Rekristallisationseffekte hin, und kann als syndeformativ angesehen werden. Durch bruchhafte Deformation wurden viele Gänge mehrfach reaktiviert.

Gangchlorit aus der ersten und zweiten Kernstrecke spiegelt durch seine Zusammensetzung Temperaturen von 290 bis 370 °C wieder. Homogenisierungstemperaturen von Flüssigkeitseinschlüssen (<390°C) in den Gangmineralen (Lögering, 2008) bestätigen die Temperaturspanne. Die Temperaturen sind typische variszische Metamorphosetemperaturen am Nordrand des Rhenoherynikums (Behr et al., 1993; Muchez et al., 2000). Gangkarbonate (Calcit, Dolomit, Ankerit) zeigen unabhängig von der stratigraphischen Einheit eine ausgeprägte positive Eu-Anomalie. Diese Anomalie kann als Hinweis auf eine Karbonatbildung bei erhöhter Temperatur interpretiert werden. Der Absatz der Karbonate wird auf das Abkühlen der fluiden Phase und die pH-Änderung durch die Reaktion mit dem karbonatischen Nebengestein beim Aufstieg in das Störungssystem zurückgeführt und geht mit der Aussage von Lögering (2008) einher, dass es sich um eine abkühlende metamorphe Lösung handelt. Die deutliche Fraktionierung zwischen den leichten und schweren SEE legt nahe, dass die

mineralisierende Lösung nicht aus dem unmittelbaren Nebengestein mobilisiert wurde, sondern längere Transportwege durchlaufen hat.

Eine Altersbestimmung mittels einer Rb-Sr Isochrone ist an den Mineralphasen Chlorit und Calcit aufgrund ihrer zu allen Zeiten unterschiedlichen initialen Sr-Isotopenzusammensetzung nicht möglich. Modellrechnungen mit Hilfe einer Paläomischungslinie legen für den Chlorit ein Alter von 218 ± 15 Ma nahe (Beiss, 2008) und ähnelt damit $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Altern an Chloriten von 182 ± 18 Ma (Sindern et al., 2008). Diese Alter entsprechen nicht dem variszischen Fluidfluss. Sie spiegeln nach Beiss (2008) eine nachträgliche Alteration des Chlorits wieder.

Die initialen Sr-Isotopensignaturen der Karbonate und Chlorite aus den Gängen und des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins zeigen für karbonatische Alter eine große Varianz. In den unterschiedlichen stratigraphischen Einheiten zeigen die jeweiligen Gangminerale variierende $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen $0,71107 \pm 1$ und $0,72119 \pm 1$ für Calcit, zwischen $0,71513 \pm 4$ und $0,72628 \pm 3$ für Chlorit und zwischen $0,7049 \pm 1$ und $0,72138 \pm 1$ für den HCl-löslichen Anteil des Nebengesteins. Die große Variation in den Sr-Signaturen kann einerseits durch eine intensive Interaktion mit dem jeweiligen Nebengestein erklärt werden, oder sie ist der Ausdruck von differenzierten Fluidimpulsen mit unterschiedlichen Sr-Signaturen. Chlorit zeigt Sr-Signaturen, die immer höher radiogen sind als die der koexistierenden jeweiligen Karbonate. Chlorit wurde also nicht Zeitgleich mit den Karbonaten gebildet. Seine Sr-Isotopie beschreibt entweder eine Interaktion von fluiden Phasen mit dem Nebengestein oder eine nachträgliche Überprägung und Alteration. Initiale Sr-Signaturen des Calcits in den Gängen und des jeweiligen HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins zeigen ebenfalls eine Heterogenität, die Karbonatmaterialien wurden demnach nicht ausschließlich aus dem Nebengestein mobilisiert. Die Pb-Signaturen der Pyrite ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18,229-18,254$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15,589-15,592$) sind kennzeichnend für variszische Mineralisationen.

Im Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke tritt unterkarbonischer Kalkstein dessen Sr-Signaturen ($0,70812 \pm 1$ und $0,70817 \pm 1$) typisch für eine marine Genese sind. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte dieses Kalksteins legen eine Kohlenstoff-Herkunft aus Formationswässern nahe. Der Kalkstein weist Anzeichen von diagenetischen Prozessen in Form von feinen Verästelungsstrukturen aus Dolomit auf. Der dolomitisierte Kalkstein wird von richtungslos orientierten Karbonatgängen durchschlagen, die deutlich höhere Sr-Isotopenverhältnisse aufweisen. Das Strontium dieser Gänge wurde aus anderen Liefergebieten mobilisiert.

Die Strukturen der paläozoischen Karbonatgesteine werden von NNW-SSE verlaufenden Querstörungen durchzogen. An diese Störungen sind postvariszische Pb-Zn Gangmineralisationen gebunden. Die Gänge weisen unterschiedlich mineralisierte Zonen (1-3) auf, die auf mehrere Bruch-Versiegelungsprozesse und somit auf wiederholten Fluidtransport zurückgehen. Die brekziierte Zone 1 kennzeichnet die erste

Bruchversiegelungsphase mit einer calcitischen Matrix, in der Bleiglanzfragmente, Dolomit, Ankerit, Chalkopyrit, Bornit, Quarz und Fragmente des Nebengesteins auftreten. Die zweite Bruchversiegelungsphase besteht aus grobspätigen Calcitkristallen. Die dritte Phase ist durch eine Calcitische Matrix gekennzeichnet, in der kolloidale Zinkblende mit Einschlüssen aus Bleiglanz, Chalkopyrit und Bornit auftritt. Auffällig ist der hohe Cd-Gehalt der Zinkblende mit bis zu 6,5 Gew.-%. In einem der untersuchten Gänge treten die Bruchversiegelungsphasen spiegelsymmetrisch auf. Mittig ist der Gang mit einem feinkörnigen Volumen aus Braunkohle verfüllt, welches die vierte Versiegelungsphase kennzeichnet. Der Transport des kohligen Materials in die Mitte des Ganges ist möglicherweise durch tektonische Scherbewegungen zu erklären.

Die Homogenisierungstemperaturen von Flüssigkeitseinschlüssen in Calcit aus den Zonen 1-3 liegen zwischen 80,7 und 179,7°C. Die Temperaturen in den einzelnen Zonen unterscheiden sich deutlich. Sie lassen die komplexe Genese der Gänge erkennen. Die Salinitäten von 10,24 bis 23,08 Gew.-% NaCl-Äquivalent sind charakteristisch für postvariszische NaCl-CaCl₂-H₂O-Fluide und vergleichbar mit Salinitäten anderen Vorkommen aus der Nordeifel. Die SEE-Verteilungsmuster für Calcit der Zonen 1-3 für das karbonatische Nebengestein sind ähnlich. Alle Karbonatphasen weisen eine leicht negative Europiumanomalie auf. Von Zone 1 nach Zone 3 steigen die $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte fallen mit dem jünger werdenden Calcit von Zone 1 nach Zone 3. Die Werte sind typisch für hydrothermal entstandene Karbonate. Calcit aus Zone 3 weist $\delta^{13}\text{C}$ -Werte von -7,53 bis -8,70‰ auf. Sie können als Mischwerte von Kohlenstoff aus dem Nebengestein (Formationswässer) und Kohlenstoff aus einer anderen höher temperierten hydrothermalen Quelle verstanden werden. Kalksinterbildungen aus dem Steinbruch Hastenrath weisen ähnliche C- und O-Isotopien wie der Calcit aus der Zone 3 auf und stellen das jüngste Fluidflusspräzipitat dar.

Die mit Hilfe des Rb-Sr-Isochronensystems datierte Zinkblende aus Zone 3 besitzt ein Alter von $134,3 \pm 1,3$ Ma. Nach Odin (1994) kann die Gangvererzung an die Grenze von Jura zu Kreide eingestuft werden. Die große Variationsbreite der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen ($0,70857 \pm 2$ bis $0,71417 \pm 1$) von Calcit selbst innerhalb der einzelnen Zonen 1 bis 3 wird im Sinne komplexer Bildungsbedingungen gedeutet. Calcit aus den Zonen 1-3, Bleiglanz aus Zone 1, Zinkblende aus Zone 3 zeigen Pb-Isotopenverhältnisse die sehr ähnlich denen anderer postvariszischer Vorkommen der Nordeifel sind. Die Pb-Signaturen sprechen für eine krustale Herkunft des Bleis und eine mögliche Remobilisierung durch wiederholte hydrothermale Schübe aus mehreren gemischten und homogenisierten Quellen.

Die postvariszischen Vergleichsvorkommen Diepenlieden, Albertsgrube, Altenberg, Bleiberg und Thermae 2002 aus dem Raum Aachen-Stolberg-Kelmis weisen ähnliche Pb-Zn-Mineralisationen auf wie die Gangmineralisationen im Steinbruch Hastenrath. Es treten die Minerale Zinkblende in Form von Schalenblende, Bleiglanz, Markasit, Pyrit, Calcit, Dolomit, Ankerit, Siderit und Quarz auf. Mineralchemisch unterscheidet sich die

Zinkblende dieser Vorkommen von der Zinkblende des Steinbruchs Hastenrath durch ihre hohen Fe-Gehalte von bis zu 5,81 Gew.-%. Die wird als Ausdruck erhöhter Temperaturen während der Kristallisation gedeutet. Im Gegensatz zu den Karbonaten der Mineralisation Bleiberg die eine signifikant positive Europiumanomalie aufweisen, fehlt diese bei den Karbonaten der anderen Vorkommen. Sie zeigen eine leicht negative Europiumanomalie. Die Sr-Isotopenverhältnisse der Karbonate variieren auch in diesen Vorkommen beträchtlich. Muchez et al. (1994) beschreibt für das Vorkommen Bleiberg unterschiedliche Bruchversiegelungsgenerationen von Calcit, was mit dem Vorkommen Hastenrath vergleichbar ist. Die Pb-Signaturen von Bleiglanz, Pyrit und Zinkblende aus diesen Vorkommen sind ähnlich denen von Hastenrath und fallen ebenfalls in das von Krahn (1988) definierte Feld der postvariszischen Vererzungen.

Die mit Hilfe des Rb-Sr-Isochronensystems datierte Zinkblende aus den Vorkommen Diepenlienchen, Altenberg und Thermae 2002 ergibt identische Alter von $129,9 \pm 9,7$ Ma für Diepenlienchen, $137,1 \pm 1,7$ Ma für Altenberg und $134,5 \pm 4,1$ Ma für Thermae 2002. Nach Odin (1994) können die Gangvererzungen wie die von Hastenrath an die Grenze von Jura zu Kreide eingestuft werden. Das Alter der Vererzungen kennzeichnet zeitlich die postvariszische Bruchtektonik, während der das Gebiet der nördlichen Eifel in Schollen zerteilt wurde. Die postvariszischen Pb-Zn Mineralisationen stehen damit im Zusammenhang mit der beginnenden Öffnung des Nordatlantiks und der Protothetys die in Mitteleuropa durch eine extensive Hydrothermalaktivität und mit einer verstärkten Lagerstättenbildung gekennzeichnet sind (Mitchell & Halliday, 1976; Lancelot, 1980; Bernoulli & Lemon, 1980). Mineralisationen dieser Epoche sind europaweit durch Datierungen belegt.

Die Thermalwasservorkommen dokumentieren einen rezenten Fluidfluss im Bereich der Aachener und Burtscheider Überschiebung, entlang derer die Wässer aufsteigen. Sie bieten einen direkten Zugang zu hydrothermalen Lösungen und eignen sich zum Vergleich mit den variszischen und postvariszischen Fluidflüssen. Die Mineralisation der Wässer spiegelt unterschiedliche geochemische Prozesse wieder. Subrezente Sinterbildungen sind direkte Ausscheidungsprodukte der Thermalwässer. Die Sr- und Pb-Isotopenverhältnisse der Aachener und Burtscheider Thermalwässer ermöglichen es, eventuelle Einzugsgebiete, Transportwege und geochemische Prozesse detaillierter zu beschreiben und erweitern somit die bestehenden Genesemodelle von Pommerening (1993) und Herch (1997).

Die Wässer weisen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von $0,71607 \pm 1$ bis $0,71618 \pm 1$ auf. Sie spiegeln eine Mischung unterschiedlicher Grundwässern die wiederum an unterschiedliche Wasser-Gestein-Reaktionen teilnahmen. Die Sr-Signaturen sind deutlich radiogener als die Sr-Meerwasserisotopie während des Phanerozoikums. Als Hauptquelle für das Sr kommen prinzipiell paläozoische Evaporite, Karbonatgesteine und Siliziklastite (Ton- Silt- und Sandsteine) in Frage. Die subrezentten Sinterbildungen weisen $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von

071600±1 bis 071615±1 auf. Sie liegen im Bereich der Sr-Isotopenverhältnisse der Thermalwässer.

Die Pb-Isotopien der rezenten Thermalwässer und subrezenten Sinterbildungen von Aachen-Burtscheid streuen stark. Die große Variation kann seine Ursache in Komponenten-Mischungen unterschiedlicher Pb-Quellen haben. Die Wässer und Sinterbildungen weisen zum Teil ähnliche Pb-Isotopien auf wie die der variszischen und postvariszischen Buntmetallvererzungen aus der Nordeifel. Das Blei kann daher aus variszischen und postvariszischen Sulfidvorkommen stammen. Eine anthropogene Kontamination der Wässer kann auch nicht ausgeschlossen werden.

Der hydrothermale Fluidtransport der variszischen, postvariszischen und rezenten Vorkommen aus dem NW Rhenoharzynikum zeigt eine enge Verknüpfung zu Deformations- Überschiebungs- und Bruchbildungsprozessen. Die geochemischen und isotopengeochemischen Untersuchungen verweisen auf multiple Fluidmobilisationen und komplexe Geneseprozesse, möglicherweise auch räumlich-zeitliche Variationen zu der tektonischen Beanspruchung und Fluidbereitstellung.

ABSTRACT

Vein mineralizations of different age and formation were studied in the northern Eifel area and its foreland. The focus was put on microstructure, geochemistry and isotopic composition to characterize discrete fluid flow events and to date their generations. Samples from the geothermal well RWTH – 1 representing Variscan vein mineralizations, from the Pb – Zn vein mineralizations of the mining district Stolberg – Aachen – Kelmis with special emphasis on veins from the limestone quarry Hastenrath of Postvariscan age and from the recent thermal springs of Aachen and Burtscheid were investigated.

RWTH – 1 sank down in the town of Aachen in 2004 is situated within the Aachen fold and thrust belt and reached a final depth of 2544 m. From top to the base the bore hole exposed Upper Carboniferous, Upper Devonian and Lower Devonian carbonate and siliciclastic sediments. Three core cuts display intensive hydrothermal veining with variable orientations. These veins are mm to cm wide and represent extension structures with characteristics of deformation and recrystallization in minerals of the rim parts.

Calcite, ankerite, dolomite, chlorite, quartz and occasionally pyrite are the typical vein minerals with chlorite found along the vein margins and the carbonates generally in the centre. Crack-seal processes indicate brittle deformation and multiple reactivations of the opening.

The chemical compositions of the chlorite from veins of the first and second cored section of the well indicate formation temperatures of 290°C to 370°C. Homogenization temperatures of fluid inclusions found in the vein minerals are < 390°C (Lögering, 2008). These temperatures reflect typical Variscan metamorphic temperatures along the northern part of the Rhenohercynian fold belt (Behr et al., 1993, Muchez et al., 2000).

The precipitation of the carbonate minerals within the veins is attributed to cooling of a fluid phase and its change in pH by reaction with the carbonate-bearing wall rocks during uprise in the fault systems of the rocks (compare also Lögering, 2008).

The pronounced fractionation of rare earth elements suggests that the components of the precipitated carbonate minerals in the veins cannot be derived from the immediate wall rocks aside the veins but must have come from more distant rock volumes. Independent from the stratigraphic level these carbonates are characterized by a significant Eu anomaly which is interpreted to show a carbonate formation at increased temperatures.

Initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of calcite and chlorite of the veins cannot become identical at any times. Thus a Rb-Sr isochrone age of the mineral assemblage of the veins cannot be obtained. Model calculations for the chlorite – carbonate mineral pairs using a paleo-mixing of different Sr isotope compositions suggest a model age of 218 ± 15 Ma (Beiss, 2008) which is similar to $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ ages of the vein chlorites of 182 ± 18 Ma (Sindern et al., 2008). Of course these „ages“ do not correspond to the Variscan formation of the veins.

The initial $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of carbonate minerals and chlorite, both from the veins, and the fractions of the corresponding host rocks soluble in HCl show a considerable variation for Carboniferous times. Calcite varies from $0,71107\pm1$ to $0,72119\pm1$, Chlorite from $0,71513\pm4$ to $0,72628\pm3$ and the soluble part of the host rocks from $0,71049\pm1$ to $0,72138\pm1$. This variation in Sr composition may be an effect of intensive interaction of the fluid phase with the corresponding wall rocks of the veins but can also be interpreted as distinct fluid pulses with individual Sr compositions. In any case, since chlorite is always higher in $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ than the associated carbonates the two phases cannot be precipitated simultaneously. Chlorite may have formed by interaction of a fluid phase with the country rocks or, chlorite experienced a late alteration. Likewise, the carbonate components are not exclusively derived from the wall rocks. Pb isotope compositions of pyrite ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18,229 - 18,254$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15,589 - 15,592$) characterize the Variscan mineralizations.

The Lower Carboniferous limestone of the Hastenrath quarry shows $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of $0,70812\pm1$ and $0,70817\pm1$ which is typical for a marine formation. For the source of C $\delta^{13}\text{C}$ of this rock suggests formation waters. Diagenetic processes within this limestone are documented by small-scale branching structures composed of dolomite. The structures are cross cut by non-oriented calcite veins with Sr isotope compositions distinctly higher radiogenic than the surrounding country rocks. Sr of these veins has an unknown source.

The structures of the Paleozoic limestones are block faulted perpendicular to their strike by NW –SE trending faults which exhibit a Pb – Zn vein mineralization typical for the Stolberg – Aachen – Kelmis mining district. Three different mineralized zones can be distinguished within the veins (zones 1, 2, 3) which indicate at least three crack – seal processes and thus at least three periods of fluid flow. The brecciated zone 1 marks the first fracture sealing process. It contains fragments of galena crystals, chalcopyrite, bornite, quartz, dolomite, ankerite and blocks of the wall rocks fixed in a calcitic matrix. The second fracture sealing phase (zone 2) is composed exclusively of large crystals of calcite. Zone 3 is made of calcite which is overgrown by collomorphic sphalerite. Within this ZnS inclusions of galena, chalcopyrite and bornite are found. In parts of the sphalerite the Cd content is very high (up to 6,5 wt.-%). Within one of the investigated veins the minerals are symmetrically deposited on the limestone wall rocks. The central part of this veins contains a small filling of lignite coal. It marks the fourth fracture sealing phase. The transport of this lignite coal into the centre of the vein may be explained by tectonic shearing along the fault.

The homogenization temperatures of fluid inclusions in calcite from sealing zones 1, 2 and 3 are distinctly different. The total span covers $80,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ to $179,7\text{ }^{\circ}\text{C}$. The salinity varies from 10,24 to 23,08 wt.-% NaCl equivalent and thus are within the range of Postvariscan $\text{NaCl} - \text{CaCl}_2 - \text{H}_2\text{O}$ fluids of other occurrences of the northern margin of the

Rhenohercynian fold belt. The REE distribution patterns of calcite of zones 1, 2 and 3 are similar to those of the wall rocks. All carbonate minerals exhibit a small negative Eu anomaly indicating a reducing character of the fluid phase. $\delta^{18}\text{O}$ of calcite increases from zone 1 to zone 3, $\delta^{13}\text{C}$ decreases. The δ are characteristic for hydrothermally crystallized carbonate minerals. $\delta^{13}\text{C}$ of calcite from zone 3 (- 7,53 - -8,70 ‰) may be interpreted as a mixture of C from the wall rocks and C from a hydrothermal source higher in temperature. Late stage calcite formations in limestone caves of the Hastenrath quarry show similar C and O isotopic compositions than calcite from zone 3 of the veins.

Sphalerite from zone 3 occurrences were dated by Rb – Sr. The isochron reflects an age of $134,3 \pm 1,3$ Ma which defines a period of formation at the turn from the Jurassic to the Cretaceous.

The large range of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios for calcite even from single zone 1, 2 or 3 indicates the complex conditions of formation. The range of Pb isotope ratios of calcite of the veins, galena and sphalerite is small and very similar to other occurrences of Postvariscan mineralizations of the northern Eifel area. The Pb ratios suggest a crustal source of this lead and a possible remobilization by repeated hydrothermal pulses from mixed and homogenized sources.

Pb – Zn vein mineralizations of Diepenlienchen, Albertsgrube, Altenberg and Bleiberg in Belgium and Thermae 2002, Netherlands, represent equivalents to the mineralization of the limestone quarry Hastenrath. Sphalerite in its collomorphic appearance, galena, pyrite, marcasite, the carbonates calcite, dolomite, ankerite and siderite, and quartz are prominent minerals. In contrast to Hastenrath the sphalerite here is rich in Fe (< 5,81 wt.-%). This Fe enrichment is interpreted to show elevated temperatures during crystallization. Carbonate minerals of Bleiberg are characterized by a positive Eu anomaly while the other occurrences show negative Eu's.

The Sr isotope compositions of carbonates vary considerably, and similar to Hastenrath also for Bleiberg several fracture sealing generations of calcite are recognized (Muecher et al., 1994). The Pb isotope compositions of galena, sphalerite and pyrite plot into the field of Postvariscan mineralizations defined by Krahn (1988) as do these minerals of Hastenrath.

The Rb–Sr systematics date the crystallization of sphalerite to $129,9 \pm 9,7$ Ma for Diepenlienchen, to $137,1 \pm 1,7$ Ma for Altenberg, and to $134,5 \pm 4,1$ Ma for Thermae 2002. Thus, within the limits of error, all these vein-type Pb – Zn mineralizations of the mining district Stolberg – Aachen – Kelmis took place at the turn from the Jurassic to the Cretaceous as defined by Odin (1994). This age marks a time of block faulting in Central Europe which is related to phases of opening of the North Atlantic Ocean. It is characterized by intensive hydrothermal activities and a wide-spread formation of ore deposits.

The thermal spring waters along the Aachen and the Burtscheid thrust system document recent fluid flow. Their chemical composition is used here for a comparison with the Variscan and Postvariscan fluid flows. The mineralizations of the springs reflect several geochemical processes. Subrecent sinter formations are a direct segregation product of the springs. Catchment areas, transport routes and geochemical enrichment and depletion processes can be modelled by new Sr and Pb isotope compositions of the thermal water and, thus, are used to refine the genetic models of Pommerening (1993) and Herch (1997).

The $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ of the thermal water ranges from $0,71607\pm 1$ to $0,71618\pm 1$ and reflects mixtures of several ground water types which took part in different water-rock interactions. In any case, the Sr compositions are distinctly more radiogenic than sea water during the whole Phanerozoic. Sr sources of the Aachen and Burtscheid waters will be Paleozoic siliciclastic and carbonate rocks, possibly also evaporitic sediments. The spring precipitations exhibit $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ ratios of $0,71600\pm 1$ to $0,71615\pm 1$ which falls into the range of Sr compositions of the waters.

Pb isotope compositions of the spring waters and their precipitations scatter over a wide range. This scatter may be caused by complex mixing of different ground waters characterized by different Pb sources. This is suggested since Pb compositions of the Variscan and Postvariscan ore deposits described above scatter in a very similar way. An anthropogenic contamination of the springs by lead, however, cannot be excluded.

The Variscan, Postvariscan and recent fluid flow documented for the NW Rhenohercynian belt is correlated to deformation processes, block faulting and fold and thrust processes. The results of geochemical and isotope investigations presented here refer to multiple fluid mobilizations and complex genetical processes which are related to spatial – temporal variations of tectonics and fluid supply.

INHALTSVERZEICHNIS

Abbildungsverzeichnis	i
Tabellenverzeichnis	viii
1. Einleitung	1
2. Geologie des Arbeitsgebiets	5
2.1 Überblick	5
2.2 Bohrung RWTH-1	7
2.3 Postvariszische Vererzungen vom Typ Aachen-Stolberg und Bleiberg-Altenberg	12
2.3.1 Hastenrath	12
2.3.2 Grubenfeld Diepenlienchen	13
2.3.3 Albertsgrube	14
2.3.4 Bleiberg	15
2.3.5 Altenberg	16
2.3.6 Thermae 2002	17
2.4 Thermalquellen Aachen-Burtscheid	18
3. Probennahme und Analysenmethodik	20
3.1 Probennahme	20
3.1.1 Bohrung RWTH-1	21
3.1.1.1 Bohrspülungen	21
3.1.1.2 Bohrklein und Bohrspülexperiment	22
3.1.1.3 Bohrkern	23
3.1.2 Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke	24
3.1.3 Vergleichende Vorkommen aus dem Raum Aachen-Stolberg-Kelmis	24
3.1.4 Thermalwasserquellen Aachen-Burtscheid	24
3.1.4.1 Thermalwasserproben	24
3.1.4.2 Gesteins- und subzezente Sinterproben aus den Quellvorbrüchen der Landesbadquelle	26
3.2 Analysenmethodik	27
4. Ergebnisse	31
4.1 Bohrung RWTH-1	31
4.1.1 Geochemie des Bohrprofils und Klassifizierung der Gesteine	31
4.1.2 Petrographie und Mikrostrukturen der Kluftfüllungen und ihres Rahmens	37
4.1.3 Mineralchemie der Gangmineralisationen	46
4.1.4 Isotopengeochemie	50
4.2 Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath	54
4.2.1 Aufschlussverhältnisse	54
4.2.2 Petrographie	56
4.2.2.1 Petrographie des Visè-Kalksteins	56
4.2.2.2 Petrographie der Kalksinter	59
4.2.2.3 Vitrinitreflektivität kohligter Substanzen	59
4.2.2.4 Petrographie der Gangmineralisationen	61
4.2.2.5 Mineralchemie	67
4.2.2.5.1 Subvertikale Gänge	67
4.2.2.5.2 Karbonatgänge im Nebengestein	73
4.2.2.5.3 Dolomitisierte Visé-Kalkstein	74

4.2.2.5.4 Kalksinter	75
4.2.2.6 Verteilungsmuster der Seltenerdelemente (SEE)	76
4.2.2.7 Flüssigkeitseinschlüsse	78
4.2.2.8 Stabile Isotope	81
4.2.2.9 Radiogene Isotope	84
4.2.2.9.1 Sr-Isotopensignaturen von Gangkarbonaten und Nebengestein	84
4.2.2.9.2 Pb-Isotopensignaturen von Gangmineralisationen	86
4.2.2.9.3 Rb-Sr Datierung von Zinkblende	87
4.3 Vergleichsvorkommen	89
4.3.1 Petrographie und Mineralchemie	89
4.3.2 Radiogene Isotope	94
4.3.2.1 Sr-Isotopensignaturen von postvariszischen Gangkarbonaten	94
4.3.2.2 Pb-Isotopensignaturen von postvariszischen Erzmineralen	95
4.3.2.3 Rb-Sr Datierung von Zinkblende	96
4.4 Thermalwässer Aachen-Burtscheid	100
4.4.1 Physikochemische Parameter	100
4.4.2 Hydrochemische Parameter	100
4.4.3 Petrographie und Mineralchemie der Rahmengesteine aus den Aachener und Burtscheider Quellaustritten	102
4.4.3.1 Kalksteinproben der Landesbadquelle Burtscheid	102
4.4.3.2 Karbonatische Mineralneubildungen der Landesbadquelle Burtscheid	103
4.4.3.2.1 Seltene Erdelemente (SEE)	105
4.4.4 Radiogene Isotope	106
4.4.4.1 Sr-Isotopensignaturen der rezenten Aachen- Burtscheider Thermalwässer und deren Präzipitate	106
4.4.4.2 Pb-Isotopensignaturen der rezenten Thermalwässer und deren Präzipitate	108
5. Diskussion	110
5.1 Zeitliche Einordnung der Fluidfluss-Ereignisse im NW Rhenoharzynikum	110
5.2 Variszischer Fluidfluss in Gesteinen der Bohrung RWTH-1	113
5.3 Genetisches Modell der postvariszischen Gangbildungen im Steinbruch Hastenrath	116
5.4 Geochemischer Vergleich des Bleiglanz-Zinkblende Vorkommens Hastenrath mit anderen postvariszischen Pb-Zn-Mineralisationen des Raums Stolberg-Aachen-Kelmis	124
5.5 Geochemie der rezenten Thermalwässer von Aachen-Burtscheid und ihrer Subrezentem Sinterbildungen	126
6. Literaturverzeichnis	132
Anhang	145

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

- Abb. 2.1:** Geologische Übersichtskarte des NW Bereichs der Rhenoharzynischen Zone. Umgezeichnet nach Stroetmann-Heinen (1999). 5
- Abb. 2.2:** Strukturgeologische Karte des Arbeitsgebiets in der Nördlichen Eifel. Umgezeichnet nach Knapp (1980). 1=Bohrung RWTH-1, 2=Rosenquelle Aachen, 3=Kaiserquelle Aachen, 4=Rosenquelle Burtscheid, 5=Landesbadquelle Burtscheid, 6= Steinbruch Hastenrath, 7= Bohrung Albertsgrube, 8= Steinbruch Diepenlienchen, 9-11=Bohrungen Bleiberg, 12= Bohrung Thermae 2002, 13= Galmeilagerstätte Altenberg. 8
- Abb. 2.3:** Tektonische Karte der nördlichen Eifel um Aachen und der Lokation der RWTH-1 Bohrung. Umgezeichnet nach Steingrobe (1990). 9
- Abb. 2.4:** Stratigraphie der RWTH-1 Bohrung. Nach: 1) Basierend auf Kurzbeschreibungen: Vorbohrung (0-20 m) durch den Geologischen Dienst NRW, (2002); Bohrkleinbeschreibung /Mudlog, Oesterreich, GD NRW, (2004); Kernbeschreibung, Oesterreich, GD NRW,(2004). 2) Illustrationen (Ribbert): i)Lithoprofil 1:1000 basierend auf Bohrklein und Log-Interpretationen (R. Pechnig, RWTH-Aachen) (2005); ii) Lithoprofile der ersten Kernstrecke (1:400), der zweiten Kernstrecke (1:100) und der dritten Kernstrecke (1:50). 3) Digitalisierung: Becker, (2008). 11
- Abb. 2.5:** Stratigraphisches Säulenprofil der unterkarbonischen Gesteine. Im Steinbruch Hastenrath sind Gesteine aus dem Tournais und Visé aufgeschlossen. Umgezeichnet nach Kasig (1980). 12
- Abb. 2.6:** Lithostratigraphisches Profil der Bohrung Albertsgrube 1. Nach Krahn et al., (1986). 15
- Abb. 2.7:** Strukturgeologische Karte der Umgebung von Bleiberg mit Angabe der von Redecke (1992) untersuchten Bohrungen A-D, aus denen die hier untersuchten Proben stammen. 16
- Abb. 2.8:** Ausschnitt aus dem lithostratigraphischem Profil der Bohrung Thermae 2002. Umgezeichnet nach Redecke (1992). 17
- Abb. 2.9:** Geologische Übersichtskarte und Lage der Aachener-Burtscheider Thermalquellen, Verändert nach Knapp (1980). 18
- Abb. 3.1:** Spurenelementverteilung der genutzten Bohrspülungen (BS1-BS4) während der RWTH-1 Bohrung. 22
- Abb. 3.2:** Bohrspülexperiment einer Bohrkleinprobe (Probennummer: 2449) aus der RWTH-1 Bohrung. Veränderung der Spurenelementgehalte während der Reinigung der Probe in einem Ultraschallbad. 23
- Abb. 3.3:** Grundriss der Quellschale der Landesbadquelle Burtscheid. 25
- Abb. 3.4:** Beprobung der Thermalquellwässer Aachen-Burtscheid. a. Kaiserquelle Aachen. b. Landesbadquelle, Vorbruch D. c. Landesbadquelle Aachen, Schacht, der zum Vorbruch A führt. d. Landesbadquelle Aachen; Quellaustritt des Vorbruchs A und Sinterbildung am anstehenden Frasn-Kalkstein. e. Landesbadquelle Aachen; Tiefenquelle. f. Landesbadquelle Aachen; Austritt von Quellgasen in der Tiefenquelle, horizontale Bildkante beträgt 1m. g. Landesbadquelle Aachen; Sinterbildung in den Quellschalen, horizontale Bildkante beträgt 30 cm. 26
- Abb. 4.1:** Klassifizierung der terrigenen Ton- und Sandsteine der RWTH-1 Bohrung (nach Herron, 1988). Zum Vergleich sind Daten der karbonischen und devonischen Sedimente aus dem rechtsrheinischen Rhenoharzynikum nach Schulz-Dobrick & Wedepohl (1983) eingetragen. 32

- Abb.4.2:** a. Variation der Kationenverhältnisse $\text{Si}/3-(\text{Na}+\text{K})$ gegen $\text{K}/(\text{Al}-\text{Na})$. b. Variation der Kationenverhältnisse $\text{K}/(\text{Al}-\text{Na})$ gegen $(\text{Fe}+\text{Mg})/(\text{Al}-\text{Na})$ nach De la Roche et al. (1980). Dargestellt sind die Daten der RWTH-1 Gesteine, getrennt für das Oberkarbon, Oberdevon und Unterdevon. Zum Vergleich sind Daten von Karbonischen und Devonischen Sedimenten aus dem rechtsrheinischen Schiefergebirge nach Schulz-Dobrik & Wedepohl (1983) und die Positionen von Chlorit (Chl), Biotit (Bio), Hellglimmer (MS/II)(MS/2), Plagioklas (Pgl), Quarz (Qz) und Kalifeldspat (K-Fsp). eingetragen. **34**
- Abb.4.3:** Verteilung der Spurenelemente Ni, Cr, Cu, Zn und Ba in der Bohrung RWTH-1 Die Rhenoharzynischen Mittelwerte der Elemente Cr, Zn und Ba sind in den jeweiligen Diagrammen durch Linien gekennzeichnet (Weitere Erläuterungen siehe Text). **36**
- Abb.4.4:** Bohrkernproben aus der Bohrung RWTH-1 in Aachen. Die Mineralisationen treten in Form von Gängen und Konkretionen auf. a. Konkretionen aus Anhydrit mit Coelestineinschlüssen b. Quarz-Karbonat-Gang. c.e.g.i. Quarz-Karbonat-Chlorit Gänge. d.f. Chlorit-Quarz Gänge. h. Pyritader mit Chloritsaum. j. Quarzgang. **37**
- Abb.4.5:** a. Dolomitierter Kalkstein mit Dolomit-Rhomboedern und Drucklösungssäumen in linear polarisiertem Licht (Probe MC20). b. Ton-Silt-Feinsandstein aus der ersten Kernstrecke (Probe MC99). Zu erkennen sind eingeschaltete Tonlagen mit feinen Quarzkristallen, die entlang der Schieferung orientiert sind (linear polarisiertes Licht). c. Fossilführendes Ton-Silt Gestein unter gekreuzten Polarisatoren (Probe KS105). **38**
- Abb.4.6:** Unterschiedliche Karbonatgänge, zum Teil mit Chlorit Anwachsungen. Gangbildung aus der ersten Kernstrecke. a.b.c.d.f.g.h. unter gekreuzten Polarisatoren. e. unter linear polarisiertem Licht. a.e.f.h. Probe MC30. b.d. Probe MC32. c. Probe KS99. g. Probe MC97. Weitere Erläuterungen zu den Bildern im Text. **40**
- Abb.4.7:** a.b. Quarz-Gänge aus der ersten Kernstrecke. a. Quarz-Gang durchschlägt einen Karbonat-Chlorit Gang, unter gekreuzten Polarisatoren (Probe MC112). b. Quarz-Gang mit Chlorit Saum, unter gekreuzten Polarisatoren (Probe MC112). **41**
- Abb.4.8:** a,b,c,d,e,f : Quarz-Karbonat-Chlorit Gänge aus Gesteinen der ersten und zweiten Kernstrecke der Bohrung RWTH-1. Alle Dünnschliffbilder unter gekreuzten Polarisatoren. a. Probe MC107. b. MC32. c. MC67. d. MC108. e.f. KS114. Erläuterungen siehe Text. **42**
- Abb.4.9:** Proben aus der ersten Kernstrecke. a.b.c.d. Druckschatten entlang von Pyritkorngrenzen. a.b.c. unter gekreuzten Polarisatoren. d. unter Linear Polarisiertem Licht. a. Probe MC112. b. Probe MC113. c.d. Probe MC120. Erläuterungen siehe Text. **43**
- Abb.4.10:** Dünnschliffbilder unter gekreuzten Polarisatoren. a.b. Chlorit Adern und Gänge. c.d.e. Gänge, die durch Scherung einen Versatz aufweisen. a.b. Probe MC87. c. MC82. d.e. MC34. Weitere Erläuterungen siehe Text. **44**
- Abb.4.11:** a.b.c.d. Gangmineralisation aus Calcit, Dolomit und Quarz im oberdevonischen Dolomit der ersten Kernstrecke der Bohrung RWTH-1, in linear polarisiertem Licht (a, c) und unter Kathodenstrahlung (b, d) Probe MC30. e.f.g.h. Quarz-Calcit Gänge in einer Matrix aus Ton- Siltstein der ersten Kernstrecke unter gekreuzten Polarisatoren (e, g) und unter Kathodenstrahlung (f, h). Probe MC112. Erläuterungen siehe Text. **45**
- Abb.4.12:** Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit in Gängen der RWTH-1 Bohrung in den Systemen Ca-Mg-(Fe+Mn) und Mg-Fe-Mn in (Mol.-%). **47**
- Abb.4.13:** Graphische Darstellung von $X_{\text{Fe, dol}}$ aufgetragen gegen $X_{\text{Mg, cc}}$. Angezeigt wird die Bildungstemperatur der auftretenden Berührungsparagenesen von Dolomit und Calcit in den Karbonatgängen der RWTH-1 Bohrung. Die Punkte liegen überwiegend zwischen den 300 und 350°C Kurven (nach Powell et al., 1984). **47**
- Abb.4.14:** Verteilungsmuster der SEE in Calcitgängen der RWTH-1 Bohrung in Aachen. Werte sind auf C1 nach McDonough & Sun (1995) normiert. **48**

- Abb.4.15:** Chemische Zusammensetzung der untersuchten Chlorite aus der Bohrung RWTH-1, Aachen (Klassifikation nach Hey, 1954). 49
- Abb.4.16:** $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der untersuchten Proben von Karbonat, Chlorit, Anhydrit und HCl-löslichem Anteil des Nebengesteins aus der Bohrung RWTH-1, Aachen gegen die Teufe aufgetragen. 51
- Abb.4.17:** Pb-Isotopie der untersuchten Pyrite aus der Bohrung RWTH-1, Aachen. Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen. 53
- Abb.4.18:** a. Gangscharen in der NW Aufschlusswand der Hastenrather Kalkwerke. Makroskopisch sind seigere Gänge (d) und verfüllte Karsttaschen/verfüllte Spalten zu erkennen (b, c). 54
- Abb.4.19:** Repräsentativ entnommene Probenstücke aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. a. Subvertikaler zementierter Gang (Gang 1=symmetrischer Aufbau) im Kalkstein. Er besteht aus Karbonatischen- und Sulfid- Phasen. Mittig tritt eine Kluft auf, die verfüllt ist mit inkohäsiem organischem Material (Braunkohle). b, c. Die Gänge 2 und 3 verlaufen Parallel zu Gang 1. Sie weisen einen ähnlichen Strukturaufbau wie Gang 1 auf. Gang 3 ist unter Aufschlussverhältnissen um 90° im Uhrzeigersinn aufgeschlossen. d. Nebengesteinprobe mit faserigen Quarz-Karbonat Gängen. e. Als jüngste Karbonatphase treten Kalksinter auf, die auf das Nebengestein angewachsen sind. Zu erkennen sind Kalksinteranwachssäume und Calcit-Nadeln. Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Qz=Quarz, Znb=Zinkblende, Bgl=Bleiglanz, Ks=Kalkstein. 55
- Abb.4.20:** Details der Kalksteine des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke. Probe HR20. Rahmengestein der subvertikalen Gänge aus Oolithen in einer sparitischen Matrix (a) unter Kathodenstrahlung und (b) unter linear polarisiertem Licht. Probe HR22. Calcitkristalle, die von feinen Kalzitadern durchzogen werden unter Kathodenstrahlung (c) und unter linear polarisiertem Licht (d). Probe HR20 Dolomitisierte Bahnen im oosparitischen Nebengestein unter Kathodenstrahlung (e) und unter linear polarisiertem Licht (f). Probe HR19. Lamellen aus Dolomit mit unterschiedlicher Lumineszenz (g) und idiomorphe Quarze unter Kathodenstrahlung (g) und unter linear polarisiertem Licht (h). Der Calcit unterscheidet sich durch die gelbe Lumineszenzfarbe (g). Probe HR23 mit einer Quarz-Zone unter Kathodenstrahlung (i) und unter gekreuzten Polarisatoren (j). Weitere Erläuterungen siehe Text. 57
- Abb.4.21:** Vitritpartikel aus den Proben HR28 (a) HR29 (b). a. Vitritpartikel und Erzfragmente wie Bleiglanz in der Probe HR28. b. Bruchstücke von Calcit und Dolomit zusammen mit Vitritpartikeln in der Probe HR29. 59
- Abb.4.22:** Vitritreflexion (Rr%) im Verhältnis zur Temperatur (°C), für die Proben HR28 und HR29. 60
- Abb.4.23:** Subvertikaler Gang des Gangs 1 im unterkarbonischen Kalkstein. Dünnschliffprofil des mineralisierten Profils unter linear polarisiertem Licht. Erläuterungen siehe Text. Ks=Kalkstein, Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Bgl=Bleiglanz, Znb=Zinkblende. 61
- Abb.4.24:** Füllung subvertikaler Gänge im Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath. a.c. Zinkblendegang aus der Zone (3) unter linear polarisiertem Licht, (HR1). b. Calcitkristalle (Zone 1) mit Zwillingslamellen und Dolomit in Rhomboederform unter gekreuzten Polarisatoren (HR4). d. Chalkopyrit Einschluss in Bleiglanz (Zone 1), Auflichtmikroskopie (HR10). e. Bleiglanzkristall in Zone (1) unter gekreuzten Polarisatoren (HR4). f.g. Idiomorphe Dolomitrhomboeder (Zone 1) mit einem Ankeritsaum unter gekreuzten Polarisatoren (HR5). h. Idiomorphe Quarzkristalle (Zone 1) mit festen Einschlüssen unter gekreuzten Polarisatoren (HR3, HR4). Znb=Zinkblende, Bgl=Bleiglanz, Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Ank=Ankerit, Qz=Quarz. 62
- Abb.4.25:** Mineralische Füllung subvertikaler Gänge im Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath. a.b.c.d. Probe HR10. Grobspätige Kalzitkristalle (Zone 2) unter Kathodenstrahlung (b,d) und in linear polarisiertem Licht (a,c).

e.f.g.h. Probe HR4. Dolomitkristalle mit Ankeritsäumen unter Kathodenstrahlung (f,h) und in linear polarisiertem Licht (e,g). Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Bgl=Bleiglanz. **64**

Abb.4.26: Mineralische Füllung subvertikaler Gänge im Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath. a.b. Probe HR13. Zinkblendegang unter Kathodenstrahlung (b) und in linear polarisiertem Licht. c.d. Probe HR10. Calcit-Wachstumszonen unter Kathodenstrahlung (d) und unter linear polarisiertem Licht (c). e.f. Probe HR14. Sanduhrzonierung von Calcitkristallen unter Kathodenstrahlung (f) und in linear polarisiertem Licht (e). Cc=Calcit, Znb=Zinkblende. **65**

Abb.4.27: Karbonatgänge in den Proben HR16 und HR17. Facettierte Calcitkristalle in richtungslos orientierten Gängen des Nebengesteins unter Kathodenstrahlung (b,f) und in linear polarisiertem Licht (a,e). c.d. Probe HR5. Calcit-Dolomit-Gänge im Nebengestein unter Kathodenstrahlung (d) und in linear polarisiertem Licht (c). Ks=Kalkstein, Cc=Calcit, Dol=Dolomit. **66**

Abb.4.28: Calcitzusammensetzung in Gang 1 des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke über die Zonen 1-3 (n=413). Die mit rot gekennzeichneten Punkte weisen vergleichsweise auf die Gehalte der Kalksteinfragmente in Zone 1 hin. Für weitere Erläuterungen siehe Text. Ks=Kalkstein, Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Znb=Zinkblende. **68**

Abb.4.29: Elektronenrückstreu-bild von Calcitkristallen in Zone 1 und 2 des Gangs 1, Steinbruch des Hastenrather Kalkwerke. In Zone 1 (brecciert) ist eine Felderzonierung zu erkennen. Hier treten auch Bruchstücke von Dolomitkristallen auf. Die Mineralchemie des Calcits in den jeweiligen Zonen variiert (siehe Abb.4.28). **69**

Abb.4.30: Graphische Darstellung der Spurenelement-Gehalte in Calcit des Gangs 1, Zonen 1-3 und des Nebengesteins, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. **69**

Abb.4.31: BSE-Bilder der Proben HR3, HR4, HR7, HR8 aus den Gängen 1-3 der Profilzone 1, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. a.b. Dolomitfragmente mit einem Ankeritsaum in einer calcitischen Matrix. Ankeritsäume sind idiomorph ausgebildet (HR3, HR4). c. Zonierung des Ankeritsaums (HR7). d. Dolomitfragment mit verfüllten Rissen aus Ankerit (HR8). Dol=Dolomit, Cc=Calcit, Ank=Ankerit. **70**

Abb.4.32: a. Zusammensetzung der Dolomit/Ankerit-Mineralisation in den Gängen 1, 2 und 3, im System Mg-Fe-Mn (Mol-%). b. Zusammensetzung der Dolomit/Ankerit-Mineralisation in den Gängen 1, 2 und 3, im System Ca-Mg-(Fe+Mn) (Mol-%), Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. **71**

Abb.4.33: Graphische Darstellung von $X_{\text{Fe, dol}}$ aufgetragen gegen $X_{\text{Mg, cc}}$. Angezeigt wird die Bildungstemperatur der auftretenden Berührungsparagenesen von Dolomit und Calcit in den Gängen 1, 2 und 3, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. Die Punkte sind alle deutlich unterhalb der 300°C Kurve. (nach Powell et al., 1984). **71**

Abb.4.34: Elementkartierung der Zinkblende an der Elektronenstrahlmikrosonde. Probe HR1 aus der Zone 1, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. Ein BSE-Bild und die maximale Verteilung der Elemente Zn, Cd und Ca werden dargestellt. Erläuterungen siehe Text. **72**

Abb.4.35: Richtungslos orientierte Calcitgänge im Kalkstein des Steinbruchs der Kalkwerke Hastenrath. BSE-Bilder. a. Zonierte Calcitadern im Nebengestein (HR16). b. Fein verästelte Adern von Dolomit/Ankerit im Nebengestein (HR20). c. Dolomitfragmente im Nebengestein mit zonierten Ankeritsäumen (HR20). d. Idiomorphe Quarzkristalle im Dolomit (HR20). Ks=Kalkstein, Dol=Dolomit, Cc=Calcit, Ank=Ankerit, Qz=Quarz, Ccp=Chalkopyrit. **74**

- Abb.4.36:** a. Chemische Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit im Visè-Kalkstein von Hastenrath im System Mg-Fe-Mn (Mol-%). b. Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit im im Visé-Kalkstein im System Ca-Mg-(Fe+Mn) (Mol-%). 75
- Abb.4.37:** Verteilungsmuster der SEE in Karbonatischen Gängen (subvertikaler Gang 1, richtungslos orientierte Karbonatgänge), Unterkarbonischem Kalkstein, und Kalksintern des Steinbruchs Hastenrath. Die Werte sind auf den Chondrit C1 nach McDonough & Sun (1995) normiert. 76
- Abb.4.38:** Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in den Karbonatphasen der Gangmineralisation, und des Nebengesteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. 77
- Abb.4.39:** Flüssigkeitseinschlüsse in Calcitkristallen. a. Intergranulare primäre Trails von Flüssigkeitseinschlüssen in Calcitkristallen. Die H₂O-Einschlüsse sind zum Teil zweiphasig und zeigen sehr variable Füllungsgrade (Zone 2, Probe HR2). b. Sekundäre ein- und zweiphasige Einschluss-Zonen entlang von Korngrenzen, die während einer Rekristallisation gebildet wurden (Zone 2, Probe HR6). c. Zweiphasige wässrige Einschlüsse mit sphäroidalen, ellipsoidalen und länglichen Formen (Zone 3, Probe HR5). d. In Wachstumszonen von Kristallen erkennt man eine deutliche Anreicherung von einphasigen und zweiphasigen Einschlüssen (Zone 1, Probe HR4). 78
- Abb.4.40:** a. T_h- NaCl-Äquivalent Diagramm primärer, pseudosekundärer und sekundärer Fluideinschlüsse im Calcit der untersuchten Profil-Zonen 1-3. Die untersuchten Einschlüsse unterscheiden sich deutlich in ihrer Homogenisierungstemperatur. b. T_h-T_m Diagramm der Einschlüsse im Calcit der Profil-Zonen 1-3. 80
- Abb.4.41:** Häufigkeitsverteilung der Salinität (NaCl-Äquivalent [Gew.-%]) primärer, sekundärer und pseudosekundärer Fluideinschlüsse im Calcit der untersuchten Profilzonen. 80
- Abb.4.42:** Sauerstoff ($\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$)- und Kohlenstoff ($\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$)- Isotopie der untersuchten Kalksteine, Kalksinter, dolomitisierten Kalksteine, richtungslos orientierten Calcitadern im Kalkstein, Calcit aus Zone 1-3 und Dolomit aus der Zone 1 des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerken. 82
- Abb.4.43:** a. Variationen der $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ - Isotope in unterschiedlichen Gesteinen, Wässern, der Atmosphäre und der Biomasse. b. Variation der $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Isotope in unterschiedlichen Gesteinen, Wässern, der Atmosphäre und der Biomasse (nach Rollinson, 1993). 83
- Abb.4.44:** a. Variation der (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)-Signaturen in den Gangkarbonaten (Calcit und Dolomit), Kalksintern und Kalksteinen des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke. b. (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr)-Signaturen und Sr-Konzentrationen in Calcit und Dolomit der Zonen 1-3 aus den Gängen 1-3. 84
- Abb.4.45:** Pb-Isotopie von Calcit (Zonen 1-3), Bleiglanz (Zone 1) und Zinkblende Residuum Proben mit hellen und dunklen Fraktionen der Zone 3 der subvertikalen Gänge, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen. 86
- Abb.4.46:** Rb-Sr Isochronendiagramm der Zinkblende Residuum Proben (R), deren Eluate der Flüssigkeitseinschlüsse (L), der Calcite aus den Profilzonen 1 bis 3 und der Dolomite aus der Zone 1. Die mit (d) gekennzeichneten Proben stellen die dunklen Fraktionen der Zinkblende dar, die mit (h) die hellen Fraktionen. Es ergibt sich eine Isochronengerade, deren Steigung einem Alter von $134 \pm 1,3$ (2 σ) Ma entspricht. Für die Berechnung der sochrone wurden 4 Residuum Zinkblendeproben und eine kogenetische Calcitprobe einbezogen. Das ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-Initialverhältnis beträgt dabei $0,71142 \pm 0,00002$. 88
- Abb.4.47:** a.b. Probe DIP1, Diepenlienchen: Zinkblendeschalen mit Bleiglanzsäumen grenzen an Calcit, unter planpolarisiertem Licht (a) und unter Kathodenstrahlung (b). c.d. Probe DIP2, Diepenlienchen: Sideritkorngrenzen unter gekreuzten polarisatoren (c) und unter Kathodenstrahlung (d). e.f. Probe DIP1,

Diepenlienchen: Korngrenze zwischen Zinkblende mit Quarz- und Calcit-Einschlüssen und Dolomit unter Planpolarisiertem Licht (e) und unter Kathodenstrahlung (f). Probe BB1, Bleiberg: Calcitkristalle mit Zinkblendeneinschlüssen und Quarz unter gekreuzten Polarisatoren (g) und unter Kathodenstrahlung (h). i. Probe ALB2, Albertsgrube: Zinkblendenschalen mit Calciteinschlüssen unter Kathodenstrahlung. j. Handstückprobe ALT4, einer Zinkblende (Schalenblende) aus Altenberg. k. Handstückprobe TH1, Thermae 2002 Bohrung, Zinkblende in Form von Schalenblende. l. Handstückprobe BBG1, Bleiberg, Bleiglanz mit Calciteinschlüssen. m. Handstückprobe (27)ALB5, Albertsgrube, Zinkblendengänge in Calcit. **91**

Abb.4.48: Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in Karbonaten (Calcit/Dolomit) aus den postvariszischen Mineralisationen der Vergleichsvorkommen Diepenlienchen (DIP2, DIP(A11), DIP1, DIP1 (A19)), Albertsgrube (ALB27, ALB34) und Bleiberg (BB25, BB32). Für die Graphische Darstellung wurden die Seltenerdelemente auf den Chondrit I nach MgDonough und Sun (1995) normiert. **92**

Abb.4.49: $Sr_{konz.} - (^{87}Sr/^{86}Sr)$ -Verhältnisse von Calcit und Dolomit der Vorkommen Bleiberg, Albertsgrube und Diepenlienchen. **94**

Abb.4.50: Pb-Isotopie der untersuchten Erzminerale aus den Vorkommen Bleiberg, Albertsgrube, Thermae 2002 und Altenberg. Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen. **95**

Abb.4.51: Rb-Sr Isochronendiagramm der Zinkblende-Residuum-Fraktionen (R) der Proben DIP1, DIP3 und DIP4 (Diepenlienchen) der Eluate der Flüssigkeitseinschlüsse (L) und der Gangkarbonate. Die mit (mf) gekennzeichneten Proben stellen farbliche Mischfraktionen dar, die mit (df) die dunkelbraunen Fraktionen, die mit (hf) die hellgelben Fraktionen. Für die fünf Residuum-Zinkblendefraktionen ergibt sich eine Isochrone, deren Steigung einem Alter von $129,9 \pm 9,7$ (2σ) Ma entspricht. Das $^{87}Sr/^{86}Sr$ -Initialverhältniss beträgt $0,7111 \pm 0,0010$. **97**

Abb.4.52: Rb-Sr Isochronendiagramm der Zinkblende-Residuum-Fraktionen (R) der Probe ALT4 (Altenberg), der Eluate der Flüssigkeitseinschlüsse (L) und der Markasitfraktionen (Fraktion 2 ist eine Residuum Probe). Die ZnS Fraktionen 1, 3 und 6 sind dunkelbraun, die Fraktionen 4 und 7 hellgelb. Für die fünf Zinkblende-Residuum-Fraktionen und die Markasit Residuum-Probe ergibt sich eine Isochrone, deren Steigung einem Alter von $137,1 \pm 1,7$ (2σ) Ma entspricht. Das $^{87}Sr/^{86}Sr$ -Initialverhältniss beträgt $0,71160 \pm 0,00007$. **98**

Abb.4.53: Rb-Sr Isochronendiagramm der Zinkblende-Residuum-Fraktionen (R) der Probe TH-1 (Thermae 2002) und deren Eluate der Flüssigkeitseinschlüsse (L). Die Fraktion 1 ist eine Mischfraktion, 2 und 3 sind hellbraune, 5 ist eine dunkelgelbe und 6 ist eine dunkelbraune Fraktion. Es ergibt sich eine Isochronengerade aus drei Zinkblendenfraktionen, deren Steigung einem Alter von $134,5 \pm 4,1$ (2σ) Ma entspricht. Das $^{87}Sr/^{86}Sr$ -Initialverhältniss beträgt dabei $0,71115 \pm 0,00028$. **99**

Abb.4.54: Korrelation von Temperatur [°C] und Calciumgehalt [mg/l] in den Aachener und Burtscheider Thermalwässern. **101**

Abb.4.55: a. b. Dünnschliffbilder des Frasne-Kalksteins der Landesbadquelle Burtscheid. a. Probe TWD1, gekreuzt Polarisatoren. Mineralneubildungen (Cc1, Cc2) und Stylolith-Drucklösungssäume im Kalkstein (Ks). b. Probe TWD2, gekreuzte Polarisatoren. Feinkörniger Kalkstein (Ks) mit Mineralneubildungen aus Calcit (Cc1) und einem Anschnitt einer Koralle. c. Probe TWD1, gekreuzte Polarisatoren. Feine Calcitadern (Cc1) im Kalkstein (Ks) und senkrecht dazu Stylolithen (Sty) d. Probe TWD1, gekreuzte Polarisatoren. Sinteranwachssaum aus Calcit (Cc2). e. Probe TWD2, gekreuzte Polarisatoren. Hypidiomorpher Calcit (Cc1) mit Zwillingsbildung. **102**

Abb.4.56: a. Geometrie von deformierten Zwillingslamellen im Calcit, entstanden durch unterschiedliche Temperaturen (nach Burkhard, 1993). b. Calcit (Cc1)-Zwillingslamellen des Typs III in Probe TWD2. **103**

- Abb.4.57:** Elektronenrückstreubilder der Proben TWD1 und TWD2 der Landesbadquelle Burtscheid. a. Probe TWD2. Große unregelmäßig zonierte Calcitkristalle (Cc1) mit Fe-armen Kernen und Fe-reichen Säumen. b. Probe TWD2. Fleckig zonierte Calcitadern (Cc1) mit Versatz im Kalkstein (Ks). c. Probe TWD1. Sr-reiche subrezente Sinteranwachssäume aus Calcit (Cc2). **104**
- Abb.4.58:** Normierte Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in Calcit Cc1 (TWD2) und Sinteranwachssaum Cc2 (TWD1) aus der Landesbadquelle sowie Quellsinter (TW10) aus Aachen. Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältniss der jeweiligen Probe ist ebenfalls indiziert. **105**
- Abb.4.59:** Variation der ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)- Verhältnisse in Abhängigkeit von der Sr-Konzentration für die rezenten Aachener und Burtscheider Thermalwässer. **106**
- Abb.4.60:** ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)-Signaturen aufgetragen gegen die Sr-Konzentrationen in den Quellsintern von Aachen, den Sinteranwachssäumen der Landesbadquelle Burtscheid und den Calcitgängen aus der Landesbadquelle Burtscheid. Die Symbolgrößen übertreffen deutlich die analytischen Fehlerbreiten. **107**
- Abb.4.61:** Pb-Isotopie der untersuchten Thermalwässer und Sinterproben aus Aachen und Burtscheid. Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen. **109**
- Abb.5.1:** Schematische Darstellung des Genesemodells für die NNW-SSE verlaufenden subvertikalen Gänge des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke. **117**
- Abb.5.2:** $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) - $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) Diagramm mit der isotopischen Zusammensetzung unterschiedlicher Karbonate aus unterschiedlichen Reservoirs. Die Werte für sedimentäre Karbonate sind von Hudson (1977) und Baker und Fallick (1989), für hydrothermale Karbonate des Mississippi Valley- Typs von Richardson et al. (1988). Die als Literaturwerte gekennzeichneten Felder stellen Daten von variszischen und postvariszischen hydrothermalen Mineralisationen aus dem Raum Aachen-Stolberg (Redecke, 1992; Rottke, 1994; Lögering, 2008) dar. Eigene Werte sind mit den jeweiligen Signaturen gekennzeichnet. **119**
- Abb.5.3:** Darstellung von Temperatur-Zusammensetzung (Fe/Fe+Cu) im Phasendiagramm des Systems Cu-Fe-S. Für weitere Erläuterungen siehe Barnes, (1979). Die Chalkopyrit- Einschlüsse zeigen eine Zusammensetzung von 0,45-0,46 Fe/Fe+Cu, hier gekennzeichnet mit gestrichelter Linie. **120**
- Abb.5.4:** Diagramm der Salinitäten (NaCl-Äq. in Gew.-%) variszischenr und postvariszischer Fluide aufgetragen gegen die Homogenisierungstemperatur (T_h) von Flüssigkeitseinschlüssen. Dargestellt sind die eigenen Ergebnisse aus den Zonen 1-3 (Hastenrather Steinbruch) und vergleichende Literaturwerte von variszischen und postvariszischen Vorkommen aus der Nordeifel (Behr et al., 1987; Redecke, 1992; Behr et al., 1993; Muchez et al., 1994; Glasmacher et al., 1995; Muchez et al., 1998; Muchez et al., 2000; Lögering, 2008). **122**
- Abb.5.5:** Schematische Darstellung der Beiträge aus verschiedenen lithologischen Einheiten und geochemischen Prozessen, die zur Zusammensetzung der Aachener und Burtscheider Thermalwässer führen. Das genetische Modell von Pommerening (1993) und Herch (1997) wurde mit eigenen Daten im Rahmen dieser Arbeit erweitert (gekennzeichnet mit hervorgehobener Schrift). **127**
- Abb.5.6:** $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}/^{204}\text{Pb}$ -Darstellung von variszischen und postvariszischen Sulfiden, Karbonaten und Thermalwässern (Feld C) aus der Nordeifel. Literaturwerte für variszische (Feld B) und postvariszische (Feld A) Mineralisationen der Nordeifel nach Large et al. (1983), Krahn (1988), Redecke (1992), Schneider (1994) und Signaturen von devonischen und karbonischen Sedimentgesteinen der Nordeifel (Feld D), zurückgerechnet auf 180 Ma nach Schneider (1994). **130**

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1.1: Zusammenfassung der Mineralisationsphasen im Rheinischen Schiefergebirge.	3
Tabelle 3.1: Übersicht der untersuchten Pb-Zn Mineralisationen im Raum Aachen-Stolberg-Kelmis unter Angabe der Art und des Alters des Nebengesteins.	20
Tabelle 3.2: Spurenelementgehalte (ppm) der eingesetzten Bohrspülungen (BS1-BS4) und Bohrspülungszusätzen (BSZ1-BSZ2), bezogen auf Trockenbestand.	21
Tabelle 3.3: Übersicht der petrographischen, mineralchemischen und isotopengeochemischen Untersuchungen an den jeweiligen Vorkommen. *Petrographische Analytik, **Chemische Analytik. Die in der Tabelle benutzten Kürzel der Minerale/Gesteine/Wässer werden im Abkürzungsverzeichnis (Anhang, Abschnitt-A) erläutert.	30
Tabelle 4.1: Spurenelement-Gehalte in Calcit des Gangs 1, Zonen 1-3 und des Nebengesteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.	69
Tabelle 4.2: Rb- und Sr- Isotopenmessungen vom leicht löslichen Anteil der unterkarbonischen Kalksteine. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.	85
Tabelle 4.3: Physikochemische Parameter der Quellwässer Aachen und Burtscheid.	100
Tabelle 4.4: Hydrochemische Parameter der Quellwässer Aachen und Burtscheid (in mg/l).	101
Tabelle 4.5: Chemische Zusammensetzung der Calcitgänge (Cc1) und der subrezenten Sinteranwachssäume (Cc2) aus Calcit. Mittelwerte (MW, n=56).	104
Tabelle 4.6: Rb- und Sr- Konzentrationen, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ - und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - Verhältnisse des des HCl-löslichen Anteils der Frasn-Kalksteine, aus der Landebadquelle Burtscheid, Vorbruch A.	107

1. EINLEITUNG

In der Aachener Innenstadt, zwischen dem Hauptgebäude der RWTH am Templergraben und dem Bergbaugebäude in der Wüllnerstraße, wurde von Juli bis Dezember 2004 eine 2544 m tiefe Bohrung zur Erschließung von Erdwärme für die innovative Energieversorgung des geplanten Studienfunktionalen Zentrums "SuperC" abgeteuft. Die Erstellung einer tiefen Erdwärmesonde wurde als Demonstrationsprojekt im Rahmen des Life III-Environment-Programmes von der Europäischen Union und durch das REN-Förderprogramm des Landes Nordrhein-Westfalen gefördert und durch die interdisziplinäre Projektgruppe der RWTH Aachen "SuperC Geotherm" geplant und realisiert.

Die geowissenschaftliche Begleitforschung zur Aachener Geothermie-Bohrung wurde in Kooperation zwischen den verschiedenen geowissenschaftlichen Instituten der RWTH Aachen und dem Geologischen Dienst NRW initiiert. Ziel der DFG finanzierten Forschungsarbeiten war es, den faziell-geologischen Entwicklungsprozess des Aachener Untergrundes vor dem regionaltektonischen Hintergrund zu verstehen und mit Schwerpunkten in der Erforschung des Wärme-, Fluid- und Stofftransports, heute und in der geologischen Vergangenheit, übertragbare Ergebnisse für anderer Standorte abzuleiten. Gegenstand der vorgelegten Arbeit ist in diesem Konvolut von Fragestellungen die Datierung von geologischen Fluidfluss-Ereignissen im Raum Stolberg-Aachen-Kelmis und ihre geochemische Charakterisierung mit Schwerpunkt Isotopen-Charakteristik.

Als Ausdruck wiederholter Fluidfluss-Ereignisse treten im Rheinischen Schiefergebirge verschiedene Typen variszischer und postvariszischer Mineralisation auf, die an drei wesentliche Perioden hydrothermaler Aktivität gebunden sind (Behr et al., 1987; Hein & Behr, 1994): (i) Synsedimentäre Mineralisation des präorogenen Extensions- und Riftstadiums, (ii) Mineralisationen des syorogenen Kompressionsstadiums (variszische Gänge) und (iii) Mineralisationen des postorogenen Extensionsstadiums (postvariszische Gänge und Impregnationen).

Die Zweigliederung in variszische und postvariszische Mineralisation wurde durch Kriterien wie Mineralchemie, isotopische Signaturen, Fluidcharakteristika und Verteilungsmuster von organischen Spurengasen untermauert (Behr & Gerler, 1987; Behr et al., 1987; Krahn, 1988; Erlinghagen, 1989; Krahn and Friedrich, 1991; Hein, 1993; Jochum et al., 1994; Krahn and Baumann, 1996; Jochum et al., 1997). Die variszischen Mineralisationen sind an großräumige Fluidmigrationen metamorphogener tektonischer Fluide (tectonic brines) im Zuge der Faltungs- und Überschiebungstektonik der variszischen Kollisionsphase gebunden, während die postvariszischen Mineralisationen auf Fluidbewegungen hochsalinarer Basement-Fluide (basement brines) entlang von tiefreichenden Störungszonen in Zusammenhang mit der postorogenen

Extensionstektonik zurückgeführt werden (Behr et al., 1993; Hein & Behr, 1994). Rezente Mineralisationen sind im Zusammenhang mit Thermal- und Mineralwasserquellen bekannt (Glasbergen, 1985; Krings & Langguth, 1987; Pommerening, 1993; Herch, 1997; Lünenschloss, 1998). Mit Hilfe geologischer, hydrogeologischer und hydrochemischer Untersuchungen wurden verschiedene Modelle zur Genese erstellt (Pommerening, 1993; Herch, 1997; Möhring & Pommerening, 2000).

In den Kernstrecken der Bohrung RWTH-1 wurden zahlreiche, mineralisch monotone Quarz-Chlorit-Calit Mineralisationen beobachtet. Flüssigkeitseinschlüsse mit geringer Salinität (<9 Gew.-% NaCl-Äquivalent) zeigen Homogenisierungstemperaturen von 280-370°C (Lögering, 2008). Sowohl hinsichtlich des Temperaturbereichs als auch hinsichtlich der Salinität entsprechen die Flüssigkeitseinschlüsse und damit die Mineralisationen dem Typus der variszisch gebildeten Hydrothermalgänge (Behr et al., 1987).

Bielicki und Tischendorf (1991) geben ein aus Pb-Isotopenanalysen abgeleitetes Alter für die Vererzung im Aachener Raum (bei Stolberg und Kelmis) von 260 Ma (oberes Perm) an, während andere Vererzungen im Jura angesiedelt werden (Boness et al., 1990; Glasmacher 1994; Glasmacher et al. 1995; Germann et al., 1995; Schneider et al., 1999). Muchez et al. (1994) weisen für MVT-Vererzungen in Belgien fünf verschiedene Phasen der aus meteorischen Wässern mineralisierten Zementation nach. Diese in devonischen und karbonischen Sedimenten vorkommenden, mesozoischen Pb-Zn Vererzungen wurden in einem Temperaturbereich von 50-125°C aus Na-Ca-Cl Fluiden ausgefällt. Hinweise auf höhere Temperaturen finden sich in anderen Mineralneubildungen. So beschreibt Redecke (1992) Dickit-Neubildungen bei 130–150°C sowie Chloritneubildungen in einer Kluft im Namur (Bohrung Schwalmtal 1), die Temperaturen zwischen 240-260°C dokumentieren. Aufgrund von Pb-Isotopien von Vererzungen konnte auf mittel- und oberdevonische Sedimente als Herkunft rückgeschlossen werden (Cauet and Weis, 1983; Cauet et al., 1982). Dies wurde für die Buntmetallvererzung im linksrheinischen Schiefergebirge detailliert durch Krahn (1988) bestätigt. Die signifikanten Unterschiede der Pb-Isotopensignaturen zwischen variszischen und postvariszischen Mineralisationen lassen sich durch die wiederholte Mobilisation von Pb aus den paläozoischen Sedimenten der Umgebung erklären. Zum Teil war es möglich, durch direkte Datierung von Gangkomponenten oder indirekte Datierung alterierter Nebengesteine Mineralisationsalter zu bestimmen (Jakobus, 1992; Haack and Lauterjung, 1993; Hagedorn and Lippolt, 1993; Schneider et al., 1999; Schneider et al., 2003).

Besondere wirtschaftliche Bedeutung im Aachener Raum hat die variszische und postvariszische Vererzung. Vererzungen treten da auf, wo Querstörungen Karbonatgesteine des Oberdevons oder Unterkarbons schneiden (Redecke, 1992). Untergeordnet sind Vererzungen an Schichtgrenzen zwischen klastischen und karbonatischen Gesteinen sowie an NE-SW streichende Auf- und Überschiebungen gebunden. Die Grube Bleiberg und die Galmeilagerstätte in Altenberg bei Kelmis zählen zu den bedeutenden Gruben auf belgischem Gebiet. Bedeutende Pb-Zn Erzlagerstätten auf deutschem Gebiet sind im Aachen-Stolberger Revier die Grube Diepenlieden und die Albertsgrube. Diese Buntmetallmineralisationen sind in der Vergangenheit durch das Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen intensiv geochemisch und mineralogisch untersucht worden (Gussone, 1964, Krahn, 1988, Redecke, 1992, u.a.).

Danach ergeben sich für die zwei Mineralisationsphasen die in Tabelle 1.1 zusammengestellten Charakteristika. Im Bereich nördlich der Aachener Überschiebung finden sich Hinweise auf variszische (Bohrung Viersen 1001) und postvariszische Vererzungen (Bohrung Thermae 2002 bei Valkenburg; Bohrung Schwalmtal 1; Vererzung in Gesteinen des Namur; Steinkohlenbergbau zwischen Aachen/Stolberg und Bleiberg/Altenberg) (Redecke, 1992).

Tabelle 1.1: Zusammenfassung der Mineralisationsphasen im Rheinischen Schiefergebirge.

Variszisch	Postvariszisch
<i>Strukturen:</i>	
Tektonische Beanspruchung nach Mineralisation	
Bindung an variszische Strukturen (Scherflächen, Störungen)	Überwiegend entlang N-S, seltener entlang NW-SE oder W-E gerichteter Bruchstrukturen
<i>Erzmineralassoziationen:</i>	
Sphalerit (Fe-reich), Pyrit, Arsenopyrit, Gersdorffit, Ag-reiche Fahlerze, Galenit, Chalkopyrit	Sphalerit (Fe-arm), Sphalerit-Schalenblende, Galenit (Ag-arm), Pyrit, Markasit, Chalkopyrit, Bornit
<i>Kluftfüllungen:</i>	
Quarz, Siderit, Calcit, Dolomit	Calcit, Dolomit, Ankerit, Quarz
<i>Fluidchemismus:</i>	
Hoher CO ₂ -Gehalt, niedrige – mittlere Salinität, T = 165 – 326 °C	Salinitäten variabel, überwiegend hoch, T < 250 °C

Die postvariszischen Pb-Zn-Gangvorkommen vom Typ Aachen-Stolberg und Bleiberg/Altenberg sind an NW-SE verlaufende Quer- und Diagonalstörungen gebunden, die die variszisch gefalteten NE-SW streichenden Sedimentgesteine des Paläozoikums der Nordeifel durchsetzen (Redecke, 1992; Krahn, 1988).

Die rezenten Thermalwässer der Region Aachen-Burtscheid sind vielfach hydrogeologisch und hydrogeochemisch bearbeitet worden (Pommerening, 1993; Herch, 1997; Möhring und Pommerening, 2000). Pommerening (1993) entwickelte mit Hilfe thermodynamischer Berechnungen für die Aachener Thermalwässer das Modell eines Grundwasserfließsystems. In diesem System sind einerseits das heiße, hoch mineralisierte Thermalwasser und andererseits geringer mineralisierte oberflächennahe Grundwässer beteiligt. Berechnungen mit Geothermometern zeigten, dass das Thermalwasser sehr schnell aus großen Tiefen von mehr als 3000 m aufsteigt. Dieses Tiefengrundwasser wurde aufgrund von Wasserstoff- und Sauerstoff-Isotopenuntersuchungen als meteorisch bezeichnet und anhand von ^{14}C Isotopen mit 20.000 Jahren datiert (Pommerening, 1993; Herch, 1997). Pommerening belegte seine Theorie mit der räumlichen Abgrenzung hydrogeochemischer Zonen im Aachener Stadtgebiet.

In der vorliegenden Arbeit werden Isotopensignaturen der Rb-Sr und U-Pb-Systeme genutzt, um petrologische und geochemisch klassifizierte Mineralneubildungen zu charakterisieren und unterschiedliche Bildungsstadien zu datieren. Ein besonderer Augenmerk wird auf den diskreten Fluidfluss in Klüften/Gängen gelegt. Die Mikrostrukturen der Kluftfüllungen werden in Zusammenhang mit dem Fluidfluss gesetzt und stellen in den Proben wichtige Indikatoren für die tektonische Entwicklung dar. Die isotopengeochemische Charakterisierung der Mineralneubildungen erlaubt Aussagen über die Herkunft der fluiden Phase und damit über die Entwicklung und Veränderung der hydrothermalen Systeme. Mit Hilfe der isotopengeochemischen Datierung werden Zeitmarken in diese Entwicklung gesetzt. Die Datierung wird an Mineralneubildungen (Erzparagenesen, Gangart) vorgenommen. Dabei bietet sich das Zerfallssystem Rb-Sr an, welches die Nutzung eines Isochronenverfahrens erfordert. Unter der dominierenden Erzmineralen ist die Zinkblende durch Fluid-Fest Verteilungseigenschaften für Rb und Sr gekennzeichnet, die bei geringen Konzentrationen erhöhte Rb-Sr- Verhältnisse erwarten lassen (Pettke and Diamond, 1996). Dies erlaubt die Anwendung des Rb/Sr-Isochronenverfahrens.

Die Gegenüberstellung von rezentem und variszisch/postvariszischem Fluidfluss erfolgt überwiegend an Proben der: i) rezenten Thermalwässer Aachen-Burtscheid, ii) RWTH-1 Bohrung in Aachen (variszischer Fluidfluss), iii) Kalkwerke Hastenrath im Aachen-Stolberger Raum (postvariszischer Fluidfluss). Der Schwerpunkt der Untersuchungen liegt auf den Mineralisationen des Steinbruchs der Kalkwerke Hastenrath.

Zusätzlich wurden Bohrproben aus Bleiberg-Altenberg (Galmeilagerstätte) in Belgien, Thermae 2002 in den Niederlanden, Proben der Grube Diepenlienchen und Proben der Bohrung Albertsgrube 1 aus dem Aachen-Stolberger Raum, die im Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen vorlagen, analysiert.

2. GEOLOGIE DES ARBEITSGEBIETS

2.1 Überblick

Die mitteleuropäischen Varisziden sind im Rahmen eines orogenen Zyklus zwischen 400-270 Ma entstanden und lassen sich in 3 Einheiten verschiedener sedimentär-magmatischer und tektono-metamorpher Geschichte gliedern (Walter, 1995). Im Norden bilden die Ardennen, das Rheinische Schiefergebirge sowie der Harz das Rhenoherynium, das vorwiegend aus gefalteten devonischen und karbonischen Sedimentgesteinsfolgen besteht. Sie stellen den aufgeschlossenen Teil des nördlichen Falten- und Überschiebungsgürtels der mitteleuropäischen Varisziden dar.

In Abbildung 2.1 ist eine Geologische Übersichtskarte des NW Bereichs der Rhenoherynischen Zone dargestellt. Nach Walter (1995) ist in der Rhenoherynischen Zone die Ausbildung der Devon- und Unterkarbonsedimente weitgehend bestimmt durch epikontinentale und hemipelagische Ablagerungsverhältnisse. Der größte Teil der klastischen Sedimentfolgen des Unterdevons ist aus nördlich gelegenen kaledonischen Hebungsgebieten abzuleiten. In den Ardennen überlagern sie kaledonisch gefaltetes Kambroordoviz diskordant.

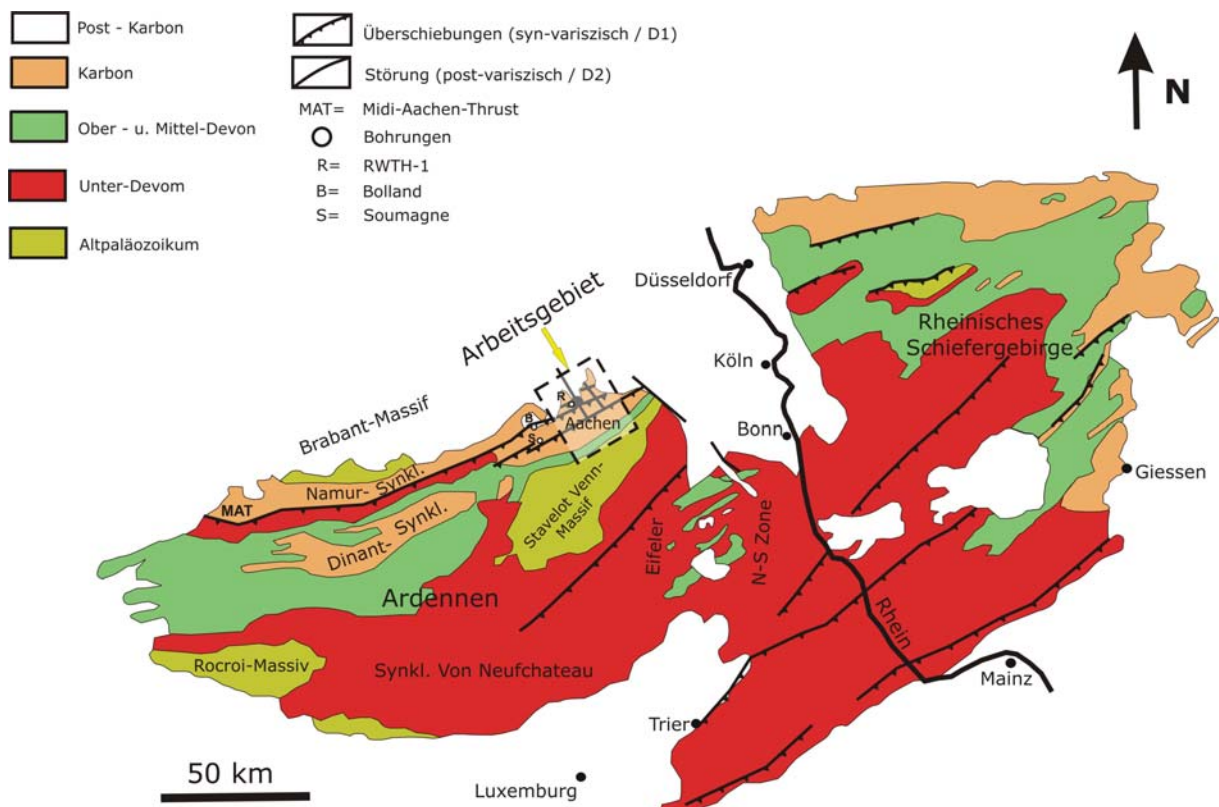


Abb. 2.1: Geologische Übersichtskarte des NW Bereichs der Rhenoherynischen Zone. Umgezeichnet nach Stroetmann-Heinen (1999).

Die weite Verbreitung mittel- und oberdevonischer Riffe und unterkarbonischer karbonatischer Plattformsedimente im Nord- und Nordwestteil der Rhenoharzynischen Zone wie auch in ihrem weiteren nördlichen Vorland belegen die kontinentale Natur ihres Fundaments.

Die sedimentäre Entwicklung des Rheinischen Schiefergebirges (Links- und Rechtsrheinisches Schiefergebirge) lässt sich vom Kambrium bis heute verfolgen. Die vordevonischen Sedimentationsgesteine sind Ablagerungen eines flachen Meeresraumes, der sich von Südengland bis über das Schiefergebirge verfolgen lässt (Walter, 1995). Während der kaledonischen Orogenese kommt es letztendlich zu einer Heraushebung der abgelagerten Sedimente. Es entsteht durch die Kollision von Laurentia und Fennosarmatia der Old-Red-Kontinent (Ziegler, 1988; Weber, 1986; Meyer, 1986).

Im Unterdevon dominieren fluviatile bis deltaische Ablagerungen, die vom Old Red Kontinent aus in das Sedimentbecken progradieren. Südlich der Stavelot-Venn-Decke sind marine Einflüsse nachweisbar (Meyer, 1986). In der Siegen-Stufe (Meyer & Stets, 1980) sind weiter nach Süden über das Venn-Massiv, den Eifeler Hauptsattel, südlich der Siegener Hauptaufschiebung bis nördlich der Mitteldeutschen Schwelle verschiedene Faziesräume mit unterschiedlichen Mächtigkeiten sandig-toniger Sedimente entwickelt.

Der Nordrand des altpaläozoischen Basements des Ardennen-Massivs und somit die Venn-Decke wird von der variszisch streichenden Venn-Überschiebung gebildet (Von Winterfeld, 1994). Nordwestlich der Basalüberschiebung der Monschau-Zone sind die Kernschichten an der Venn-Überschiebung deckenartig um mehr als 10 km auf die anschließende Inde-Mulde aufgeschoben (von Winterfeld, 1994). Die Inde-Decke gehört zur subvariszischen Saumsenke und wird wie der Aachener Schuppensattel und die Wurm-Mulde analog zu an der Oberfläche aufgeschlossenen bekannten Strukturen des nordwestlichen Vorlandes in Deckeneinheiten einer thin-skinned-Tektonik zugeordnet. Die Überschiebungsbeträge erreichen mehr als 10 km (von Winterfeld, 1994). Die Inde-Decke wurde bei der Eilendorfer Überschiebung auf den nordwestlich anschließenden Aachener Schuppensattel überschoben, der durch tektonische Teilstörungen (von SE nach NW: Burtscheider-, Haal-Oppener- und Aachener-Überschiebung) gegliedert wird. Die Aachener Decke ist wiederum auf die Wurm-Mulde mit Überschiebungsweiten von 20-25 km überschoben, so dass diese die eigentliche Orogenfront des variszischen Gebirges im Linksrheinischen Schiefergebirge darstellt (von Winterfeld, 1994). Der nordwestliche Teil der Ardennen-Rheinischen Masse wurde während des variszischen Orogenese am Detachment der Faille du Midi-Eifelienne-Aachener Überschiebung rampenartig auf das London-Brabanter-Massiv befördert (Meyer, 1986; Dekorp Research Group, 1991).

Im Vergleich zum Unterdevon kam es im Mitteldevon in der Nordeifel und in der Eifeler Nord-Süd-Zone zu karbonatischer Sedimentation. Nordwestlich der heutigen Eifel-Kalkmulden wird die Karbonatfazies durch einen regressiven Zyklus von einer psammitisch-pelitischen Fazies unterbrochen.

An der Wende von Mittel- zu Oberdevon bildeten sich auf den ausgedehnten Schelfplattformen im nördlichen Venn-Vorland Riff-Kalke, deren Wachstum sich während des Oberkarbons fortsetzte. Gesteine des Oberdevons und des Karbons sind auf das nördliche Venn-Vorland beschränkt. Die Riffbildung hält im Bereich der Eifel-Kalkmulden mit lokal stark differenzierten Faziesbereichen an (Meyer et al., 1977). Im Unterkarbon lag noch ein deutlicher Teil der Eifel im Bereich der ausgedehnten Karbonatplattform mit ausgebildeter Kohlenkalkfazies. Der NW-Rand der Eifel gehörte noch im Oberkarbon zur subvariszischen Vortiefe. Der Einflusswechsel zwischen Land und Meer führte zur Ablagerung von klastischen Sedimenten mit Kohlenflözen. Die Faltung der Inde-Mulde erfolgte gegen Ende des Oberkarbons (Ahrend et al., 1978; Meyer, 1986).

Zu Beginn des Perms bildeten sich durch Hebung innerhalb des Gebirges einzelne Schollen, zwischen denen wenige kleine gestreckte Sedimentationsräume zurückblieben. Diese wurden im Rotliegend unter wüstenähnlichen Bedingungen mit grobklastischem Schutt aufgefüllt.

Vom Beginn des Tertiärs an kam es zur Absenkung der Niederrheinischen Bucht entlang eines bis heute aktiven NNW- SSE streichenden Störungssystems (Walter, 1995; Meyer, 1986).

2.2 Bohrung RWTH-1

Die Bohrlokation RWTH-1 befindet sich am Nordrand des Hohen Venns im Übergangsbereich zwischen SW-NE streichendem, variszischen Grundgebirge der Ardennen und der seit dem Tertiär einsinkenden Niederrheinischen Bucht (Abb.2.2). Sie liegt in einem Gebiet mit aktiver Extensionstektonik und Fluidfluss mit Förderung mineralisierter Thermalwässer (von Winterfeld, 1994).

Markante strukturelle Elemente sind neben dem NW vergenten variszischen Faltenbau, zwei variszische Überschiebungen (Aachener und Burtscheider Überschiebung), die einen Imbrikationsfächer bilden. (Abb.2.3).

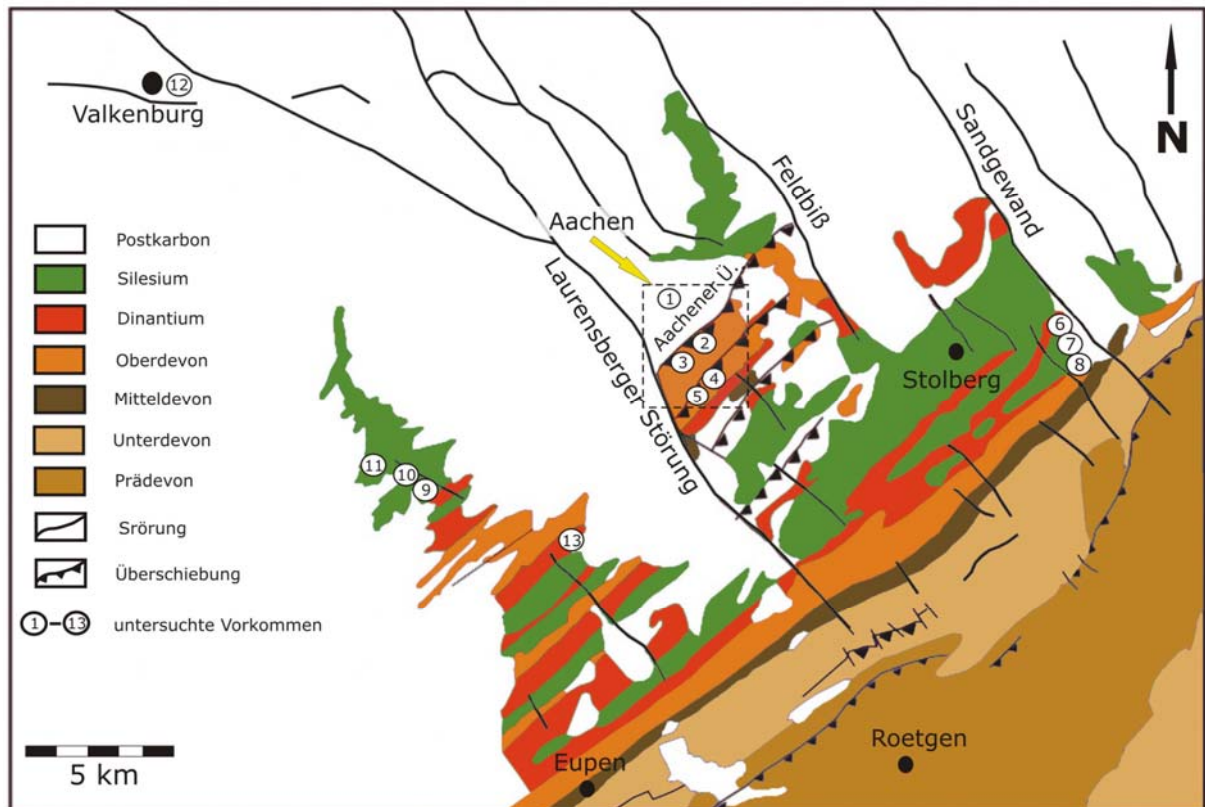


Abb. 2.2: Strukturgeologische Karte des Arbeitsgebiets in der Nördlichen Eifel. Umgezeichnet nach Knapp (1980). 1=Bohrung RWTH-1, 2=Rosenquelle Aachen, 3=Kaiserquelle Aachen, 4=Rosenquelle Burtscheid, 5=Landesbadquelle Burtscheid, 6= Steinbruch Hastenrath, 7= Bohrung Albertsgrube, 8= Steinbruch Diepenlienchen, 9-11=Bohrungen Bleiberg, 12= Bohrung Thermae 2002, 13= Galmeilagerstätte Altenberg.

500 m südlich der Bohrung befindet sich die Aachener Überschiebung, in einer Entfernung von ca. 550 m in westlicher Richtung liegt der Laurensberger Sprung, ein bis ins Karbon verfolgbares, NW-SE streichendes Abschiebungssystem mit wechselnden Einfallsrichtungen (Wrede, 1985). Der Laurensberger Sprung wird von einigen parallelen bis subparallelen Störungen begleitet. Entlang der Aachener Überschiebungsbahn wurden entsprechend dem bilanzierten Modell von Von Winterfeld (1994) die devonischen und karbonischen Einheiten der Aachener und Inde-Decken in NW Richtung auf die karbonischen Einheiten der Wurm-Mulde aufgeschoben. Im Gegensatz zu diesem Modell von Von Winterfeld (1994) vermuten Ribbert & Wrede (2000) eine zusammenhängende Struktur ohne Deckentektonik. Das Modell von Becker (2008) weist Unterschiede zu den bisher vorhandenen Modellen auf. Ein signifikanter Unterschied ist das Fehlen von devonischen und karbonischen Karbonatgesteinen und mitteldevonischen Gesteinen in der Bohrung RWTH-1, im Gegensatz zu der regional lithostratigraphischen Abfolge. Mehrere Störungsbahnen können in dem Bohrprofil nach Becker (2008) erkannt werden.

Diese Störungsbahnen können potentielle Wegsamkeiten für Fluide bilden. Proben aus der Bohrung RWTH-1 dokumentieren eine hydrothermale Aktivität, die syntektonisch gedeutet wird (Lögering et al., 2006; Sindern et al., 2007). Diese Aussage stimmt mit der von Von Winterfeld (1994) überein, dass hydrothermale Aktivität entlang der Aachener Überschiebung in Folge von tektonischen Bewegungen während der Variszischen Orogenese stattfand. Ein signifikanter Fluid- Abfluss entlang der Aachener Überschiebung in die Wurm-Syncline wurde von Lünenschloss et al. (1997) und Lünenschloss (1998) beschrieben.

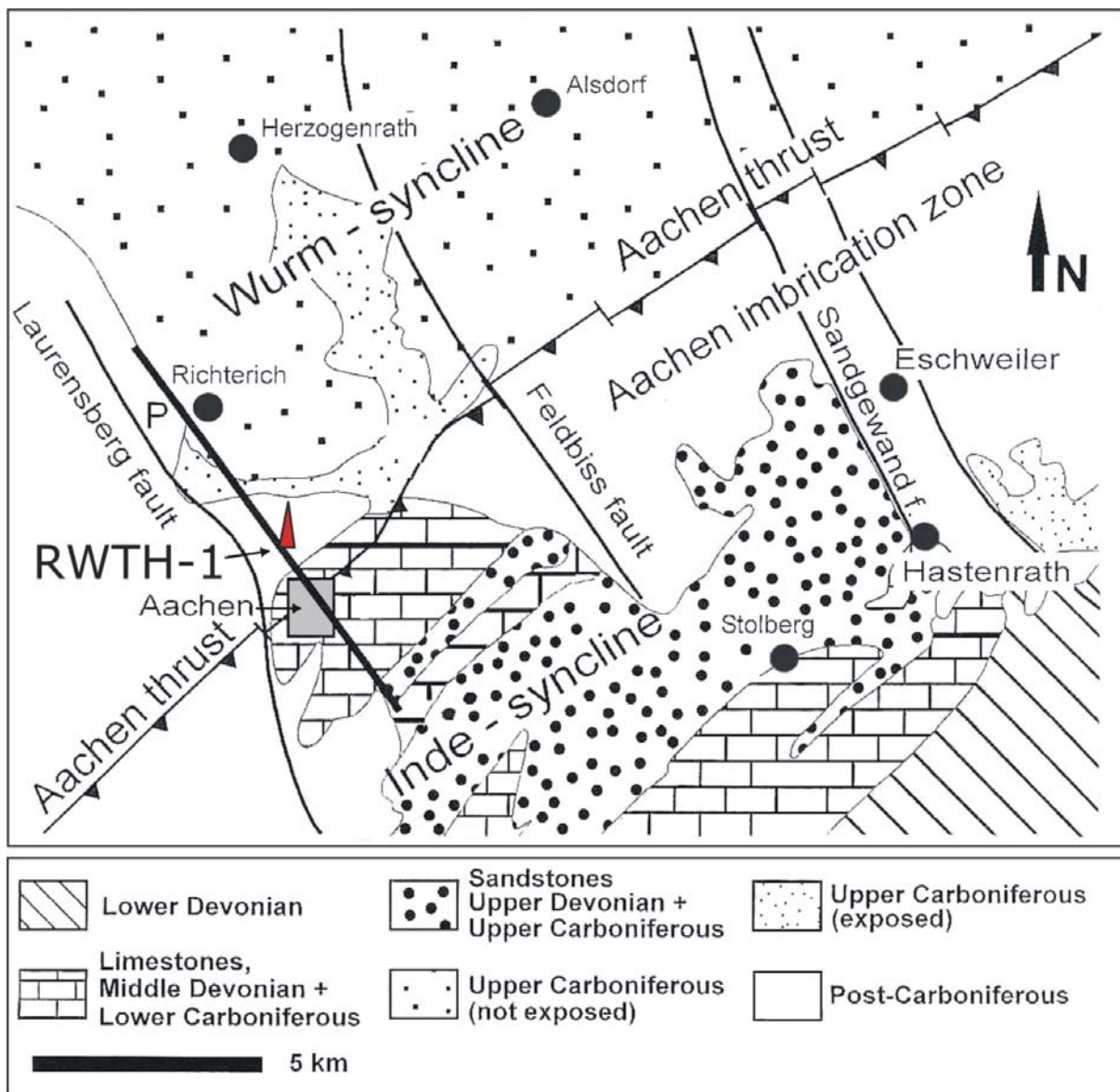


Abb. 2.3: Tektonische Karte der nördlichen Eifel um Aachen und der Lokation der RWTH-1 Bohrung. Umgezeichnet nach Steingrobe (1990).

Junge tektonische Bewegungen finden seit dem Tertiär (Mitteloligozän) statt, die die Niederrheinische Bucht in NW-SE streichende Schollen zerblocken (Wrede & Hilden, 1988). Diese Bewegungen führen zu intrakratonischen Erdbeben, deren Herdflächenlösungen eine dominante Vertikalkomponente mit etwa 70° einfallenden Abschiebungen zeigen. Magnituden von 4.8 für das Erdbeben bei Alsdorf NE von Aachen im Jahre 2002 (Epizentrum in 16 km Tiefe) bzw. 5.9 für das Erdbeben von Roermond im Jahre 1992 (Epizentrum in 18 km Tiefe) verdeutlichen, dass sich die Bohrlokation in einem aktiven tektonischen Gebiet befindet. Zudem konnten in den letzten 20 Jahren zahlreiche Kleinbeben entlang der Störungszone des Laurensberger Sprunges und im Süden Aachens (Aachen-Brand) mit Magnituden bis 1.6 gemessen werden. Seismische Aktivität in diesem Gebiet geht mit tektonischen Bruchstrukturen einher, die wiederum potentielle Lieferwege für Fluide sein können.

Die oberen 1012 m der RWTH-1 Bohrung bestehen aus oberkarbonischen (Namur und Westfal) Ton- und Sandsteinen, in die mehrfach steinkohleführende Horizonte eingeschaltet sind (Abb.2.4, Lundershausen et al., 2005; Oesterreich und Lundershausen, 2002; Oesterreich et al., 2005; Ribbert, 2006). Unterkarbonische stratigraphische Einheiten fehlen in der Bohrung. Diese Lücke wurde auch von Kasig und Wilder (1983) und Kasig (1980a, b) für anderen Lokalitäten nahe Aachen beschrieben. Den oberkarbonischen Gesteinen folgen zur Tiefe hin oberdevonische (Famennium) Gesteinseinheiten bis 1438 m (Ribbert, 2006). Der Bereich von 1012 bis 1260 m wird von Silt- und Sandsteinen dominiert, dahingegen besteht der Bereich von 1260 bis 1407 m aus Tonsteinen (Ribbert, 2006). Der Bereich zwischen 1012-1407 m entspricht den Condroz-Schichten. Zwischen 1407m und einer Störung bei 1438 m treten Kalkknollen auf, welche im Famenne der crepida-Zone angehören (Ribbert, 2006). Eine Datierung wurde anhand von Conodonten von Matthias Piecha vom GD durchgeführt (Ribbert, 2006; Becker, 2008). Das Fehlen von Unter-Famenne- bis Givet-Schichten kann durch sedimentäre Lücken erklärt werden, welche auch in anderen Gebieten der westlichen Rhenoherynischen Zone auftreten (Ribbert, 2006).

Zwischen 1438 und 2544 m folgen Unterdevonische Sand- Siltsteine und Tonsteine (Ribbert, 2006). Es wurden Sporen bei 1490 m gefunden, welche äquivalent sind mit Sporen in Gesteinen der Obersiegen-Schichten. Die Gesteinseinheiten aus diesem Teufenabschnitt sind vergleichbar mit unterdevonischen Zweifall-Schichten (Ribbert, 2006). Innerhalb der unterdevonischen Gesteine dominieren rote und grüne Farben zwischen 1438 bis 1895 m und 2250 bis 2515 m. Zwischen 1895 und 2250 m haben die Silt- Sandsteine und Tonsteine überwiegend eine graue Farbe (Oesterreich et al., 2005). Diese Segmentation wird auch durch die geophysikalischen Log-Daten deutlich (Pechinig, 2005).

Es wurden drei Kernstrecken erbohrt, von 1392-1515 m, 2128-2143 m, 2526-2544 m (Abb.3.3). Der erste Kernabschnitt ist charakterisiert durch intensive Deformation und hydrothermale Gangbildung (Sindern et al., 2007; Lögering, 2008), besonders im Bereich der Störung bei 1438 m. Zusätzliche Störungen treten nach Ribbert (2006) in Tiefen von 620, 790, 1990 und 2375 m auf. Pechnig (2005) wies mittels Auswertungen von bohrlochgeophysikalischen Analysen fünf Störungszonen in der Bohrung zwischen 660-720m, 900-960m, um 1438m, 1880-1942m und 2220-2310 m nach.

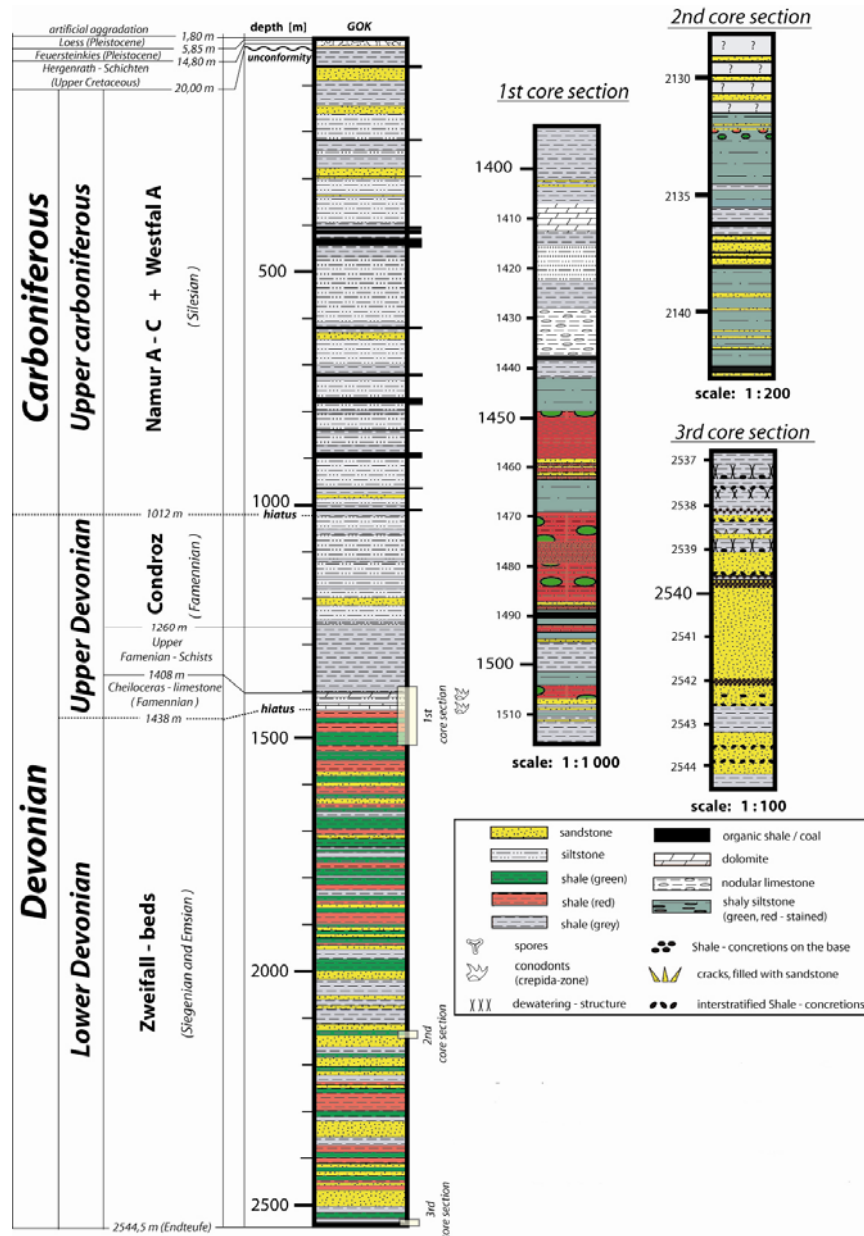


Abb.2.4: Stratigraphie der RWTH-1 Bohrung. Nach: 1) Basierend auf Kurzbeschreibungen: Vorbohrung (0-20 m) durch den Geologischen Dienst NRW, (2002); Bohrkleinbeschreibung / Mudlog, Oesterreich, GD NRW, (2004); Kernbeschreibung, Oesterreich, GD NRW, (2004). 2) Illustrationen (Ribbert): i) Lithoprofil 1:1000 basierend auf Bohrklein und Log-Interpretationen (R. Pechnig, RWTH-Aachen) (2005); ii) Lithoprofile der ersten Kernstrecke (1:400), der zweiten Kernstrecke (1:100) und der dritten Kernstrecke (1:50). 3) Digitalisierung: Becker, (2008).

2.3 Postvariszische Vererzungen vom Typ Aachen-Stolberg und Bleiberg-Altenberg

2.3.1 Hastenrath

Im Steinbruch der Hastenrath Kalkwerke (Abb.2.2) sind die Sedimente des Unterkarbons ab der Grenze Famenne/Tournai bis zur Visé/Namur -Grenze aufgeschlossen. Die Abfolge umfasst Dolomite, Kalksteine, Schiefer und Sandsteine. In verschiedenen Arbeiten werden das Visé auch als Oberer Kohlenkalk und das Tournai als Mittlerer Kohlenkalk bezeichnet. Die Gesteine des Tournai gliedern sich in den Unteren Dolomit, den Schiefer von Pont d'Arcole und den Oberen Dolomit. Eine Art Grenzhorizont, der sogenannte Palisadenkalzit, trennt das Tournai vom Visé, wobei eine stratigraphische Zuordnung dieses Horizontes nicht klar definiert ist (Kasig, 1980). Das Visé beginnt im Steinbruch Hastenrath mit dem Vaughanites Oolith, welcher von der sogenannten unteren Zyklusfolge (UZF) überlagert wird. Im Hangenden folgen die sogenannte obere Zyklusfolge (OZF) und die Coated Grain Folge. Das Einsetzen farbiger Tonlagen kennzeichnet die Walhorner Schichten des Namurs. Die stratigraphische Gliederung der aufgeschlossenen Gesteinspakete in Hastenrath ist in Abb.2.5 aufgezeigt.

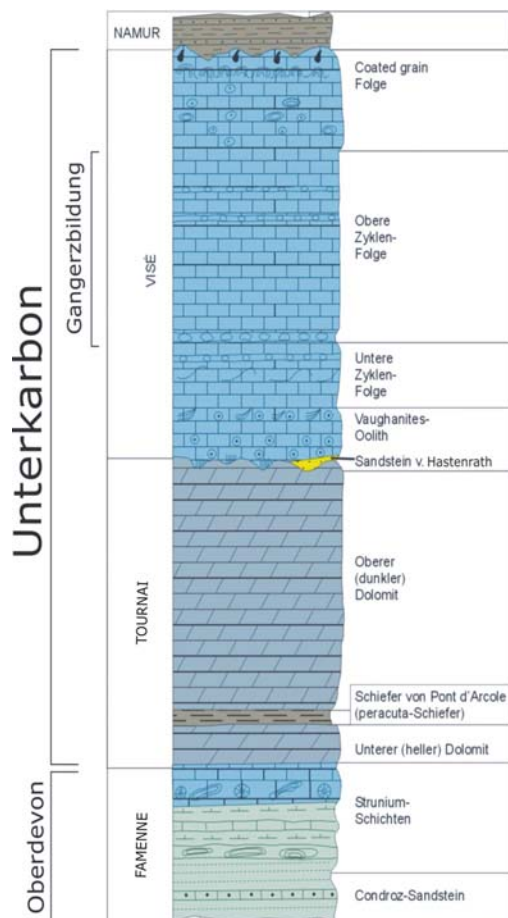


Abb.2.5: Stratigraphisches Säulenprofil der unterkarbonischen Gesteine. Im Steinbruch Hastenrath sind Gesteine aus dem Tournai und Visé aufgeschlossen. Umgezeichnet nach Kasig (1980).

Der Steinbruch liegt auf dem Auer Horst zwischen der Sandgewand-Störung im NE und der Ewige Gewand im SE. Diese Störungen verlaufen in Richtung NW. Die Sandgewand-Störung ist im südlichen Bereich weit über den Hastenrather Steinbruch hinaus zu verfolgen und fällt nach Wrede (1985) nach NE ein. Der Verlauf dieser Störung ist im Gelände anhand der Morphologie sehr gut zu erkennen. Die Störungen stellen das Ergebnis der postvariszischen Bruchtektonik dar, während der das Gebiet in Schollen zerteilt wurde. Während des Postvariszikums entstanden neben den Hauptstörungen auch noch kleinere Querstörungen ca. in 30° Winkel zu den Hauptstörungen. Bewegungen an den großen NNW-SSE-streichenden Querstörungen, z.B. der Sandgewand-Störung, halten noch bis in die Kreide und teilweise bis in die heutige Zeit an (Kasig, 1980).

Im Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath treten parallel zur Sandgewandstörung subvertikale vererzte und unvererzte Gänge bzw. Klüfte auf, mit bis zu 20 cm Breite, die mit Karbonaten (Calcit, Dolomit, Ankerit), Quarz und Erzmineralen (Bleiglanz, Zinkblende, Chalkopyrit, Pyrit, Bornit) verfüllt sind. Diese Klüfte zeigen einen systematischen Aufbau und deuten auf komplexe tektonische Prozesse bei ihrer Anlage hin, die in Verbindung mit hydrothermale Fluss stehen. Im Nebengestein treten feine Karbonatadern auf, die keine bestimmte Orientierung aufweisen.

Die Karbonate im Untersuchungsgebiet wurden von drei Hauptverkarstungsphasen beeinflusst, welche in das obere Tournaisium, in das obere Visé und in das Postvariszikum gestellt werden können (Kasig, 1980). Die Verkarstungen entstanden durch Fließ- und Sickerwässer, die sich im Untergrund meist entlang von Kluftflächen Wegsamkeiten schafften und diese durch ständige Karbonatlösung erweiterten. Teile der durch Verkarstung entstandenen Hohlräume weisen Füllungen auf, die aus Sedimenteinträgen, Sinterbildungen und/oder Erzmineralen bestehen. Die kohligen Sedimenteinträge könnten Braunkohle aus dem Tertiär und/oder Steinkohle aus dem Oberkarbon sein. Zum Teil tritt dieses inkohäsive organische Material auch in subvertikalen Klüften auf. Der Eintrag des Materials in den Klüften deutet auf tektonische Prozesse hin. Als jüngstes Ereignis bezüglich der karbonatischen Phasenbildung im Steinbruch treten Kalksinterbildungen auf.

2.3.2 Grubenfeld Diepenlienchen

Das stillgelegte Grubenfeld Diepenlienchen (Abb.2.2) war in der Vergangenheit durch Anzahl und Reichtum seiner Erzvorkommen die bedeutendste Einzelkonzession des Gebiets. Das Grubenfeld überdeckte den größten Teil der Burgholzer und Werther Mulde, einer kleinen Nebenmulde des Inde-Beckens (Gussone, 1964). Neben Kohlenkalk tritt im Muldenkern auch Oberkarbon auf. Die Faltung ist nordvergent, z. T. überkippt. Nach Süden hin erstreckt sich das Feld noch bis über den „Eifelkalk“-Zug hinaus.

Gussone (1964) beschreibt die Gänge von Diepenlieden als meist querschlägig verlaufend ($150-165^\circ$), seltener diagonal ($120-135^\circ$) und das Einfallen steil nach Westen. Die Mächtigkeit der Gänge beträgt zwischen 5 cm und 1 m, seltener bis zu 5 m (Schiffmann, 1888; de Wijkerslooth, 1949; Gussone, 1964). Die Erzgrube erreichte eine Teufe von über 380 m und ergab daher wertvolle Aufschlüsse über die Teufenabhängigkeit der primären Vererzung, die Untergrenze der Oxydationszone und die Beziehung zum Nebengestein.

Die auftretenden Mineralisationen bestehen nach Gussone (1964) aus folgenden Phasen: Zinkblende (auch Schalenblende), Bleiglanz, Markasit, Pyrit, Bornit und spärlich Vaesit, Fahlerz und Kupferkies, Cerusit, vereinzelt Jordanit, sowie Covellin und Cuprit in Form von mikroskopisch kleinen Glasköpfen und Nadeln. Als Gangarten treten Calcit, Dolomit-Ankerit und Siderit auf. Das Grubenfeld Diepenlieden ist seit vielen Jahren nicht mehr in Betrieb.

2.3.3 Albertsgrube

Die heute stillgelegte Konzession befand sich SE von Stolberg (Abb.2.2). Sie lag innerhalb der Großstruktur der Indemulde auf dem flachen Nordwestflügel der nach NE abtauchenden Burgholzer Mulde (Redecke, 1992). Diese führt im Kern Sedimente des Namur, die unterlagert werden von Gesteinen des Dinant und des Devon. Durch jüngere NW-SE streichende Querstörungen, an die die Vererzungen gebunden sind, werden die älteren Faltenstrukturen in ein Muster von Horst- und Graben- Systemen zerlegt. Bauwürdige Vererzungen treten in der Regel nur dort auf, wo paläozoische Karbonatgesteine das Nebengestein der Vererzung bilden. Die Kernbohrung Albertsgrube 1 wurde auf den Gang Nr. 7 in der Konzession Albertsgrube abgeteuft (Redecke, 1992). Der Gang ist an eine NW einfallende Aufschiebung mit einem Versatz von oberem Kohlenkalk (Visé) gegen die Walhorner Schichten (Namur) gebunden (Friedrich et al., 1986). Es besteht ein Zusammenhang zwischen der Vererzung und der Dolomitisierung und Silifizierung des Kalksteins (Redecke, 1992).

Bei 220 m Teufe beginnt die aufgeschlossene Schichtenfolge mit Sandsteinen und Tonsteinen der Walhorner Schichten (Abb.2.6). Der Gang Nr. 7 bildet eine 7 m mächtige mineralisierte Gangbrekzie (175-187 m Bohrteufe). Die Mineralisation besteht aus Sphalerit, Galenit, Markasit und Pyrit. Die Gangart bilden Kalzit und Dolomit. Die mineralisierenden Phasen bilden mehrere mm dick Sulfidbändchen, die Gangartminerale und Nebengesteinsbruchstücke um- oder überkrusten (Krahn et al., 1986). Zwischen 64 und 175 m treten überwiegend homogene Kalksteine des oberen Kohlenkalks (Visé) auf. Zwischen 116-128 m ist ein mergeliger, z. T. brekziöser und pyritführender Kalkstein eingeschaltet. Von 8-64 m folgen noch einmal die Walhorner Schichten des unteren Namur mit einer Wechselfolge aus dunkelgrauem Sandstein und schwarzem Tonstein.

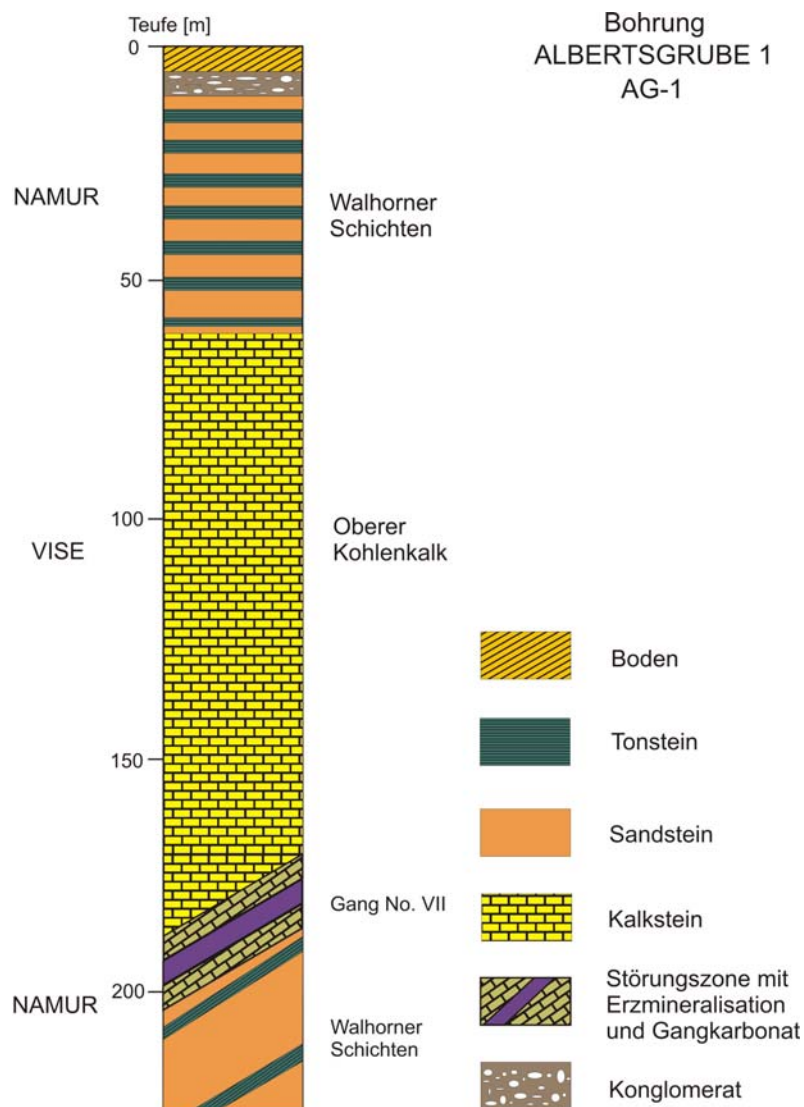


Abb.2.6: Lithostratigraphisches Profil der Bohrung Albertsgrube 1. Nach Krahn et al., (1986).

Die oberen 8m bestehen aus groben Konglomeraten, die dem Burgholzer Sandstein (unteres Oberkarbon) zuzuordnen sind. In Abb.2.6 ist die Lithostratigraphie der Bohrung Albertsgrube 1 dargestellt.

2.3.4 Bleiberg

Zwischen 1989 und 1990 wurden insgesamt 57 Kernbohrungen in Bleiberg, Belgien, abgeteuft. Die Bohrungen wurden entlang von Traversen über die NW-SE-verlaufende, jüngere Bleiberg-Störung abgeteuft. Die in der vorliegenden Arbeit verwendeten Proben stammen aus Institutsammlungen (Redecke, 1992, Bohrungen NB-A bis D) (Abb.2.2; Abb.2.7).

Regionalgeologisch ist dieser Bereich mit variszisch streichenden unterkarbonischen Kalksteinen (Visé) und oberkarbonischen Kalk-, Sand- und Tonsteinen (Namur) durch zahlreiche, schuppenartig aufgereihte, SE-fallende Auf- und Überschiebungen deformiert worden. Die Mineralisation ist an die dazu quer verlaufende, jüngere Bleiberg-Störung

gebunden. Größere Erzkörper treten besonders im Bereich der Aufschiebungen auf. Hier erweitert sich die Gangvererzung lateral entlang der Aufschiebungsbahn zu den sog. Kontaktlagern. Die Vererzungen in diesen Bohrungen bestehen aus Sphalerit, Galenit und Pyrit. Als Gangart wurden Calcit, rosa Dolomit und Quarz beschrieben. Vererzte Gänge treten überwiegend in Visé-Kalksteinen auf.

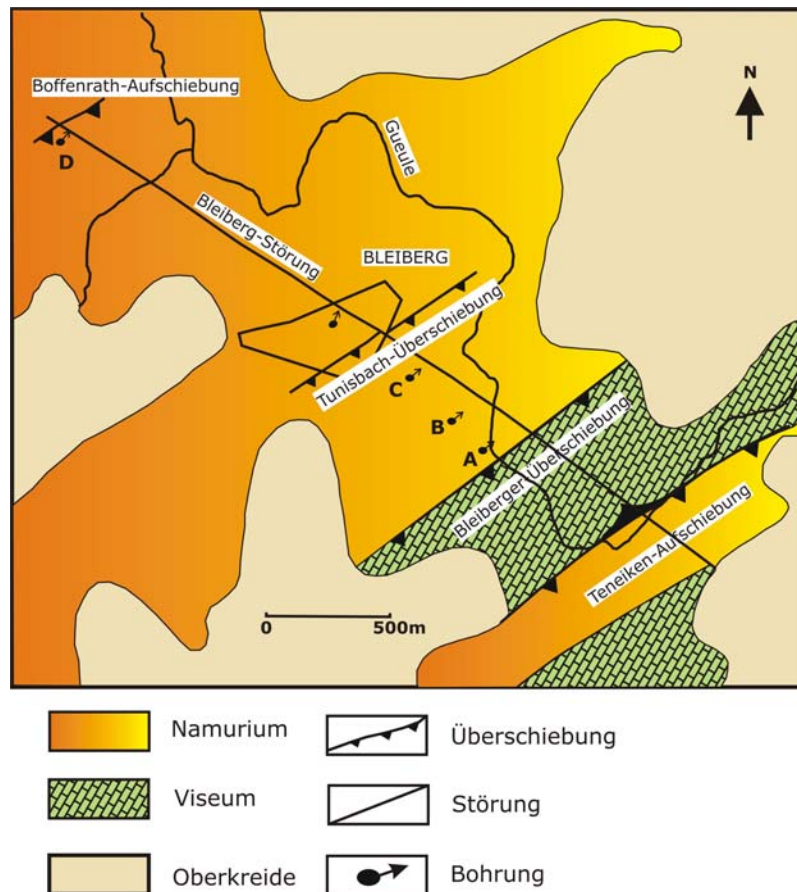


Abb.2.7: Strukturgeologische Karte der Umgebung von Bleiberg mit Angabe der von Redecke (1992) untersuchten Bohrungen A-D, aus denen die hier untersuchten Proben stammen.

2.3.5 Altenberg

Der Ort Kelmis (La Calamine) im belgischen Grenzgebiet zu Aachen erhielt seinen Namen von den reichen Galmeivorkommen der Lagerstätte Altenberg, die im Wesentlichen im Tagebau abgebaut wurden. Die Galmeilagerstätte ist an die Schichtenfolge des unterkarbonischen Mittleren und Oberen Kohlenkalkes gebunden (Abb.2.2). Der Mittlere Kohlenkalk besteht im Wesentlichen aus Dolomitstein, während sich der Obere Kohlenkalk aus dickbankigem Kalkstein zusammensetzt. Fast alle Pb-Zn-Vererzungen im Aachener Raum und damit auch die Galmei-Lagerstätten als Zink-Verwitterungserze sind an tektonische Störungen quer zum Streichen innerhalb dieser Karbonatvorkommen gebunden. Die klastischen Gesteine des Devon und Karbon weisen hingegen keine nennenswerten Vererzungen auf.

2.3.6 Thermae 2002

Die Bohrung Thermae 2002 wurde 1986 bei Valkenburg (Niederlande) im Zuge der Exploration auf Thermalwasservorkommen abgeteuft. Sie befindet sich östlich des Brabanter Massivs im Campine-Brabanter Becken, dessen Schichtenfolge aus devonischen und karbonischen Sedimentgesteinen besteht. Sie sind von Oberkreide-sedimenten überdeckt (Friedrich et al., 1987; Redecke, 1992) (Abb.2.2).

Strukturelemente sind das N-S verlaufende Hoch von Visé-Puth sowie die SW-NE streichende Antiklinal-Oranje-Störung, die sich nach SW in der Faille de Bordièr in Belgien fortsetzt. Bei der letzteren handelt es sich um eine nach Norden gerichtete Überschiebung, die parallel zur Aachener Überschiebung verläuft (Bless, 1987).

In der Bohrung können zwei verschiedenen Mineralisationen unterschieden werden (Friedrich et al., 1987) (Abb.2.8): i) Die erste Zone befindet sich zwischen 238 und 248 m und enthält ca. 83% Zn-Pb-Fe-Sulfide in Form von Schalenblende, Sphalerit, Markasit, Pyrit und Galenit. ii) Die zweite Zone reicht von 333 bis 376 m und kann in zwei Subzonen unterteilt werden: 333-343 m mit 15% Zn-Fe-Sulfiden und 374-376 m mit 2 % Zn-Fe-Sulfiden. Proben der Mineralisation (i) wurden in der vorliegenden Arbeit verwendet.

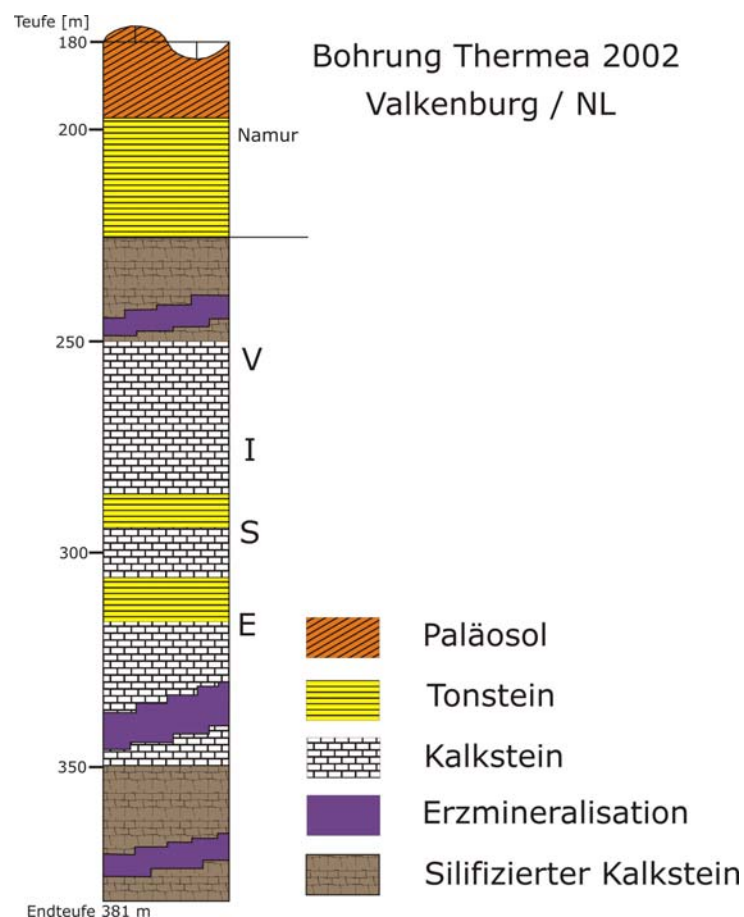


Abb.2.8: Ausschnitt aus dem lithostratigraphischem Profil der Bohrung Thermae 2002. Umgezeichnet nach Redecke (1992).

2.4 Thermalquellen Aachen-Burtscheid

Die Aachener und Burtscheider Thermalquellen treten aus oberdevonischen Frasn-Kalksteinen aus, die jeweils unmittelbar südöstlich der Aachener bzw. Burtscheider Überschiebung ausstreichen (Herch, 1997) (Abb.2.2; Abb.2.9). Die Ausstrichbereiche der Kalksteine und somit die Austrittsbereiche der Thermalquellen verlaufen etwa parallel und sind ca. 1200 m voneinander entfernt (Herch, 1997). Die Austrittsbereiche der Thermalquellen werden Quellenzug oder auch Thermalquellenzug genannt. Man unterscheidet den Thermalquellenzug von Aachen und den von Burtscheid. Das Thermalwasser muß aufgrund seiner Austrittstemperatur bis $>70^{\circ}\text{C}$ und unter Annahme eines normalen geothermischen Gradienten mindestens in Tiefen von 2000 m zirkuliert haben (Herch, 1997).

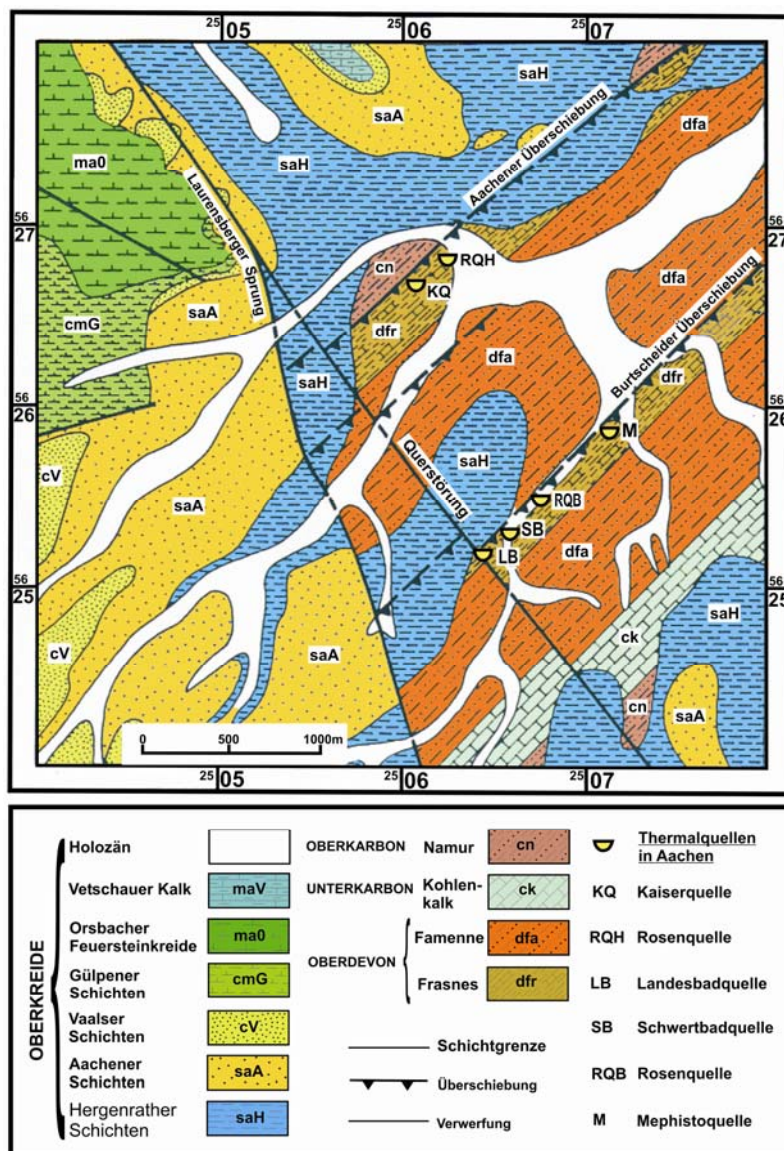


Abb.2.9: Geologische Übersichtskarte und Lage der Aachener-Burtscheider Thermalquellen, Verändert nach Knapp (1980).

Geothermische Berechnungen ergeben Zirkulationstiefen von 4000 m (Plum 1989; Pommerening 1993). Der Thermalwasseraufstieg muss schnell erfolgen, so dass keine stärkere Abkühlung eintritt.

Im Burtscheider Schuppensattel sind die Frasn-Schichten im Bereich der Thermalquellenaustritte durch eine mindestens 30 m starke Schichtenfolge heller, dickbankiger Kalksteine untergeordnet mit Lagen von Flaserkalken und einzelnen Bänken von Mergelschiefern (Frasn-Kalk, Quellenkalk) gekennzeichnet (Breddin, 1963). Aus diesen mächtigen Kalksteinbänken entspringen die heute genutzten Thermalquellen: Rosenquelle Burtscheid, Mephistoquelle, Landesbadquelle und Schwertbadquelle (Pommerening, 1993). Die in der Landesbadquelle aufgeschlossenen Frasn Kalksteine weisen variszische und rezent gebildete Karbonatgänge auf.

Im Bereich der Thermalquellenaustritte im Aachener Schuppensattel treten die Frasn-Schichten überwiegend als Mergelschiefer auf (Knapp, 1980). In den eingelagerten, unterschiedlich mächtigen Kalksteinbänken treten die genutzten Thermalquellen Kaiserquelle und Rosenquelle/Komphausbadstrasse aus (Breddin, 1963).

Als treibende Kraft für den Austritt der Aachener Thermalquellen wird das Potentialgefälle des höher gelegenen Aachener Stadtwalds bzw. der Eifel angesehen (Pommerening, 1993; Lünenschloss, 1998). Die Aachener Thermalquellen werden vermutlich im NE und SW von NW-SE streichenden Abschiebungen begrenzt (Pommerening, 1993). Um die Thermalquellen schließt sich eine Mischzone von Thermal- und Grundwässern von etwa 500 m Breite mit erhöhten Sulfat- und Chloridgehalten an (Pommerening, 1993).

3. PROBENNAHME UND ANALYSENMETHODIK

3.1 Probennahme

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Proben aus der Nördlichen Eifel entnommen. Paläozoische, mesozoische und rezente Fluidsysteme anhand von Thermalwässern, mineralisierten Klufffüllungen und Vererzungen wurden untersucht. Ein Teil der Proben kommt aus der Bohrung RWTH-1, die im Aachener Stadtzentrum abgeteuft wurde. Darüber hinaus wurden aus dem Aachener und Burtscheider Stadtbereich rezente Thermalwässer und Sinterbildungen beprobt. Aus dem Raum Aachen-Stolberger-Kelmis wurden Pb-Zn Mineralisationen aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke entnommen. Proben aus der Grube Diepenlienchen und der Bohrung Albertsgrube stammen vom Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen. Weitere vom Institut gestellte Proben stammen aus der Bohrung Thermae 2002 bei Valkenburg (Niederlande) und aus den Bohrungen in Bleiberg (Belgien) sowie der Galmeilagerstätte Altenberg bei Kelmis (Belgien). Die beprobten Pb-Zn Vorkommen sind in Tabelle 3.1 zusammengestellt.

Tabelle 3.1: Übersicht der untersuchten Pb-Zn Mineralisationen im Raum Aachen-Stolberg-Kelmis unter Angabe der Art und des Alters des Nebengesteins.

Mineralisationsphase	Untersuchte Vorkommen	Nebengestein	Alter des Nebengesteins
Postvariszisch	Hastenrather Kalkwerke	Karbonatgestein	Visé 2
	Diepenlienchen	Karbonatgestein	Visé 2
	Albertsgrube	Karbonatgestein	Visé 2
	Bleiberg	Karbonatgestein Sandstein	Visé 2&3 Namur A
	Altenberg	Karbonatgestein Sandstein	Visé 2&3 Namur A
	Thermae 2002	Karbonatgestein	Visé 3

Für die durchgeführten Untersuchungen und Fragestellungen wurden Wasserproben, Gesteinsproben, Bohrkernproben, Bohrkleinproben und Bohrspülproben entnommen. In den weiteren Unterkapiteln wird die Probennahme an den untersuchten Vorkommen dokumentiert. Die entnommenen Proben und die angewendeten analytischen Verfahren für die jeweiligen Untersuchungen sind im Anhang dokumentiert.

3.1.1 Bohrung RWTH-1

Die Probennahme wurde durch das Geologische Institut und den Geologischen Dienst NRW in Zusammenarbeit mit Studenten der Fachrichtungen Geologie, Mineralogie und Bergbau durchgeführt und koordiniert. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Bohrklein- und Bohrkern- Proben entnommen. Des Weiteren wurde auch die von der Firma Anger's Söhne, Hessisch-Lichtenau, eingesetzten Bohrspülungen beprobt und anschließend auf ihre chemische Zusammensetzung untersucht, um mögliche Kontamination der Bohrklein-Proben zu überprüfen.

3.1.1.1 Bohrspülungen

Mit Hilfe der Bohrspülung (ein Gemisch aus Wasser, wenigen Prozent Tonmineralen sowie Stärke) werden die erbohrten Gesteinsbruchstücke von der Bohrlochsole an die Oberfläche befördert. Im Laufe der Bohrung wurde die Bohrspülung mehrmals beprobt (BS1-BS4). Die in der Bohrung eingesetzten Bohrspülungen wurden auf ihre Spurenelementgehalte untersucht. Sie weisen hohe Gehalte an Cr, Zn, Rb, Sr, Zr und vor allem Ba auf (Chatziliadou et al., 2005) (Tabelle 3.2).

Tabelle 3.2: Spurenelementgehalte (ppm) der eingesetzten Bohrspülungen (BS1-BS4) und Bohrspülungszusätzen (BSZ1-BSZ2). Bezogen auf Trockenbestand.

Probe	V	Cr	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Sn	Ba	La	Ce	W	Pb
BS1	73	107	28	67	22	147	22	117	105	22	110	18	2,3	384	26	<50	46	68
BS2	94	157	35	84	16	309	23	130	71	21	89	13	3,9	592	33	66	65	61
BS3	95	160	34	84	21	304	23	134	71	21	94	13	3,6	615	32	67	63	60
BS4	92	170	33	85	25	284	22	129	70	20	98	12	4,2	752	31	70	63	53
BSZ1 (Bentonit)	102	35	<20	<20	23	27	16	51	120	<20	149	<10	<2,0	711	23	<50	<20	12
BSZ2 (Bentonit)	<20	<20	<20	<20	<10	69	26	23	259	49	151	33	8,4	163	38	75	<20	36

Auch die Bohrspülzusätze (BSZ1-BSZ2) weisen erhöhte Gehalte an Zn, Rb, Sr, Zr, Ba und Pb auf. Die vier beprobten Bohrspülproben sind in ihrer Spurenelementzusammensetzung sehr ähnlich (Abb.3.1). Sie variieren nur bezüglich der Cr, Zn und Ba Gehalte. Die Bestimmung der erhöhten Spurenelementgehalte in der Bohrspülung weist darauf hin, dass die Nutzung der Bohrkleinproben für Haupt- und Spurenelement- Untersuchungen und isotopengeochemische Untersuchungen erst nach sorgfältigem Reinigen der Bohrkleins durchgeführt werden können.

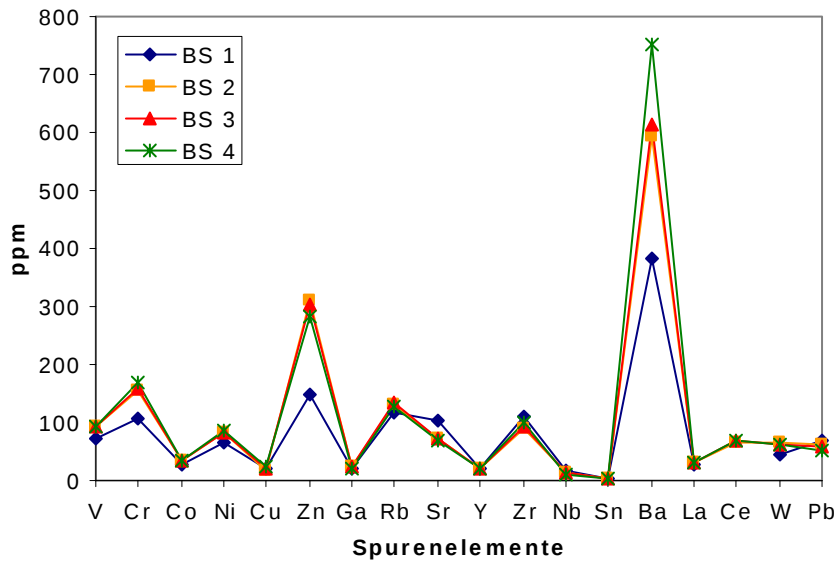


Abb.3.1: Spurenelementverteilung der genutzten Bohrspülungen (BS1-BS4) während der RWTH-1 Bohrung.

3.1.1.2 Bohrklein und Bohrspülexperiment

Das Bohrklein, das mit dem Spülungsstrom an der Oberfläche ausgetragen wird, wurde kontinuierlich während der gesamten Bohrzeit beprobt. Es ist auf 94 % der Bohrstrecke der einzige direkte Aufschluss der durchteuften Gesteine. Auf Schüttelsieben wurde das Gesteinsmaterial von der Bohrspülung getrennt, die dann zurück in die Bohrung floss. Das entnommene Bohrklein wurde direkt im Anschluss gewaschen, um es von der anhaftenden Bohrspülung zu trennen. Anhand von Voruntersuchungen wurde deutlich, dass erst nach einer Ultraschallreinigung von 30 min. der Einfluss der Spülung in den Analysen nicht mehr zu erkennen ist (Chatziliadou et al., 2005) (Abb.3.2). Die behandelte Bohrkleinprobe wurde im 15 Minuten Takt in einem Ultraschallbad mit wechselndem Wasser gereinigt. Aufgrund dessen wurden alle Bohrkleinproben, die für Haupt- und Spurenelement- Untersuchungen ausgewählt wurden, erneut ultraschallgereinigt. Anschließend wurden diese Proben in den Trockenschrank bei 60 °C gestellt. Das getrocknete Material wurde in drei Kornfraktionen gesiebt, < 2mm, 2-4 mm und > 4mm. Aus der mittleren Kornfraktion wurde von den jeweiligen Proben jeweils eine größere Menge an Nebengestein (Devon und Karbon) sorgfältig aussortiert, um Haupt- und Spurenelemente zu bestimmen (Anhang, Abschnitt VIII, IX und X). Diese Werte wurden mit Haupt- und Spurenelement-Ergebnissen von Referenzwerten verglichen. An ausgewählten Kornfraktionen (Gangminerale, Nebengestein) wurden darüber hinaus mineralchemische und isotopengeochemische Untersuchungen durchgeführt.

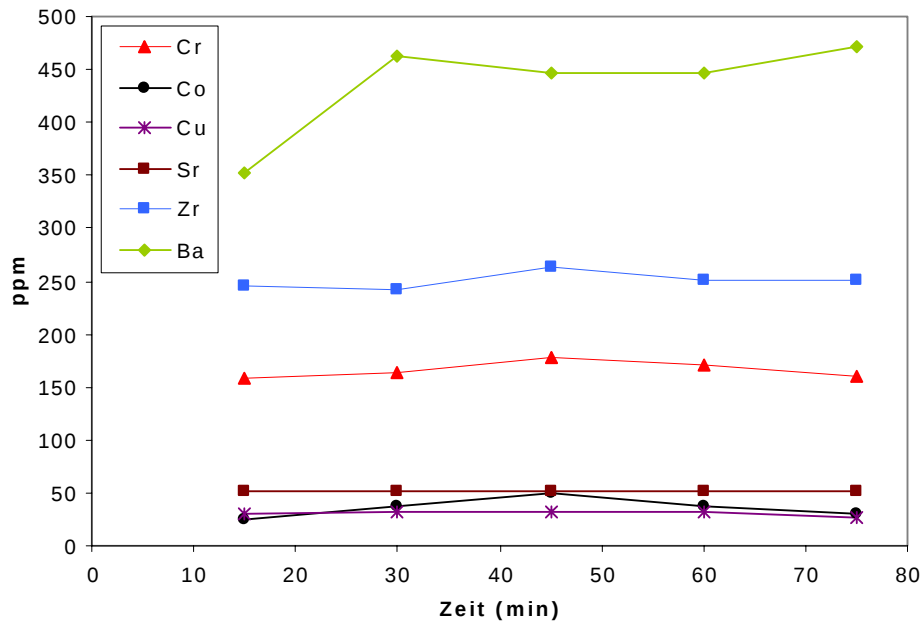


Abb.3.2: Bohrspülexperiment einer Bohrkleinprobe (Probennummer: 2449) aus der RWTH-1 Bohrung. Veränderung der Spurenelementgehalte während der Reinigung der Probe in einem Ultraschallbad.

3.1.1.3 Bohrkerne

In ausgewählten Abschnitten wurden Bohrkerne gezogen, die neben dem Gestein auch die Lagerungsverhältnisse im Untergrund zeigen und Analyseverfahren zulassen, die an Bohrklein nicht möglich sind. Die Gewinnung der Bohrkerne wurde durch die Firma Baker Hughes INTEQ durchgeführt. Die Bohrkerne haben einen Durchmesser von 2". Nur der Endkern besitzt einen größeren Kerndurchmesser von 3 1/2". Die Proben wurden in einem Bohrkernlager der RWTH untergebracht. Insgesamt wurden knapp 150 m Bohrkern in drei Teufenabschnitten gewonnen (Abb.2.4):

1. Kernstrecke: 1392 – 1516 m
2. Kernstrecke: 2128 – 2143 m
3. Kernstrecke: 2537 – 2545 m (Endkern)

Alle Bohrkerne wurden mittig aufgesägt, um die Probenauswahl entsprechend der Fragestellung zu erleichtern. Daraus wurden 143 Kernproben aus dem Kernbohrlager für dieses Projekt entnommen. Es wurden entsprechend der Mineralneubildungen in Gängen (Quarz, Calcit, Dolomit, Ankerit, Chlorit, Pyrit, Anhydrit, Coelestin) polierte Dünnschliffe für petrographische und mineralchemische Untersuchungen hergestellt (Tabelle Ia-1). An ausgewählten Mineralneubildungen in Gängen (Calcit, Dolomit, Ankerit, Chlorit, Pyrit, Coelestin, Anhydrit) und Nebengesteinsproben (Devon und Karbon) wurden mineralchemische und isotopengeochemische Untersuchungen durchgeführt (siehe Ergebnisse).

3.1.2 Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke

Durch den Abbau sind an mehreren Stellen große Sohlen im Steinbruch freigestellt. Makroskopisch sind subvertikale NNW-SSE streichende Störungen zu erkennen. An diese Störungen sind Gangmineralisationen gebunden, die beprobt wurden. Aus unterschiedlichen Aufschlussbereichen wurden Gangprofile entnommen. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Pb-Zn-Vererzung (Zinkblende, Bleiglanz, Chalkopyrit, Pyrit, Bornit) und ihre Gangartminerale (Calcit, Dolomit, Ankerit, Quarz) gelegt. Des Weiteren wurden Proben vom unterkarbonischen Nebengestein entnommen.

Große Karsttaschen, die mit einem pulvrigen organischen Kohlematerial verfüllt sind, wurden beprobt. Das gleiche organische Material tritt auch mittig in einem Pb-Zn-vererzten Gang auf, welches auch beprobt wurde.

Im NE des Steinbruchs befinden sich Karsthohlräume, die mit Kalksintern verfüllt sind. Sie wurden ebenfalls beprobt. Für petrographische Untersuchungen der Gangmineralisationen und des Nebengesteins wurden polierte Dünnschliffe, Anschliffe und Dickschliffe hergestellt (Tabelle Ia-4; Anhang). Die Gangmineralphasen wurden mittels Röntgendiffraktometrie quantitativ identifiziert (Tabelle II-2; Anhang). Alle Proben wurden petrographisch, mineralchemisch und isotopengeochemisch untersucht (siehe Ergebnisse).

3.1.3 Vergleichsvorkommen aus dem Raum Aachen-Stolberg-Kelmis

Die Proben aus den Vorkommen: Bohrung Albertsgrube, Grube Diepenlienchen, Bohrung Thermae 2002 (bei Valkenburg, Niederlande), Bohrungen Bleiberg (Belgien), Galmeilagerstätte Altenberg (Belgien) wurden zum Vergleich herangezogen. Für die petrographischen Untersuchungen wurden polierte Dünnschliffe hergestellt (Tabelle I-3; Anhang). Des Weiteren wurden mineralchemische und isotopengeochemische Untersuchungen an ganggebundenen Pb-Zn-Vererzungen (Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit, Chalkopyrit, Markasit) und deren begleitenden Gangartminerale (Calcit, Dolomit, Ankerit, Siderit, Quarz) durchgeführt.

3.1.4 Thermalwasserquellen Aachen-Burtscheid

3.1.4.1 Thermalwasserproben

Die Beprobung der Thermalquellwässer fand im Sommer 2005 statt. Es wurden sowohl die Aachener als auch die Burtscheider Quellen beprobt. Von den vier Burtscheider Quellen wurden die Rosenquelle Burtscheid und die Landesbadquelle beprobt (Abb.3.4b,c,d,e,f,g). Von den Aachener Quellen wurden die Kaiserquelle (Abb.3.4a) und die Rosenquelle beprobt.

Für die physikochemischen und isotopengeochemischen Untersuchungen wurden jeweils 2 Liter Wasser entnommen. Dabei wurden speziell vorgereinigte PET-Flaschen benutzt, um jegliche Kontamination zu vermeiden, was für die isotopengeochemischen Untersuchungen relevant ist. Die PET Flaschen wurden mit destilliertem Wasser

vorgereinigt und anschließend im Reinraum des Isotopenlabors in mehreren Reinigungszyklen mit HCl und HNO₃ behandelt. Die Wasserproben wurden vor der Bestimmung der Haupt und Spurenelemente filtriert und mit 2 ml 65 % HNO₃ angesäuert. Die partikularen Rückstände aus der Filtration (TWR1-TWR4) wurden separiert, getrocknet und mit Hilfe der Röntgendiffraktometrie quantitativ bestimmt (Tabelle II-2; Anhang).

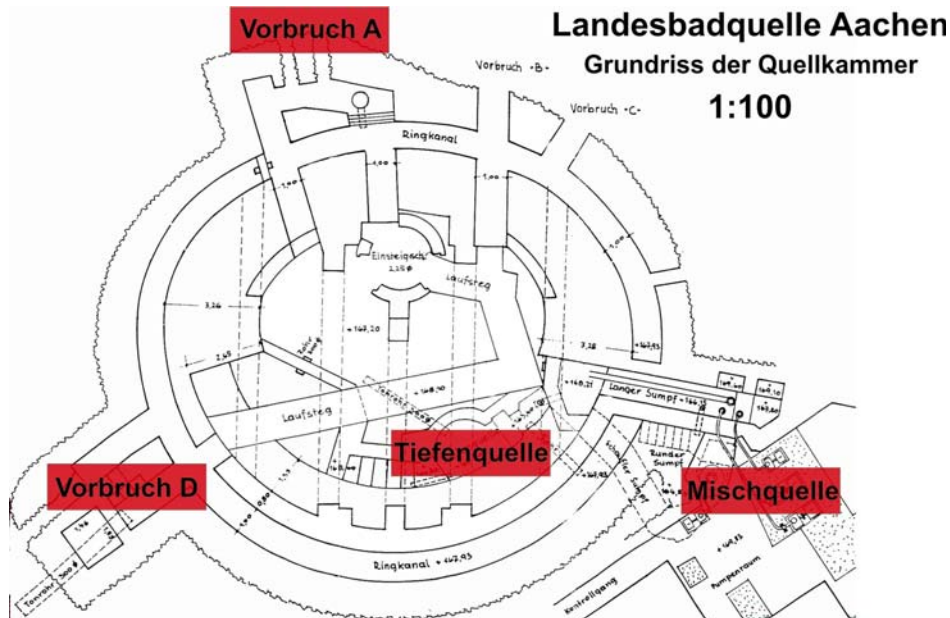


Abb.3.3: Grundriss der Quellkammer der Landesbadquelle Burtscheid.

Die 1908 bis 1912 zusammen mit dem Landesbad ausgebaute Landesbadquelle in Burtscheid wird von mehreren Thermalwasservorbrüchen gespeist, die teils direkt, teils über einen Ringkanal in eine große Quellkammer münden (Abb.3.3). Durch den Ringkanal (Sohle 167,60 m NN) werden die Quellvorbrüche A, B, C und D zusammengefasst (Abb.3.4b,c,d,e,f). Die Vorbrüche stellen separate Kammern dar, in denen der Fels bei den Vorbrüchen A und D offen zutage tritt. Neben der höher liegenden, in den Ringkanal einmündenden Quellgruppe der Vorbrüche A bis D existiert unterhalb der Sohle des Sammelbeckens die so genannte Tiefenquelle. Nach Absenken des Wasserspiegels in der Quellkammer konnten Proben von den Vorbrüchen A und D und von der Tiefenquelle entnommen werden. Aufgrund der extremen Bedingungen in der Quellkammer (hohe Luftfeuchtigkeit und erhöhte Temperatur) war die Probennahme sehr schwierig. Zusätzlich zu den einzelnen Vorbrüchen wurde auch die Mischquelle (Mischung der Wässer) beprobt. Während der Probennahme wurden Wassertemperatur (T), pH-Wert (pH), elektrische Leitfähigkeit (el. Lf) und Redox-Spannung (E_h) gemessen. Zweck der einzelnen Beprobung der Quellvorbrüche war die eventuelle Differenzierung der physikochemischen und isotopengeochemischen Daten.

3.1.4.2 Gesteins- und subrezente Sinterproben aus den Quellvorbrüchen der Landesbadquelle

Zusätzlich zu den Quellwasserproben aus den Vorbrüchen der Landesbadquelle wurden auch Gesteinsproben von anstehendem Fels im Vorbruch A (Abb.3.4d) entnommen und Sinterbildungen aus den Vorbrüchen A und D (Abb.3.4g) sowie der Tiefenquelle. Bei den Gesteinsproben handelt es sich um Frasne-Kalksteine, die Kluftfüllungen aus Calcit und subrezentem Sinter aufweisen. Der Frasne Kalkstein und die karbonatischen Kluftfüllungen wurden petrographisch mittels polierter Dünnschliffe untersucht (Tabelle Ia-2). Des Weiteren wurden mineralchemische und isotopengeochemische Untersuchungen durchgeführt. Die Sinterbildungen (TWS1-TWS7) die die Quellfassungen auskleiden, wurden qualitativ durch Röntgenbeugungsanalysen untersucht, um feinkörnig verteilte Mineralphasen zu identifizieren (Tabelle II-1; Anhang).



Abb.3.4: Beprobung der Thermalquellwässer Aachen-Burtscheid. a. Kaiserquelle Aachen. b. Landesbadquelle, Vorbruch D. c. Landesbadquelle Aachen, Schacht, der zum Vorbruch A führt. d. Landesbadquelle Aachen; Quellaustritt des Vorbruchs A und Sinterbildung am anstehenden Frasne Kalkstein. e. Landesbadquelle Aachen; Tiefenquelle. f. Landesbadquelle Aachen; Austritt von Quellgasen in der Tiefenquelle, horizontale Bildkante beträgt 1m. g. Landesbadquelle Aachen; Sinterbildung in den Quellfassungen, horizontale Bildkante beträgt 30 cm.

Während des Bauvorhabens einer Buchhandlung im Stadtkern von Aachen, nahe der Kaiserquelle, wurden altrömische Quellbäder aufgedeckt. An dieser Stelle waren auch Sinterbildungen zu erkennen, die entlang der Fließwege der Thermalwässer ausgefällt wurden. Diese Sinterbildungen wurden mineralchemisch und isotopengeochemisch mit den rezenten Quellwässern und den Sinterbildungen aus den Quellvorbrüchen der Landesbadquelle verglichen.

3.2 Analysenmethodik

Petrographische Analytik

Petrographische Untersuchungen wurden überwiegend an Dünnschliff- und Anschliffproben sowie Pulverpräparaten durchgeführt.

- Petrographisch wurden 82 polierte nicht abgedeckte Dünnschliffe durchlichtmikroskopisch untersucht. Diese Untersuchungsmethode erlaubt die Identifizierung unterschiedlicher Mineralphasen und die Beschreibung von Mikrostrukturen. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die hydrothermal gebildeten Mineralneubildungen in den Gängen gelegt. Für die mikrostrukturellen Untersuchungen wurden 64 dieser polierten Dünnschliffe für Kathodolumineszenzuntersuchungen (KL) eingesetzt. Mit Hilfe der KL können unterschiedliche Generationen von Mineralen innerhalb einzelner Kluft- und Porenräume erkannt und unterschieden werden. An 2 polierten Anschliffen wurde die Vitritreflektion von organischem feinkörnigem Material gemessen. Zusätzlich wurden qualitative Röntgenbeugungsanalysen (XRD) an 10 Pulverproben für die Identifizierung von feinkörnig verteilten Mineralphasen durchgeführt.

Chemische Analytik

Zu den durchgeführten analytischen Untersuchungen gehören die Gesamtgesteinsgeochemie, Mineralchemie und stabile/radiogene Isotope an ausgesuchten und angefertigten Mineralpulvern und Mineralfraktionen.

- Insgesamt wurden an 89 Proben Haupt und Spurenelemente mittels der Röntgenfluoreszenzanalytik (XRF) bestimmt. Ein Teil dieser Proben wurde mittels IR-Absorptionsanalysatoren (IROES) auf Kohlenstoff und Schwefel untersucht. Quecksilberanalysen wurden an 23 Proben mit einem Kaltdampf-Atomabsorptionsspektrometer (CV-AAS) durchgeführt. Spurenelemente in Wässern wurden an 6 Proben teils mittels Emissionsspektrometrie (ICP-OES), teils mittels Atomabsorptionsspektrometrie (Graphitrohr-AAS) bestimmt. Diese Analysen wurden im Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen durchgeführt. Seltene Erdelemente wurden an insgesamt 30 Proben

bestimmt. Davon wurden 10 Proben zu den Activation Laboratories Ltd (ActLabs, Canada) geschickt und 20 Proben wurden im Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen gemessen. Alle Proben wurden mittels Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) gemessen. Diese Analysen sind einerseits wichtig für die Klassifizierung von Gesteinen und andererseits für das Verständnis von Elementtransport in Fluiden und Austausch mit dem Nebengestein.

- An insgesamt 57 polierten Dünnschliffen wurden Mikrosondenuntersuchungen (EMPA) (JOEL JXA-8900R) im Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH Aachen durchgeführt. Zusätzlich zu den mineralchemischen Zusammensetzungen wurden Rückstreuелектronenbilder und semiquantitative Kartierungen durchgeführt. Mikrosondenuntersuchungen dienen dem Ziel, die chemische Homogenität von kleinräumigen Mineralneubildungen zu verifizieren. Außerdem können mikrostrukturell unterscheidbare Neubildungen hinsichtlich chemischer Unterschiede quantitativ untersucht werden. Die Ergebnisse der Mikrosondenuntersuchungen wurden zu thermobarometrischen Berechnungen genutzt (Calcit- und Chloritthermometer).
- Mikrothermometrische Untersuchungen (USGS Heiz-Kühltisch) an Flüssigkeitseinschlüssen wurden an 4 beidseitig polierten Dickschliffen durchgeführt. Mit diesen Analysen wird die Homogenisierungstemperatur und die Salinität der Fluide bestimmt. Die Messungen wurden am Geo-Forschungs-Zentrum Potsdam, Sektion 4.3 Organische Geochemie in Zusammenarbeit mit Dr. Lüders durchgeführt.
- 81 Pulverproben wurden separiert zur Bestimmung von Sauerstoff- und Kohlenstoffisotopen. Die Messungen wurden an einem Micromass Isoprime Continuous Flow Massenspektrometer (IRMS) durchgeführt. Es wurden 45 Separate vom Nebengestein und 36 Separate von Gangmineralen gemessen. Die Separate wurden am Department of Earth and Atmospheric Science an der St. Louis University, USA, in Zusammenarbeit mit Dr. Kirschner und PD Dr. Chris Hilgers gemessen.
- Pb Isotopenanalysen wurden an 49 Mineralseparaten von 4 unterschiedlichen Mineralen und 8 Wasserproben durchgeführt. Die Messungen wurden zum Teil im Zentrallabor für Geochronologie am Institut für Mineralogie der Westfälischen Wilhelms-Universität an einem MC-TIMS (VG Sector 54), zum Teil an der ETH-Zürich am Institut für Isotopengeologie und Mineralische Rohstoffe an einem MC-

ICP-MS und an der Ghent University, Niederlande, im Department of Geology and Soil Science an einem DS-TIMS in Zusammenarbeit mit Dr. Jens Schneider durchgeführt. Diese Daten ermöglichen Aussagen bezüglich der Liefergebiete und der Quellen der Metalle bzw. der Modell-Bildungsalter. Darüber hinaus können unterschiedliche Fluidereignisse erfaßt werden.

- Sr Isotopenanalysen wurden an 64 Mineralseparaten von 4 unterschiedlichen Mineralphasen und 8 Wasserproben durchgeführt. Die Messungen wurden zum Teil im Zentrallabor für Geochronologie am Institut für Mineralogie der Westfälischen Wilhelms-Universität an einem MC-TIMS (Finnigan Triton), zum Teil an der ETH-Zürich am Institut für Isotopengeologie und Mineralische Rohstoffe an einem MC-ICP-MS in Zusammenarbeit mit Dr. Jens Schneider durchgeführt. An 29 Nebengesteinsproben und 6 Mineralseparaten wurden sowohl Sr- als auch Rb-Isotopenanalysen durchgeführt. Diese Messungen wurden im Zentrallabor für Geochronologie am Institut für Mineralogie der Westfälischen Wilhelms-Universität an einem MC-TIMS (VG Sector 54) und an einem MC-TIMS (Finnigan Triton) durchgeführt. Die Messungen geben Aufschluss über die Wechselwirkung zwischen Fluid und Nebengestein. Darüber hinaus können durch die Sr Isotopenanalysen Signaturen von unterschiedlichen Fluidereignissen charakterisiert und differenziert werden.
- Rb-Sr Datierungen an Zinkblende wurden an der ETH-Zürich am Institut für Isotopengeologie und Mineralische Rohstoffe mit Hilfe eines MC-ICP-MS in Zusammenarbeit mit Dr. Jens Schneider durchgeführt. Es wurden 23 Mineralseparate und 20 Eluate von Flüssigkeitseinschlüssen dieser Mineralseparate gemessen. Dies erlaubt eine exakte Datierung der Untersuchten Erzvorkommen und somit eine Zeitliche Einordnung großer Fluidflussereignisse.

Eine detaillierte Beschreibung der petrographischen, mineralchemischen und isotopengeochemischen Methodik und Analytik einschließlich der Messbedingungen befindet sich im Anhang der Arbeit. Darüber hinaus sind auch die Ergebnisse aller Verfahren tabellarisch im Anhang aufgeführt. Alle petrographischen, mineralchemischen und isotopengeochemischen Untersuchungen, die an zahlreichen Proben durchgeführt wurden, sind in Tabelle 4.2 zusammengestellt.

Tabelle 3.3: Übersicht der petrographischen, mineralchemischen und isotopengeochemischen Untersuchungen an den jeweiligen Vorkommen. *Petrographische Analytik, **Chemische Analytik. Die in der Tabelle benutzten Kürzel der Minerale/Gesteine/Wässer werden im Abkürzungsverzeichnis (Anhang, Abschnitt-A) erläutert.

Analytik	Mineral/Gestein/Wasser	Arbeitsgebiet																Rb-Sr Datierungen (MC-ICP-MS)**
		Cc	Dol	Ank	Sd	Chl	Bgt	Znb	Ccp	Mrk	Cc	KRB	KRB	Sauerstoffisotopie $\delta^{18}\text{O}$ (IRMS)**	Kohlenstoffisotopie $\delta^{13}\text{C}$ (IRMS)**	Pb-Isotopenanalysen (MC-TIMS VG Sector 54/MC-ICP-MS/DS-TIMS)**	Sr-Isotopenanalysen (MS-TIMS Finnigan Triton/MC-ICP-MS)**	Rb-Isotopenanalysen (MC-TIMS VG Sector 54)**
Thermalquellen	Wässer																	
	Nebengesteinsproben																	
	Kluftfällungen																	
	Sinter																	
Bohrkern	Nebengestein																	
	Gangmineralisation																	
Hastenrath	Nebengestein																	
	Gangmineralisation																	
Diepenlennen	Nebengestein																	
	Gangmineralisation																	
Albertsgrube	Nebengestein																	
	Gangmineralisation																	
Bleiberg	Nebengestein																	
	Gangmineralisation																	
Altenberg	Nebengestein																	
	Gangmineralisation																	
Thermae 2002	Nebengestein																	
	Gangmineralisation																	

4. ERGEBNISSE

4.1 Bohrung RWTH-1

4.1.1 Geochemie des Bohrprofils und Klassifizierung der Gesteine

Über die Bohrstrecke von 2544 m, die in einer Gliederung nach Ribbert (2006) oberkarbonische, oberdevonische und unterdevonische Gesteinseinheiten durchteuft, wurden an Bohrkleinproben und Proben aus den Kernstrecken 1-3 chemische Analysen der Haupt- und Spurenelemente durchgeführt. Die Elementkonzentrationen zeichnen die stratigraphische Gliederung nach.

Die oberkarbonischen Gesteinseinheiten erweisen sich chemisch als relativ homogen. Der SiO_2 -Gehalt der Gesteine schwankt zwischen 52,9 Gew.-% und 66,1 Gew.-%, der Al_2O_3 -Gehalt zwischen 14,78 Gew.-% und 23,05 Gew.-% und der CaO-Gehalt zwischen 0,01 Gew.-% und 7,51 Gew.-%. Der organische Kohlenstoffgehalt variiert zwischen 0,27 Gew.-% und 0,79 Gew.-%, der inorganische Kohlenstoffgehalt zwischen 0,25 Gew.-% und 1,80 Gew.-%.

Die oberdevonischen Gesteine variieren in ihrer chemischen Zusammensetzung deutlich stärker. Innerhalb der oberdevonischen Famenne Schichten ist eine Veränderung in der Varianz der chemischen Zusammensetzung zu erkennen. Der SiO_2 -Gehalt der Famenne Schichten <1300 m schwankt zwischen 56,60 Gew.-% und 66,00 Gew.-%, ihr Al_2O_3 -Gehalt zwischen 10,72 Gew.-% und 15,59 Gew.-%. Fe_2O_3 zeigt keine größere Schwankungsbreite (2,77-5,30 Gew.-%). Eine kleine Varianz ist auch im CaO-Gehalt zu erkennen (0,94-5,84 Gew.-%). Die SiO_2 -Gehalte der Famenne Schichten >1300 m variieren dagegen zwischen 39,71 Gew.-% und 60,73 Gew.-%. Ihr Al_2O_3 -Gehalt variiert zwischen 8,47 Gew.-% und 18,89 Gew.-%. Fe_2O_3 zeigt wiederum eine geringe Schwankungsbreite (3,77-6,69 Gew.-%). Eine große Varianz ist hier jedoch im CaO-Gehalt (0,59-13,74 Gew.-%) zu erkennen. Der organische Kohlenstoffgehalt in den oberdevonischen Gesteinsschichten ist gering (0,03-0,16 Gew.-%). Der inorganische Kohlenstoffgehalt schwankt zwischen 0,29 Gew.-% und 5,81 Gew.-%.

Die unterdevonischen Gesteinseinheiten können chemisch in zwei Gruppen klassifiziert werden. Zwischen 1440 und 2000 m weisen die Gesteine eine größere Homogenität auf als unterhalb 2000m. Der SiO_2 -Gehalt im oberen Teufenabschnitt variiert zwischen 52,22 Gew.-% und 67,69 Gew.-%, der Al_2O_3 -Gehalt zwischen 14,71 Gew.-% und 22,99 Gew.-%, der Fe_2O_3 -Gehalt zwischen 5,32 Gew.-% und 10,01 Gew.-% und der CaO-Gehalt zwischen 0,01 Gew.-% und 1,05 Gew.-%.

Unterhalb 2000 m ist der SiO_2 -Gehalt der Gesteine häufig höher und schwankt zwischen 62,61 Gew.-% und 81,03 Gew.-%. Der Al_2O_3 -Gehalt variiert zwischen 8,36 Gew.-% und 18,43 Gew.-%, Fe_2O_3 zwischen 2,99 Gew.-% und 7,61 Gew.-% und CaO zwischen 0,12 Gew.-% und 1,32 Gew.-%. Der organische Kohlenstoffgehalt beträgt in den

unterdevonischen Gesteinsschichten <0,1 Gew.-%. Der inorganische Kohlenstoffgehalt variiert minimal zwischen 0,03 Gew.-% und 0,45 Gew.-%. Die Ergebnisse der Hauptelementuntersuchungen sind im Anhang in Tabelle X-1 dargestellt.

Bei den erbohrten Gesteinen handelt es sich nach der Klassifizierung von Herron (1988) um terrigene klastische Sedimente. In Abb.4.1 sind die terrigenen Sand- und Tonsteine der RWTH-1 Bohrung im Vergleich zu Referenzwerten von karbonischen und devonischen Sedimenten aus dem rechtsrheinischen Rhenohertzynikum (Schulz-Dobrik & Wedepohl, 1983) dargestellt und klassifiziert.

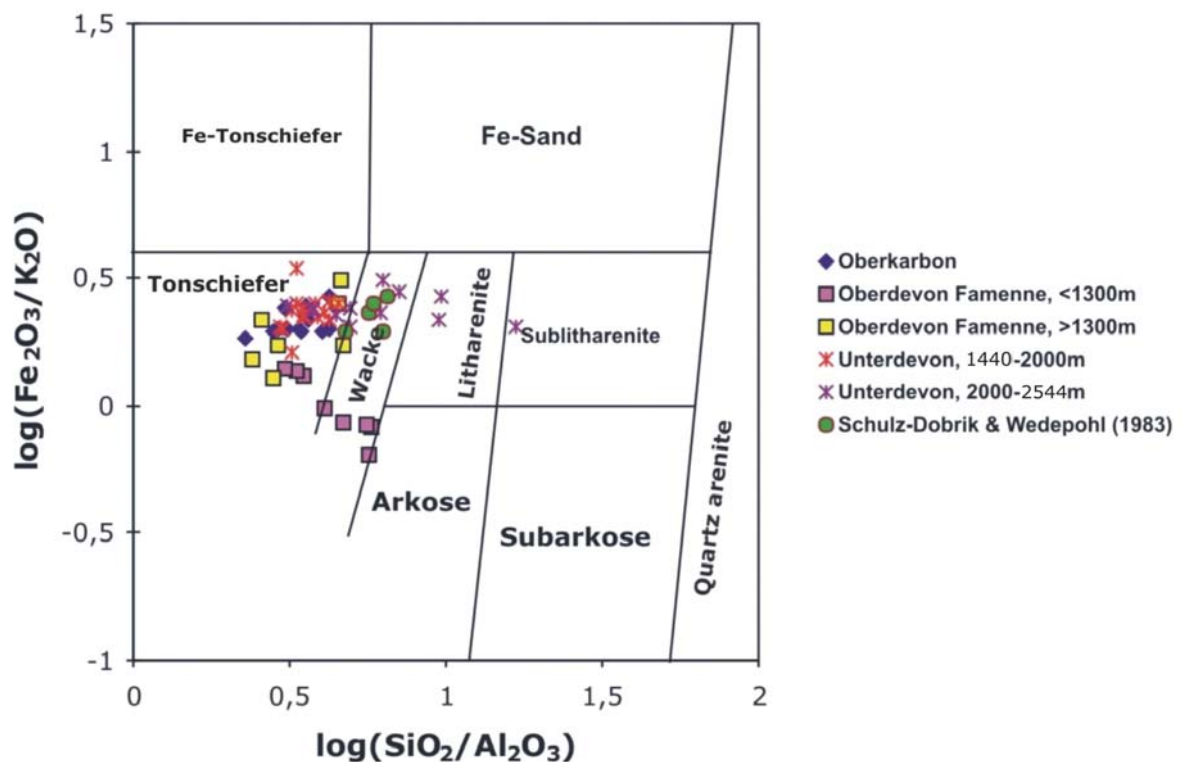


Abb.4.1: Klassifizierung der terrigenen Ton- und Sandsteine der RWTH-1 Bohrung (nach Herron, 1988). Zum Vergleich sind Daten der karbonischen und devonischen Sedimente aus dem rechtsrheinischen Rhenohertzynikum nach Schulz-Dobrik & Wedepohl (1983) eingetragen.

Während die oberkarbonischen Gesteinseinheiten alle in das Feld der Tonschiefer fallen, sind die oberdevonischen Gesteine des Famenne mit einer Teufe von <1300m zum Teil als Tonschiefer, zum Teil als Grauwacken und Arkosen anzusprechen. Oberdevonische Gesteinsschichten des Famenne aus einer Teufe >1300m fallen wieder ausnahmslos in das Feld der Tonsteine.

Die unterdevonischen Gesteine aus Teufen zwischen 1440 und 2000 m werden als Tonschiefer klassifiziert. Bei den unterdevonischen Gesteinseinheiten zwischen 2000 und 2544 m handelt es sich überwiegend um Grauwacken, zum Teil auch um Litharenite und Sublitharenite.

Verglichen mit Referenzwerten von karbonischen und devonischen Gesteinen für das rechtsrheinische Rhenoharzynikum (Schulz-Dobrik & Wedepohl, 1983) ist deutlich zu erkennen, dass die erbohrten Gesteine eine vergleichbar ähnliche chemische Zusammensetzung aufweisen und zum größten Teil die gleichen lithologischen Einheiten widerspiegeln.

Um die Variation der Gesteine hinsichtlich ihres Mineralbestandes, hier eines Normmineralbestands, zu beschreiben, wurde die chemische Zusammensetzung mit Hilfe von Multikationen-Diagrammen nach De la Roche et al. (1980) dargestellt (Abb.4.2). Die Kationen -Verhältnisse repräsentieren den silikatischen Anteil der Proben. Oberkarbonische Proben, oberdevonische Proben unterhalb 1300 m und unterdevonische Proben fallen in einen engen $K/(Al-Na)$ -Bereich, variieren jedoch deutlich im $Si/3-(Na+K)$ -Verhältnis. In dieser Darstellungsart nehmen die Proben aus dem oberdevonischen Famenne oberhalb der ersten Kernstrecke <1300 m eine Sonderstellung ein. Diese Proben weisen sich durch höhere Kalium-Gehalte aus. Dies wird als Anzeichen für die Änderung des Liefergebietes gewertet. Zum Vergleich sind Daten für das rechtsrheinische Rhenoharzynikum von Schulz-Dobrik & Wedepohl (1983) in Abb.4.2a und 4.2b eingetragen. Sie liegen in denselben Feldern wie die RWTH-1 Proben.

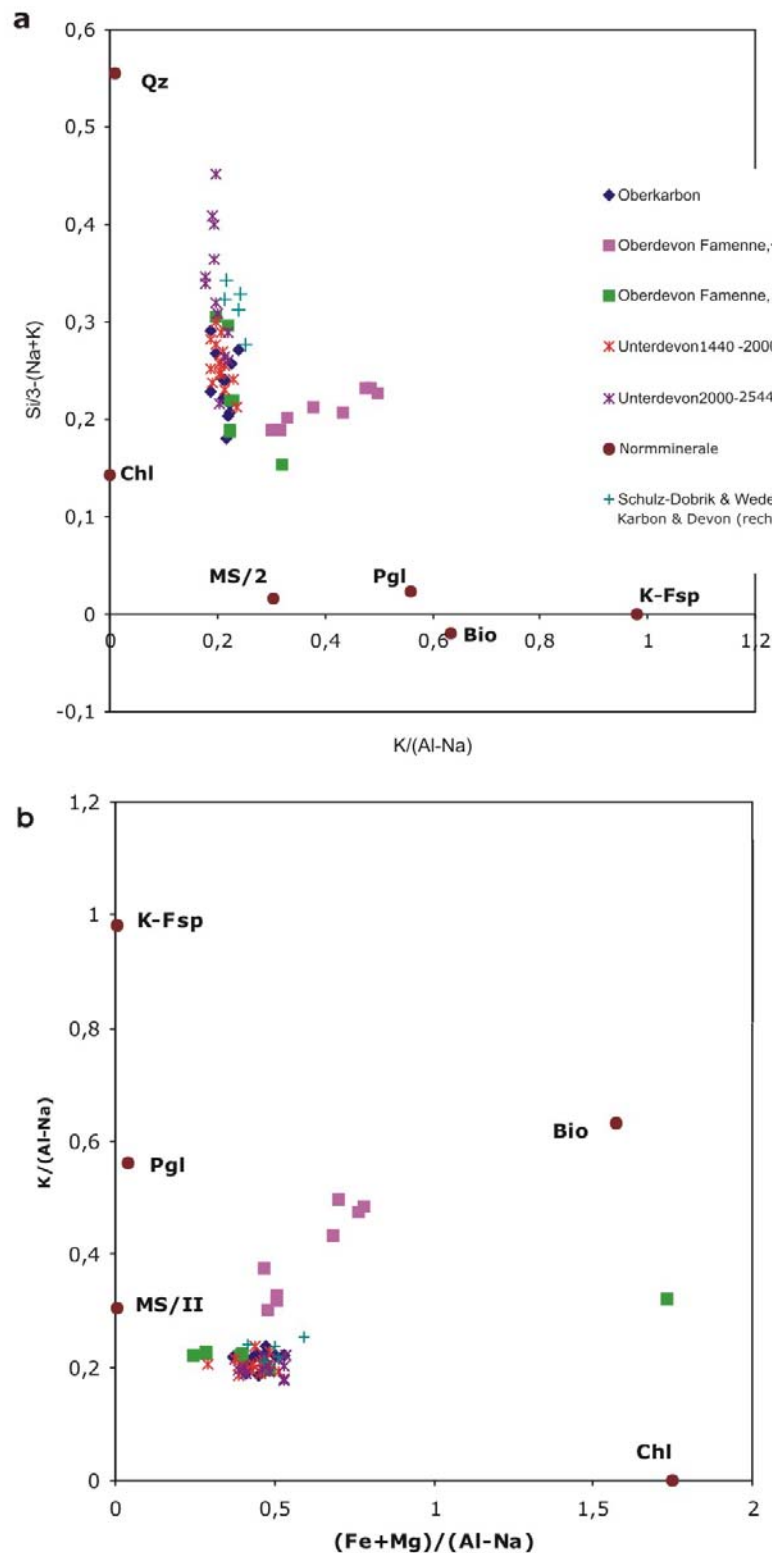


Abb.4.2: a. Variation der Kationenverhältnisse $\text{Si}/(3-(\text{Na}+\text{K}))$ gegen $\text{K}/(\text{Al}-\text{Na})$. b. Variation der Kationenverhältnisse $\text{K}/(\text{Al}-\text{Na})$ gegen $(\text{Fe}+\text{Mg})/(\text{Al}-\text{Na})$ nach De la Roche et al. (1980). Dargestellt sind die Daten der RWTH-1 Gesteine, getrennt für das Oberkarbon, Oberdevon und Unterdevon. Zum Vergleich sind Daten von Karbonischen und Devonischen Sedimenten aus dem rechtsrheinischen Schiefergebirge nach Schulz-Dobrik & Wedepohl (1983) und die Positionen von Chlorit (Chl), Biotit (Bio), Hellglimmer (MS/II)(MS/2), Plagioklas (Pgl), Quarz (Qz) und Kalifeldspat (K-Fsp) eingetragen.

In Abb.4.3 sind die Spurenelementgehalte von Ni, Cr, Zn, Cu und Ba gegen die Bohrteufe aufgetragen. Ba tritt in Sedimenten vor allem in der Nähe von Gangvererzungen und in tonreichen Gesteinen auf. Der Ba-Gehalt in der Bohrung erreicht Höchstwerte von 1050 ppm in unterdevonischen Ton-Siltgesteinen mit einer deutlichen Pyritführung. Im Vergleich zu Ba-Werten von rechtsrheinischen Rhenoharzynischen Gesteinen sind die Werte in der Bohrung vor allem ab 1000 m Teufe höher (Abb.4.3e). In Abb.4.3e ist der Ba-Wert für Tonsteine weltweit eingetragen (Wedepohl, 1970). Dieser liegt bis zur ersten Kernstrecke höher als der Gehalt in Gesteinen der Bohrung. Ab ca. 1400 m liegen die RWTH-1-Ba-Werte über dem Ba-Durchschnittswert. Der Anstieg des Ba-Gehalts geht mit der Präsenz von hydrothermalen Gängen in der ersten Kernstrecke und im Bereich zwischen 1900 und 2000 m einher.

Bei den Elementen Ni, Cr, Cu und Zn erkennt man bei ca. 1000 m ebenfalls eine Veränderung der Werte (Abb.4.3a-d). Der Cr-Gehalt in Gesteinen der Bohrung liegt im Bereich der Rhenoharzynischen Mittelwerte (103-204 ppm) nach Schulz-Dobrik & Wedepohl (1983). In den oberen 1000 m (Gesteine des Oberkarbons) zeigt Cu eine größere Homogenität (30 ± 8 ppm, $1s$, $n=13$), in den tieferen Gesteinseinheiten streuen die Cu-Konzentrationen stärker ($1s=15$, $n=23$) um einen Mittelwert von 26 ppm (Chatziliadou, 2005). Der Zn-Gehalt in der Bohrung weist ähnliche Werte auf wie in den lithologischen Einheiten im rechtsrheinischen Rhenoharzynikum (48-115 ppm) nach Schulz-Dobrik & Wedepohl (1983). Eine Zn-Anomalie liegt in der ersten Kernstrecke, die eine deutliche Pyrit-Vererzung in Gängen aufweist. Die Spurenelementgehalte der untersuchten Gesteine sind im Anhang in Tabelle X-1 dargestellt.

Die Quecksilbergehalte, die eine wichtige Rolle bei der Erfassung von Störungsmustern in Gebieten mit tektonisch kontrollierten Mineralisationen spielen können (Wallner, 1977) zeigen keine Auffälligkeiten. Sie liegen alle im Bereich von 0,3 bis 3,1 ppm (Tabelle VIII-1; Anhang).

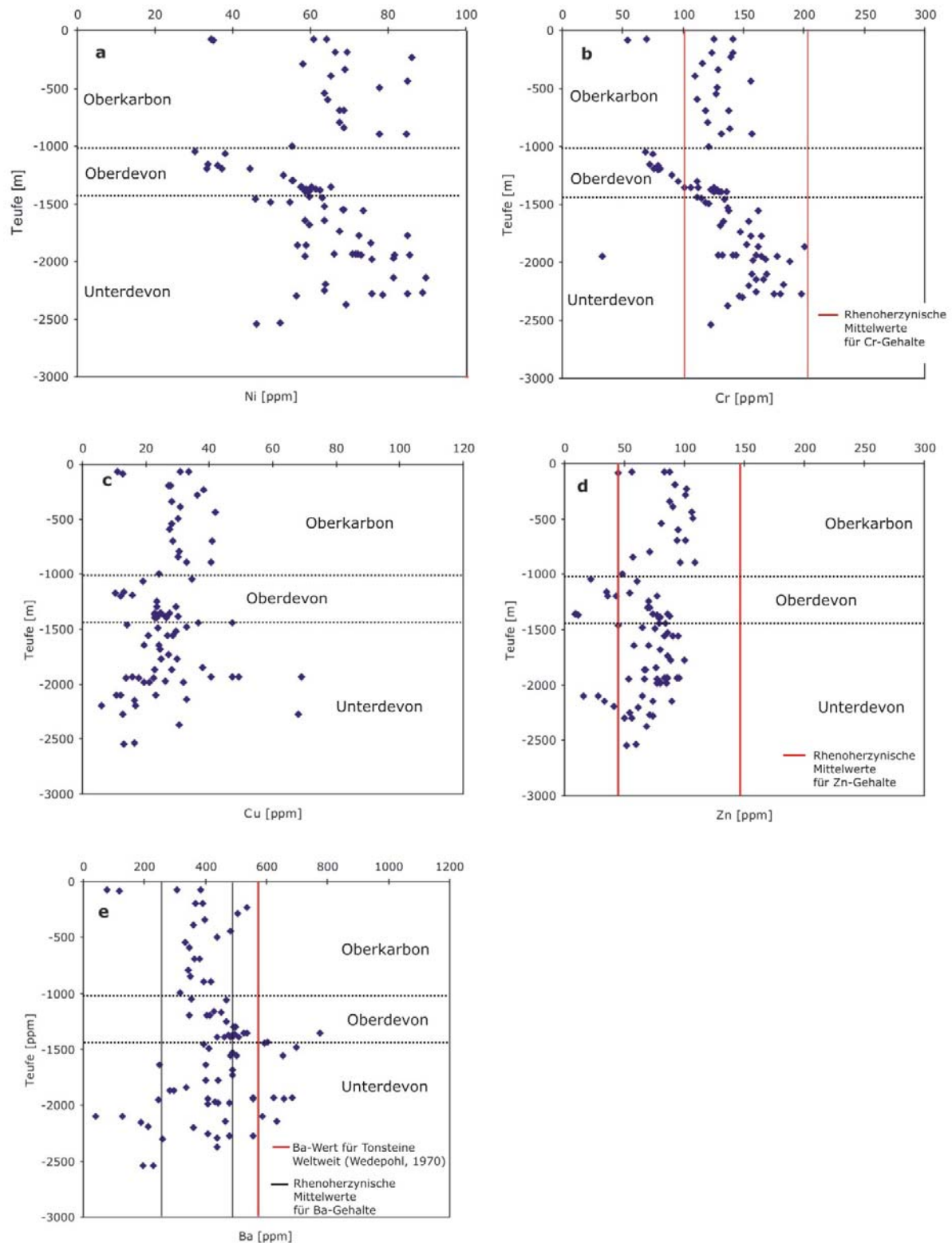


Abb.4.3: Verteilung der Spurenelemente Ni, Cr, Cu, Zn und Ba in der Bohrung RWTH-1 Die Rhenoharzynischen Mittelwerte der Elemente Cr, Zn und Ba sind in den jeweiligen Diagrammen durch Linien gekennzeichnet (Weitere Erläuterungen siehe Text).

4.1.2 Petrographie und Mikrotextur der Kluftfüllungen und ihres Rahmens

In der ersten Kernstrecke treten zahlreiche mineralisierte Gänge auf (Abb.4.4a-i). Auch in der zweiten Kernstrecke beobachtet man Kluftfüllungen (Abb.4.4j). Die dritte Kernstrecke weist vereinzelt Gangmineralisationen auf.

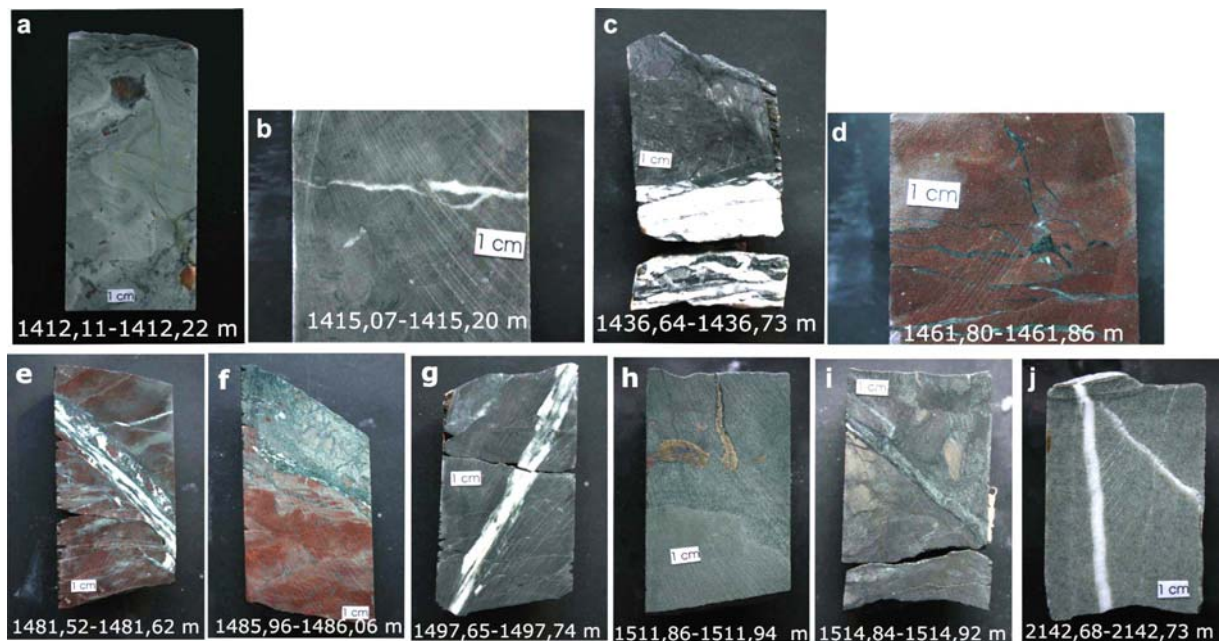


Abb.4.4: Bohrkerne aus der Bohrung RWTH-1 in Aachen. Die Mineralisationen treten in Form von Gängen und Konglomeraten auf. a. Konglomerate aus Anhydrit mit Coelestineinschlüssen b. Quarz-Karbonat-Gang. c.e.g.i. Quarz-Karbonat-Chlorit Gänge. d.f. Chlorit-Quarz Gänge. h. Pyritader mit Chloritsaum. j. Quarzgang.

Die Gänge entstanden als Kluftfüllungen in der Folge von Extensionsprozessen und durchschlagen siliziklastische und karbonatische Gesteine des Devon und Karbon. Es ist keine Systematik bezüglich ihrer Orientierung zu erkennen. Teilweise durchschlagen sie Schichtung und Schieferung des Nebengesteins, teilweise bilden sie sich durch dilatationale Öffnung von Schicht- und Schieferungsfugen. Vererzung tritt an wenigen Stellen in der ersten Kernstrecke in Form von Pyrit auf.

Das Nebengestein der Gänge besteht in der ersten Kernstrecke (1391-1516 m) aus roten bis graugrünen Ton-Silt-Feinsandstein Wechselfolgen mit zwischengeschaltetem Dolomit- bzw. calcitmergel und Knollenkalk. In Abb.4.5a ist ein Ausschnitt aus einem dolomitisierten Kalkstein (1420,8 m) zu erkennen, mit Relikten von Quarz und Calcit. Die meisten Dolomit- Kristalle sind als Rhomboeder ausgebildet, in denen häufig feste Einschlüsse zu erkennen sind. In diesem Gestein sind Drucklösungssäume zu erkennen mit zum Teil ungelösten Tonrückständen aus Illit, Chlorit und Smektit. Vermehrt treten Fossilien in den oberdevonischen (unteres Famenne) Gesteinen der ersten Kernstrecke auf. In einer Tiefe von 1429,3 m erkennt man in einer feinen Ton-Silt Matrix den Querschnitt eines Crinoidenstiels (Abb.4.5c). In den knollenführenden Kalksteinen erkennt man des weiteren Brachiopoden, Foraminiferen und Conodonten.

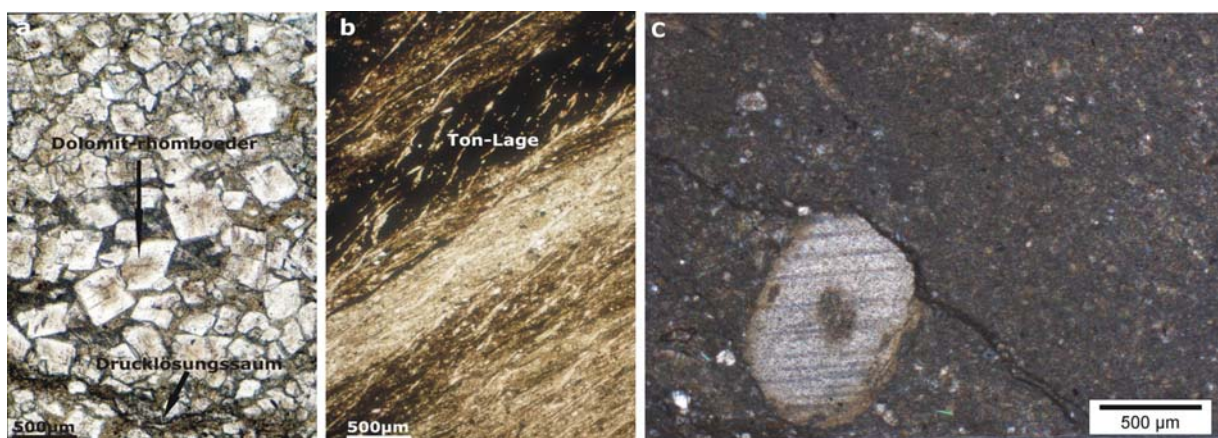


Abb.4.5: a. Dolomitisierte Kalkstein mit Dolomit-Rhomboedern und Drucklösungssäumen in linear polarisiertem Licht (Probe MC20). b. Ton-Silt-Feinsandstein aus der ersten Kernstrecke (Probe MC99). Zu erkennen sind eingeschaltete Tonlagen mit feinen Quarzkristallen, die entlang der Schieferung orientiert sind (linear polarisiertes Licht). c. Fossilführendes Ton-Silt Gestein unter gekreuzten Polarisatoren (Probe KS105).

Die zweite Kernstrecke (2128-2143 m) besteht überwiegend aus Ton- Siltgesteinen mit feinen zwischengelagerten Sandsteinschichten. In den Ton- Siltgesteinen sind Drucklösungssäume zu erkennen. Vereinzelt treten Quarz-Karbonatgänge in dieser Kernstrecke auf. In der dritten Kernstrecke (2537-2545 m) treten überwiegend feinkörnige Sandsteine auf mit zwischengelagerten grauen Tonschieferfragmenten. Man erkennt in Tonschieferschichten Strukturen, die auf Entwässerung hindeuten. Im Tonschiefer sind darüber hinaus Risse zu erkennen die mit Sandstein verfüllt sind. Vereinzelt sind Karbonatadern zu erkennen.

Im Nebengestein der Probe MC20 (erste Kernstrecke) erkennt man unter Kathodenstrahlung Wachstumszonen von Zementkristallen (Abb.4.11b,d). Dabei handelt es sich um Dolomit, die eine deutliche Rhomboederform aufweisen. Die idiomorphen Dolomitekristalle weisen eine Sanduhrzonierung auf mit orange bis gelb lumineszierenden Kernen ($\text{Fe}^{2+}/\text{Mn}^{2+}$ -Verhältnis <1) und rot bis orange lumineszierenden Säumen

($\text{Fe}^{2+}/\text{Mn}^{2+}$ -Verhältnis >1) (Barker & Kopp, 1991). Die Zwickelräume im Nebengestein werden zum Teil von gelb lumineszierendem Calcit und braun lumineszierendem Quarz ausgefüllt. Unter Kathodenstrahlung erkennt man auch meerblau lumineszierenden Feldspat und vereinzelt auch gelbgrün lumineszierenden Aragonit (Abb.4.11b,d). Die meerblauen Feldspäte deuten auf einen vermehrten Einbau von Ti^{4+} -Ionen hin. Unter linear polarisiertem Licht ist der Übergang vom Nebengestein zum Gang nicht deutlich erkennbar.

Gangsysteme, Gangstücke und nestartige Anreicherungen, der drei Kernstrecken weisen unterschiedliche Mineralphasen auf. Die Gangsysteme durchschlagen oft die wesentlichen variszischen Deformationsgefüge wie Schieferung, Aufschiebungs- und Überschiebungssysteme, werden jedoch vereinzelt von Störungszonen durchsetzt. Trotz gemeinsamer Merkmale kann man unterschiedliche Gangtypen unterscheiden mit einer Vielzahl struktureller Besonderheiten.

In Karbonat-Chlorit-Gängen treten Calcit- und Dolomit-Kristalle oft blockig mit undulöser Auslöschung auf. Hier hat eine Subkornbildung begonnen (Abb.4.6a). Der Dolomit weist oft einen Ankeritsaum auf. In zahlreichen Gängen erkennt man in den Calcitkristallen Translationslamellen, die als Anzeichen für Deformation gedeutet werden (Abb.4.6e,h). Ein charakteristisches strukturelles Merkmal ist die Ausbildung von faserigen antitaxialen Calcitkristallen (Abb.4.6c). Bei diesen Gängen wachsen die Kristalle von der Gangmitte zur Gangwand. Charakteristisch ist eine mittlere Linie, die im Zentrum dieser Gänge zu erkennen ist. Diese besteht aus angereicherten kleinen Calcitkörnern, die während der anfänglichen Ausbildung des Gangs wachsen. Die Gänge sind von Salbändern aus kleinen idiomorphen Quarzkristallen umgeben (Abb.4.6f). Des Weiteren erkennt man syntaxiale, nicht faserige Karbonat-Gänge (Abb.4.6d). Auch diese Gänge zeigen eine mittlere Linie. Sie besteht aus einer dünnen Chloritlage. Der Calcit bildet gestreckte blockige Kristalle, die eine undulöse Auslöschung zeigen. In den meisten Karbonat-Gängen erkennt man einen lateralen Chloritsaum. Oft ist der Chlorit durch Scherbeanspruchung gebändert und zeigt anomale hellblaue Interferenzfarben (Abb.4.6g). Die Chlorit-Säume können aber auch strahlig bis körnig erscheinen mit blauen Interferenzfarben (Abb.4.6b).

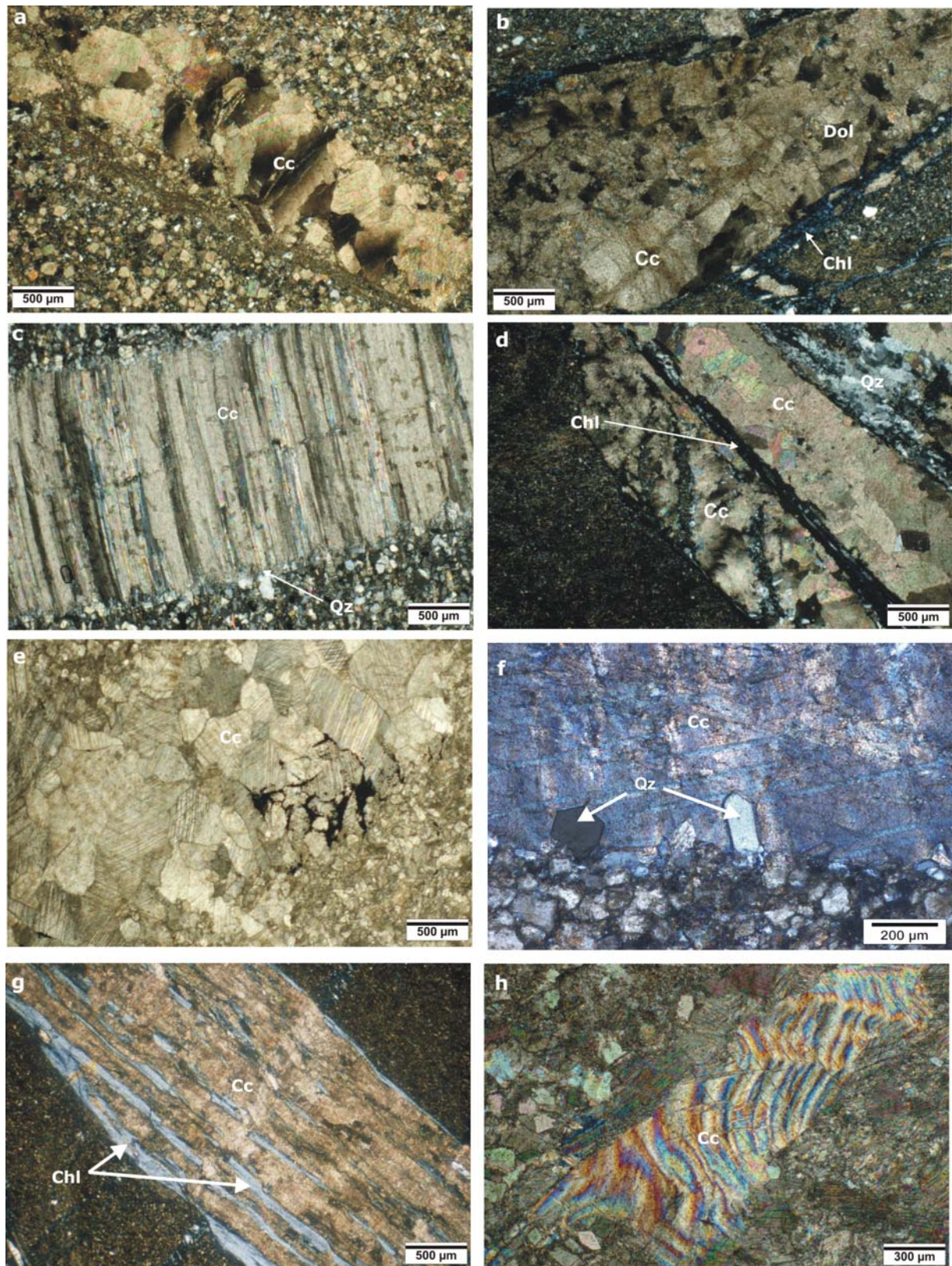


Abb.4.6: Unterschiedliche Karbonatgänge, zum Teil mit Chlorit Anwachsungen. Gangbildung aus der ersten Kernstrecke. a.b.c.d.f.g.h. unter gekreuzten Polarisatoren. e. unter linear polarisiertem Licht. a.e.f.h. Probe MC30. b.d. Probe MC32. c. Probe KS99. g. Probe MC97. Weitere Erläuterungen zu den Bildern im Text.

In Quarz-Chlorit-Gängen sind die Quarzkristalle blockig bis gestreckt (Abb.4.7). Die Quarzkristalle haben viele Pfade von Flüssigkeitseinschlüssen. An den Gangrändern erkennt man oft kleine gestreckte Quarzkristalle, die senkrecht zu den Salbändern wachsen (Abb.4.7a) oder feinkörnige zum Teil gestreckte Chloritkristalle mit anomal blauen Interferenzfarben (Abb.4.7b).

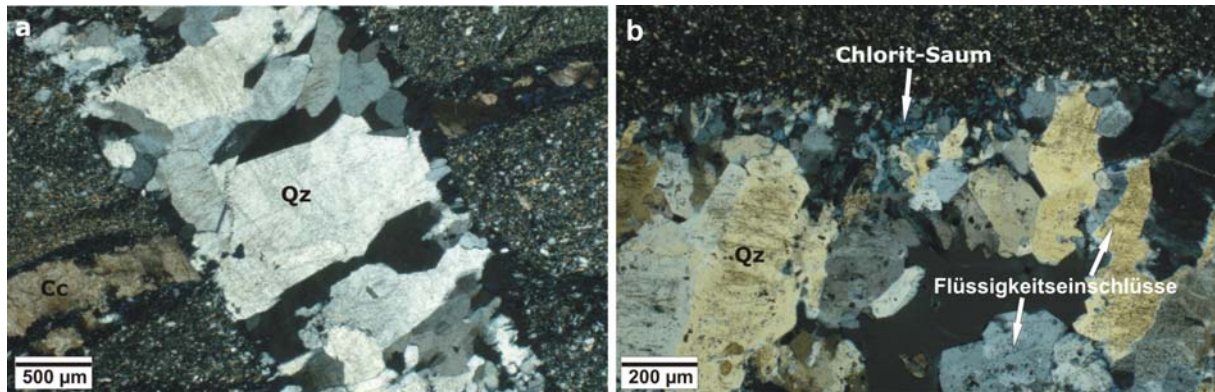


Abb.4.7: a.b. Quarz-Gänge aus der ersten Kernstrecke. a. Quarz-Gang durchschlägt einen Karbonat-Chlorit Gang, unter gekreuzten Polarisatoren (Probe MC112). b. Quarz-Gang mit Chlorit Saum, unter gekreuzten Polarisatoren (Probe MC112).

Am häufigsten kommen Quarz-Karbonat-Chlorit-Gänge vor (Abb.4.8). Quarz und Karbonat bilden blockige Kristalle. Die Quarzkristalle weisen viele Flüssigkeitseinschlüssen auf. Die karbonatischen Phasen bestehen aus Calcit, Dolomit und Ankerit. Dolomit und Ankerit bilden hier kleine tafelige Inseln im Calcit und stellen wahrscheinlich Umwandlungsprodukte dar (Abb.4.8a,c,f). Oft erkennt man mittig in den Gängen eine Nebengesteinsnaht (Abb.4.8a) oder feine Bänder aus Chlorit (Abb.4.8c,f). Die Chloritkristalle zeigen eine blaue Interferenzfarbe und kommen faserige und körnig strahlig vor (Abb.4.8d). In Gesteinen mit einer sandigen Matrix treten ataxiale Gänge (stretched crystals) auf (Abb.4.8b), die aus abwechselnden Quarz-Karbonat-Chlorit Lagen bestehen. Entlang der gestreckten Kristalle erkennt man Flüssigkeitseinschlüsse in Bahnen. Ein charakteristisches strukturelles Merkmal ist die Ausbildung von faserigen Quarz-, Karbonat-, und Chlorit-Kristallen, die auf ein Wachstum durch den Crack-Seal-Mechanismus zurückgeht (Abb.4.8e).

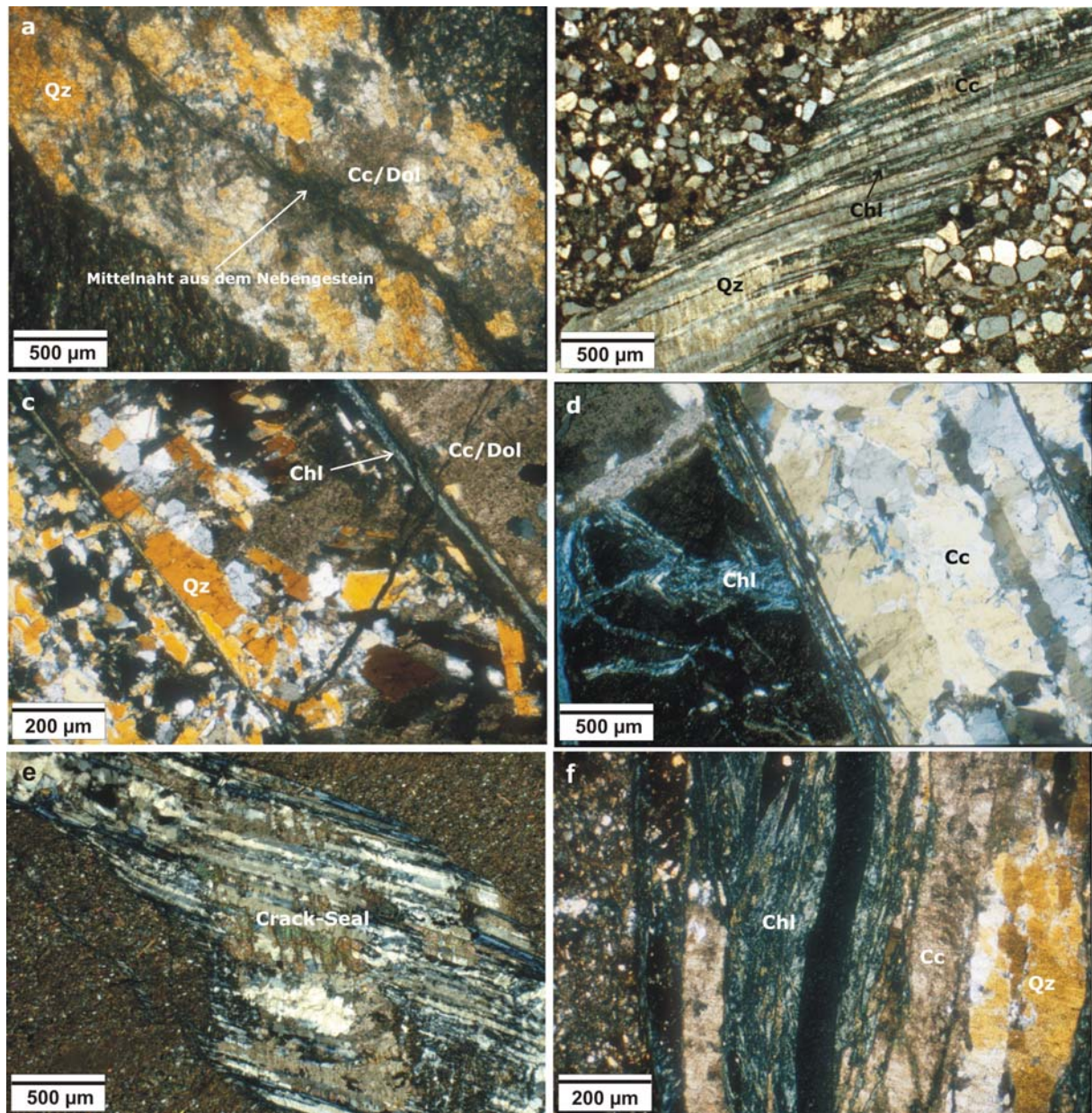


Abb.4.8: a,b,c,d,e,f : Quarz-Karbonat-Chlorit Gänge aus Gesteinen der ersten und zweiten Kernstrecke der Bohrung RWTH-1. Alle Dünnschliffbilder unter gekreuzten Polarisatoren. a. Probe MC107. b. MC32. c. MC67. d. MC108. e.f. KS114. Erläuterungen siehe Text.

Selten treten Gänge auf, die eine Pyrit-Vererzung aufweisen. Die Gangmitte besteht aus Quarz und Karbonatkristallen und die Gangränder aus idiomorphem würfelförmigem Pyrit. Die Säume dieser Gänge unterscheiden sich. Einerseits tritt als Gangsaum zum Nebengestein hin feinkörniger Chlorit auf (Abb.4.9a,c) andererseits erkennt man Chlorit in Form von Druckschatten entlang der Pyrit- Korngrenzen (Abb.4.9b,d). Die Druckschatten bestehen abwechselnd aus gestreckten Quarz- und gestreckten Chloritlagen, die senkrecht zur Pyrit- Korngrenze stehen (Abb.4.9b). Oft bildet der Chlorit äußere Säume um die Druckschatten (Abb.4.9d).

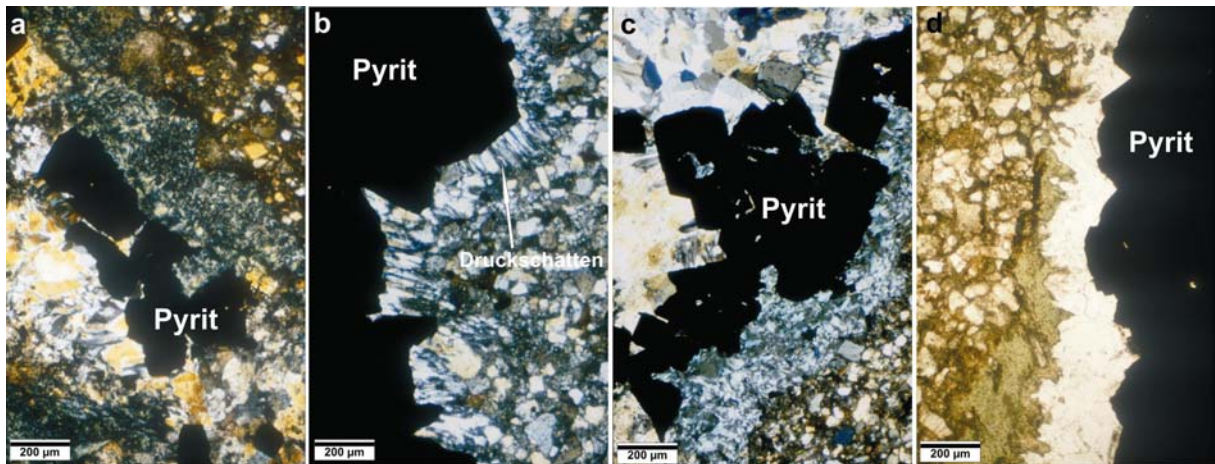


Abb.4.9: Proben aus der ersten Kernstrecke. a.b.c.d. Druckschatten entlang von Pyritkornsgrenzen. a.b.c. unter gekreuzten Polarisatoren. d. unter Linear Polarisiertem Licht. a. Probe MC112. b. Probe MC113. c.d. Probe MC120. Erläuterungen siehe Text.

Sehr untergeordnet tritt Chlorit in Form von fein verästelten körnigen Adern im Nebengestein auf (Abb.4.10a,b). Chlorit auf Schieferungsbahnen und entlang von Drucklösungssäumen, die häufigste Erscheinungsform in den Nebengesteinen, soll hier nicht betrachtet werden.

Dass die Gesteine nach den Kluftfüllungen noch tektonisch beansprucht wurden, wird durch viele gescherte Gänge ersichtlich (Abb.4.10c,d,e). Quarz-Chlorit Gänge zeigen oft einen deutlichen Versatz entlang von Drucklösungssäumen aus Tonmineralen (Abb.4.10c) oder entlang von Quarzgängen (Abb.4.10d). In Abb.4.10e ist ein Quarz-Chlorit Gang zu erkennen, der aufgebrochen ist und anschließend durch eine Scherbewegung mit einem Versatz entlang des Chloritsaums zusammengeführt wurde.

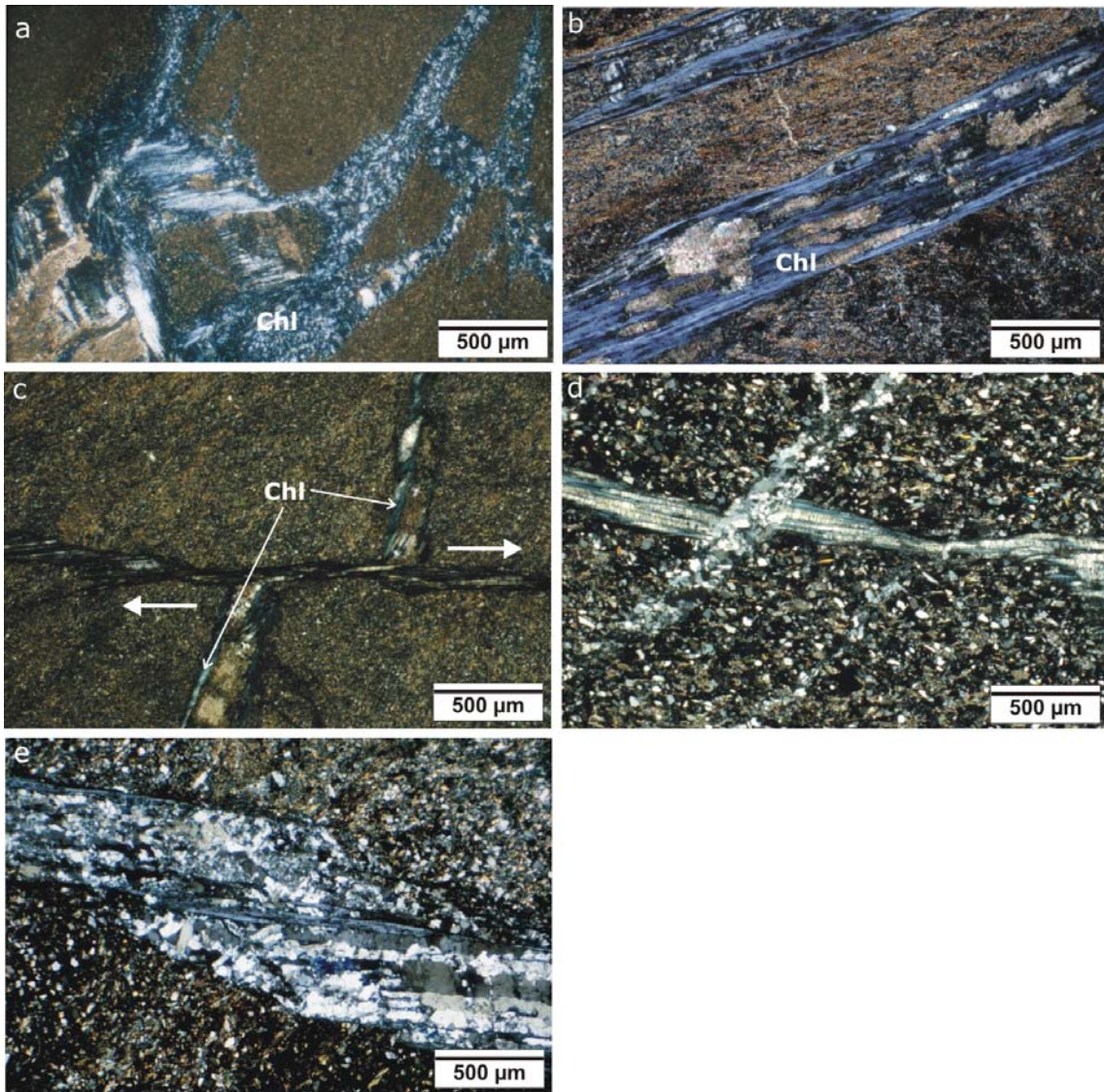


Abb.4.10: Dünnschliffbilder unter gekreuzten Polarisatoren. a.b. Chlorit Adern und Gänge. c.d.e. Gänge, die durch Scherung einen Versatz aufweisen. a.b. Probe MC87. c. MC82. d.e. MC34. Weitere Erläuterungen siehe Text.

Quarz-Karbonat Gänge im oberdevonischen Dolomit und in Tonsiltgesteinen der ersten Kernstrecke lassen unter Kathodenstrahlung weitere Einzelheiten erkennen (Abb.4.11). In diesen Gängen bildet der Calcit eine Matrix (hell gelbe Lumineszenz), in der der Dolomit mittig platziert ist (schwarze Lumineszenz) (Abb.4.11a,b). Im Dolomit erkennt man feine Mikrorisse, die mit Calcit verfüllt sind (Abb.4.11c,d). Sowohl im Calcit als auch im Dolomit erkennt man bis zu 50µm große idiomorphe Quarzkristalle mit einer braunen Lumineszenz. Überwiegend tritt Quarz mit Dolomit auf.

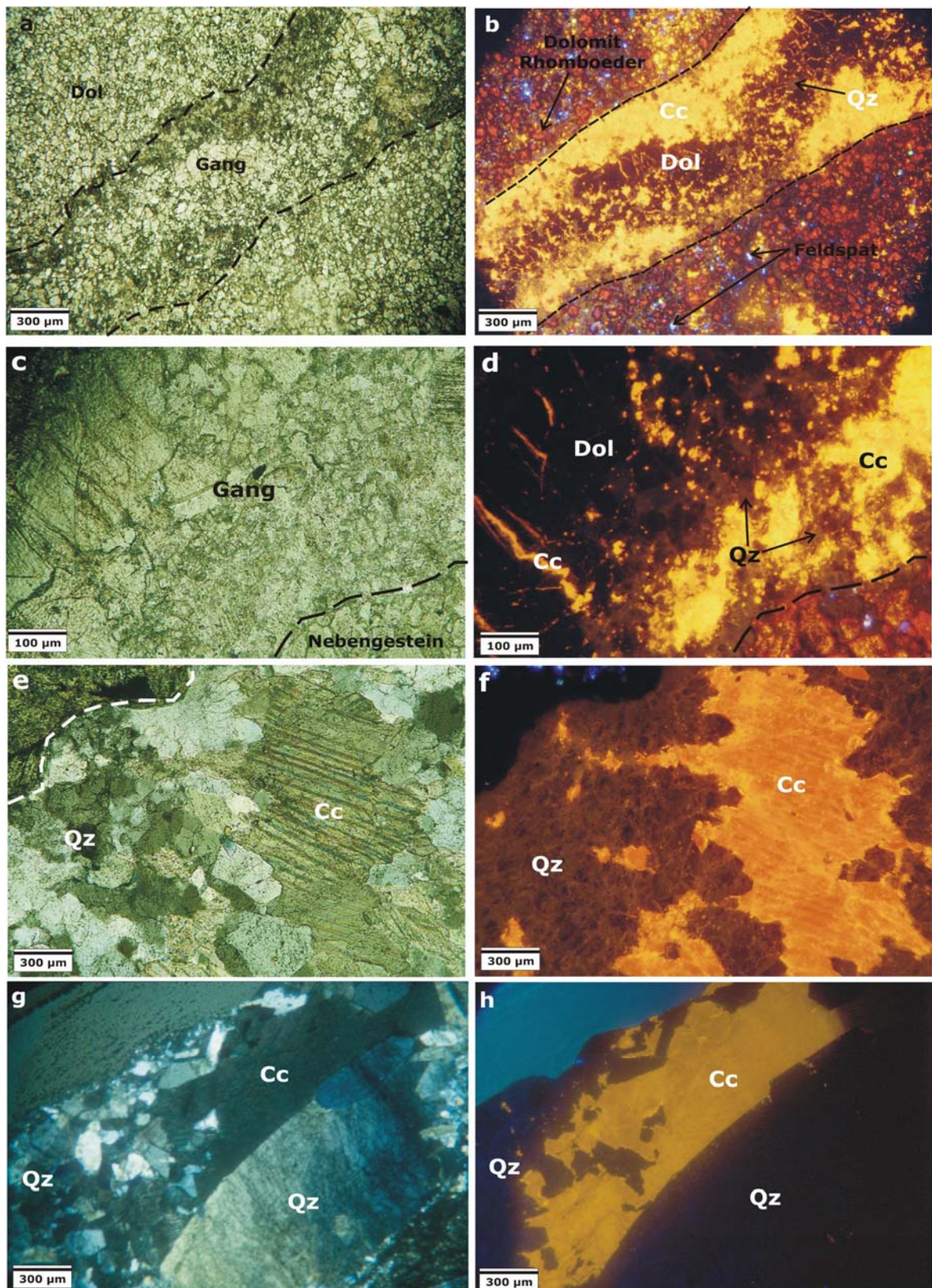


Abb4.11: a.b.c.d. Gangmineralisation aus Calcit, Dolomit und Quarz im oberdevonischen Dolomit der ersten Kernstrecke der Bohrung RWTH-1, in linear polarisiertem Licht (a, c) und unter Kathodenstrahlung (b, d) Probe MC30. e.f.g.h. Quarz-Calcit Gänge in einer Matrix aus Ton- Siltstein der ersten Kernstrecke unter gekreuzten Polarisatoren (e, g) und unter Kathodenstrahlung (f, h). Probe MC112. Erläuterungen siehe Text.

In Abb.4.11e,g sind Quarz-Calcit Gänge abgebildet, die die Schichtung und Schieferung von Ton-Silt Gesteinen der ersten Kernstrecke durchschlagen. Auch hier zeigt unter Kathodenstrahlung der Calcit in den Gängen gelb bis orange lumineszierende Farben. Quarz läßt wiederum braun (Abb.4.11f) und blau (Abb.4.11h) lumineszierende Kristalle in den Gängen erkennen. Diese Varianz kann möglicherweise auf die Alteration und die Überprägung der Gänge zurückgeführt werden.

4.1.3 Mineralchemie der Gangmineralisationen

Karbonate

Aus unterschiedlichen Teufen der Bohrung wurden Karbonate chemisch untersucht. Es handelt es sich um die Phasen Calcit, Dolomit und Ankerit. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen der jeweiligen Minerale sind im Anhang in den Tabellen III-35, III-36 und III-37 zusammengestellt. Es ist nur eine geringe Varianz der Mineralchemie Hinsichtlich der Teufe zu erkennen.

Calcit, der in Gängen auftritt, die von einer Dolomit- oder Kalksteinmatrix umgeben werden erreicht SrO-Werte von 0,11 bis 0,41 Gew.-%. Der FeO-Gehalt in diesem Calcit erreicht Werte bis 1,65 Gew.-%. Auffällig ist, dass auch die Spurenelementgehalte der Nebengesteine (~1410m), die diese Gänge mit den erhöhten Sr-Gehalten umgeben, deutlich unterschiedlich sind im Verhältnis zu anderen Kernabschnitten. Die Cu-, Zn- und Ba- Gehalte sind in dieser Tiefe ebenfalls höher konzentriert. Die tektonische Interpretation der Bohrkerne legt für diese Teufe Störungsbahnen nahe (Ribbert, 2006). Gänge, die in einer Ton-Silt-Matrix vorkommen, weisen statt Calcit überwiegend Dolomit/Ankerit als Karbonatphase auf. Die meisten der untersuchten Karbonate weisen hier Fe/(Fe+Mg)-Verhältnisse über 0,2 auf und sind daher als Ankerit zu bezeichnen (Chang et al., 1996). Da jedoch in einigen Gangsystemen Karbonate im Übergang zwischen dolomitischer und ankeritischer Zusammensetzung auftreten, wird die Bezeichnung Dolomit/Ankerit verwendet. Dolomit/Ankerit aller untersuchten Zerrklufsysteme zeigt relativ variable Fe/Mg-Verhältnisse innerhalb eines Gangsystems (Abb.4.12).

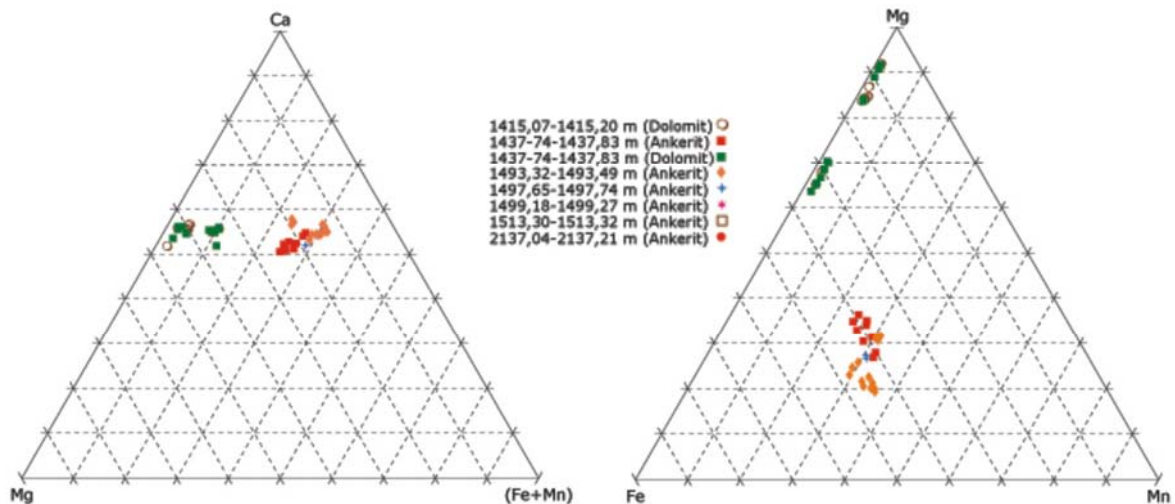


Abb.4.12: Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit in Gängen der RWTH-1 Bohrung in den Systemen Ca-Mg-(Fe+Mn) und Mg-Fe-Mn in (Mol.-%).

Die relativ niedrigen Mn-Konzentrationen in Calcit und Dolomit aus Gängen der ersten und zweiten Kernstrecke erlauben eine Anwendung der Calcit-Dolomit-Thermometrie für auftretende Berührungsparagenesen aus Dolomit und Calcit (Powell et al., 1984; Anovitz & Essene, 1987). Die Temperaturen die durch die chemische Zusammensetzung der Calcit-Dolomit-Paare angezeigt werden variieren zwischen 280 und 330°C (Abb.4.13).

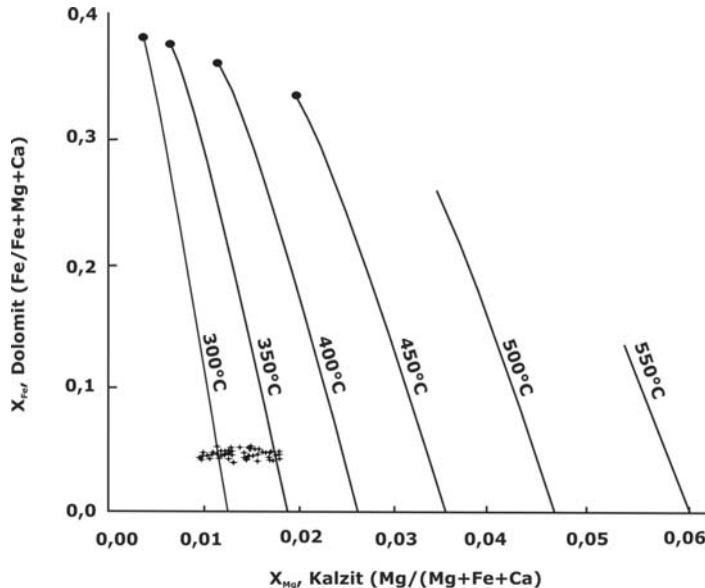


Abb.4.13: Graphische Darstellung von $X_{Fe, dol}$ aufgetragen gegen $X_{Mg, cc}$. Angezeigt wird die Bildungstemperatur der auftretenden Berührungsparagenesen von Dolomit und Calcit in den Karbonatgängen der RWTH-1 Bohrung. Die Punkte liegen überwiegend zwischen den 300 und 350°C Kurven (nach Powell et al., 1984).

9 Proben aus der Bohrung RWTH-1 wurden auf die Gehalte an Seltenerdelementen (SEE) untersucht. Bei den untersuchten Proben handelt es sich um Calcit aus Gängen, die zum Teil aus Bohrkleinproben und überwiegend aus Bohrkernen entnommen wurden. Die Wahrscheinlichkeit, dass auch Dolomit und Ankerit mit beprobt wurden kann nicht ausgeschlossen werden. Im Diagramm (Abb.4.14) werden die Seltenerdelemente normiert dargestellt. Im Anhang sind die Seltenerdelementgehalte der untersuchten Proben aufgelistet (Tabelle V-6). Die Normwerte des C1-Chondriten sind im Anhang in Tabelle V-2 aufgelistet.

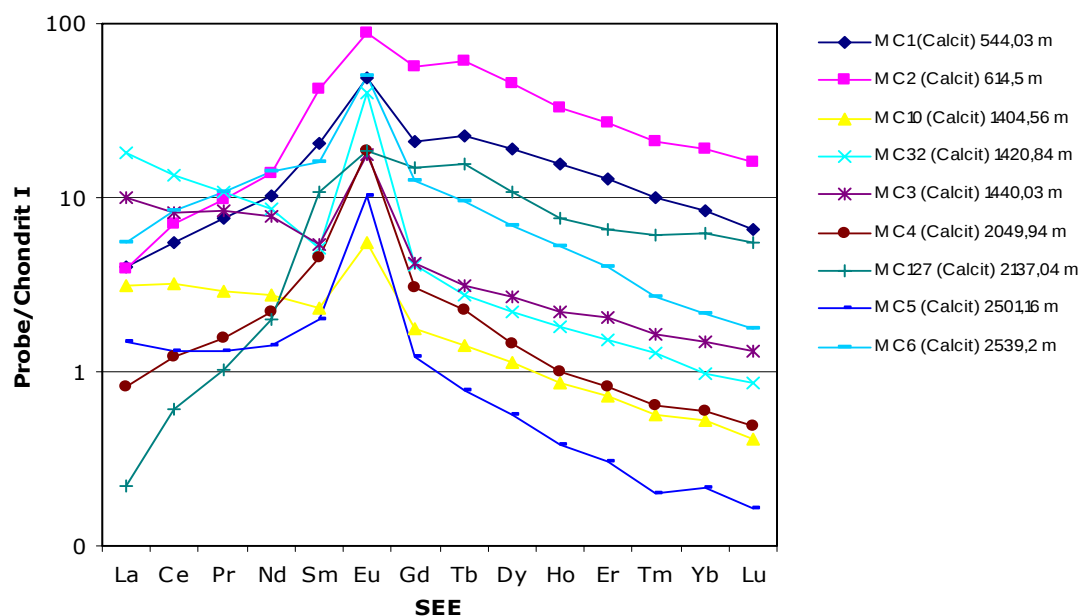


Abb.4.14: Verteilungsmuster der SEE in Calcitgängen der RWTH-1 Bohrung in Aachen. Werte sind auf C1 nach McDonough & Sun (1995) normiert.

Die Seltenerdelemente (SEE) in Gangcalciten der Bohrung zeigen deutliche Unterschiede (Abb.4.14). Gangacalcit (MC1, MC2) aus den oberkarbonischen Gesteinsschichten ist am höchsten konzentriert. Proben aus der ersten Kernstrecke (MC3, MC10, MC32) zeigen untereinander ebenfalls ähnliche Konzentrationen. Die Gangcalcite aus den unterdevonischen Gesteinsschichten (MC4, MC5, MC6, MC127) variieren deutlicher in ihren Konzentrationen. Die Verteilungsmuster der leichten SEE unterscheiden sich in den Proben deutlich untereinander im Gegensatz zu den Verteilungsmustern der schweren SEE. Es ist außerdem eine Anreicherung der leichten gegenüber den schweren Seltenerdelementen in allen Proben zu erkennen.

Die normierten Proben MC1 und MC2 zeigen bezüglich ihrer leichten SEE eine positive Steigung ($La_N/Sm_N=0,09-0,20$) und eine leicht negative Steigung der schweren SEE ($Gd_N/Yb_N=2,46-2,99$). Die schweren SEE sind gegenüber den leichten SEE dennoch gering angereichert. Außerdem ist eine positive Europiumanomalie in diesen Proben zu erkennen ($Eu/Eu^*=1,80-2,38$).

Die normierten leichten SEE der Gangcalcite aus der ersten Bohrkernstrecke zeigen eine leicht negative Steigung ($La_N/Sm_N=1,34-3,56$) im Gegensatz zu den schweren SEE mit einer relativ flach liegenden negativen Steigung ($Gd_N/Yb_N=2,76-4,20$). Diese Proben weisen ebenfalls eine deutlich positive Europiumanomalie auf ($Eu/Eu^*=2,73-8,84$).

Die Gangcalcite aus den unterdevonischen Gesteinsschichten, die zum Teil aus der zweiten und dritten Kernstrecke stammen, weisen eine stark positive Steigung der leichten SEE ($La_N/Sm_N=0,02-0,75$) und eine negative Steigung der schweren SEE ($Gd_N/Yb_N=2,38-5,73$) auf. Auch in diesen Proben ist eine positive Europiumanomalie zu erkennen ($Eu/Eu^*=1,47-6,54$).

Chlorit

Chemisch wurde Chlorit untersucht, der als Gangphase zusammen mit Karbonat und Quarz, oder als Gangphase mit Pyrit und Quarz oder in Form von feinen Adern im Nebengestein vorkommt. Die Ergebnisse sind im Anhang in den Tabellen III-38, III-39 und III-40 dargestellt.

Nach der Nomenklatur nach Hey (1954) sind die Chlorite überwiegend als Ripidolithe zu bezeichnen (Abb.4.15), ein kleiner Teil wird als Pseudothuringit klassifiziert. Bezüglich der Tiefe ist keine Varianz des Chemismus zu erkennen. Chlorite aus den Quarz-Karbonatgängen ($FeO=30,03$ bis $37,96$ Gew.-%) streuen in ihren FeO-Gehalten ähnlich wie die aus Adern im Nebengestein ($FeO=30,00$ bis $35,64$ Gew.-%). Chlorit aus Pyrit-Quarz Gängen zeigt konstantere FeO-Gehalte von $34,70$ bis $35,89$ Gew.-%.

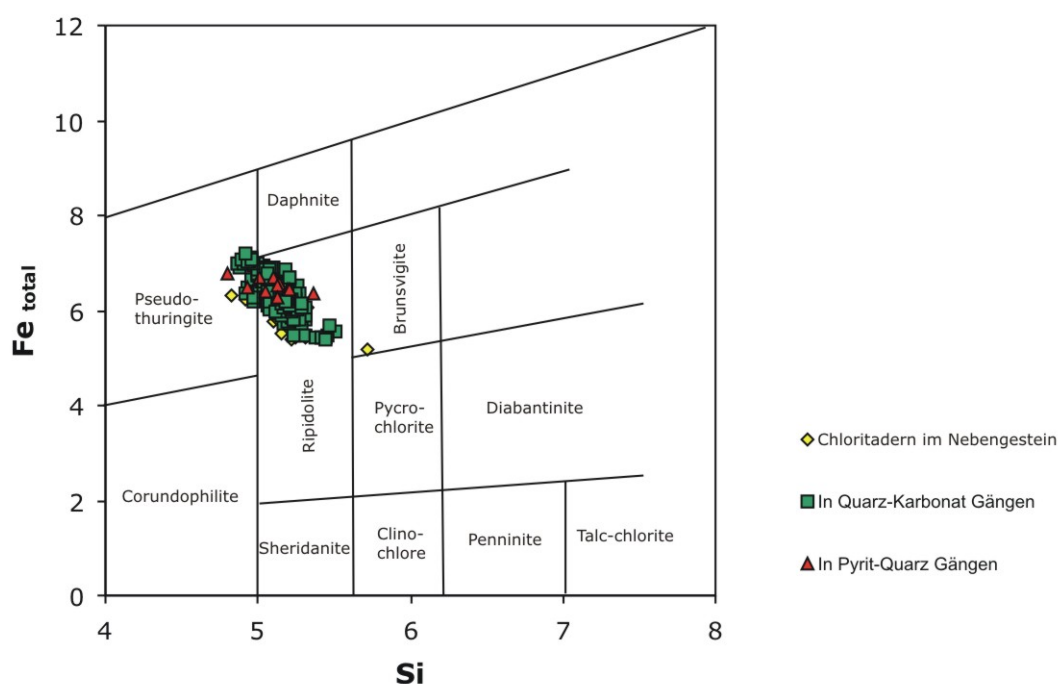


Abb.4.15: Chemische Zusammensetzung der untersuchten Chlorite aus der Bohrung RWTH-1, Aachen (Klassifikation nach Hey, 1954).

Eine Berechnung von Temperaturen aus Chloritzusammensetzungen auf der Basis verschiedener geothermometrischer Methoden (Walshe, 1986; Chathelineau und Nieve, 1985; Chathelineau, 1988; Zang und Fyfe, 1995) führt generell zu relativ hohen und sehr ähnlichen Werten für alle untersuchten Chlorite. Die resultierenden Temperaturen liegen zwischen 290 und 370°C mit einem Mittelwert bei 310 °C.

4.1.4 Isotopengeochemie

Sr-Isotopensignaturen

Aus ausgesuchten Bohrklein- und Bohrkernproben unterschiedlicher Teufen wurden Gangmineralisationen für die Bestimmung von Sr-Isotopensignaturen ausgewählt. Bei den Gangphasen handelt es sich um Karbonate (Calcit, Dolomit, Ankerit) und Chlorit. Darüber hinaus wurden die Sr-Signaturen von Anhydrit-Konkretionen im Nebengestein bestimmt. Zusätzlich wurde für einige Gängen das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis des HCl-löslichen Anteils des unmittelbaren Nebengesteins bestimmt, um zu erfassen, ob sich die Gangphasen materiell aus dem Nebengestein rekrutieren. Aufgrund von submikroskopischen Verwachsungen von Calcit, Dolomit und Ankerit werden die Karbonatproben pauschal als Karbonatproben behandelt.

Die Karbonate variieren über die Bohrstrecke in ihren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen signifikant (Abb.4.16). Karbonatproben aus oberkarbonischen Gesteinsschichten weisen Sr-Signaturen zwischen $0,71107 \pm 1$ und $0,71145 \pm 1$ auf. Der HCl-lösliche Anteil des Nebengesteins aus diesen Teufen ist geringer radiogen und liegt bei $0,71049 \pm 1$, bei Sr- und Rb- Konzentrationen von 53,36 ppm bzw. 0,55 ppm.

Die Karbonatproben aus Gängen der oberdevonischen Gesteinsschichten zeigen deutlich höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse, sind untereinander aber sehr ähnlich. Die Sr-Signaturen liegen zwischen $0,71647 \pm 1$ und $0,71682 \pm 1$. Auch bei diesen Proben ist die Sr-Signatur des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins geringer radiogen mit einem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von $0,71416 \pm 1$ und Konzentrationen von 15,41 ppm Sr und 0,21 ppm Rb.

Die Gangkarbonate aus den unterdevonischen Gesteinsschichten zeigen eine breite Varianz in ihren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen. Sie liegt zwischen $0,70953 \pm 1$ und $0,71834 \pm 1$. Der HCl-lösliche Anteil des unmittelbaren Nebengesteins dieser Gänge ist zum größten Teil höher radiogen mit Sr-Signaturen zwischen $0,71671 \pm 1$ und $0,72138 \pm 1$ und Sr- bzw. Rb-Konzentrationen von 0,99-3,84 ppm bzw. 0,26-1,55 ppm. In den untersuchten Gängen aus den oberkarbonischen und oberdevonischen Gesteinsschichten kommt kein Chlorit vor.

In den unterdevonischen Gesteinsschichten kommt Chlorit überwiegend zusammen mit Karbonatmineralen in den Gängen vor. Die Chloritproben der entsprechenden Gänge variieren in ihren Sr-Signaturen zwischen $0,71460 \pm 3$ und $0,72628 \pm 3$. Die Sr- und Rb-Konzentration liegt bei 2,5-73,93 ppm und 0,77-36,43 ppm entsprechend. Die Sr-

Signaturen der Chlorite variieren ähnlich stark wie die der Karbonate aus den gleichen Teufen.

In den oberdevonischen Gesteinsschichten kommen vereinzelt Anhydrit-Konkretionen vor, die Sr-Signaturen von $0,71314 \pm 1$ und $0,71433 \pm 1$ aufweisen. Allerdings ist zu erwähnen dass die Varianz in den Signaturen eventuell durch die submikroskopischen Coelestin- und Baryt- Einschlüsse zu erklären ist. Alle Ergebnisse sind im Anhang in den Tabellen XII-20 und XII-21 dargestellt.

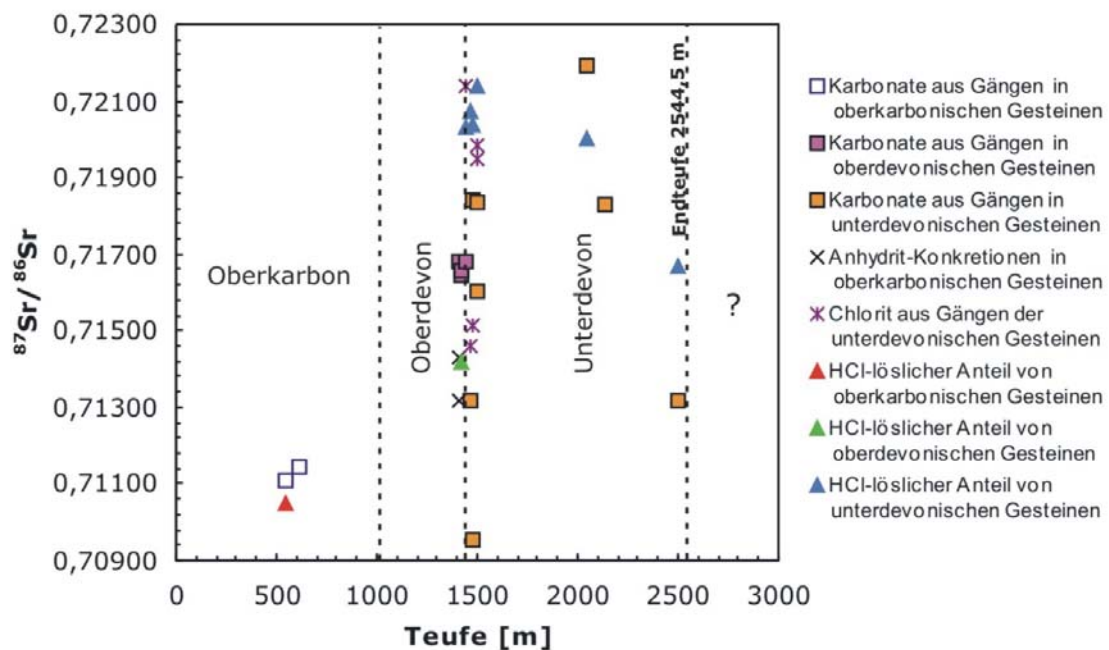


Abb.4.16: $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der untersuchten Proben von Karbonat, Chlorit, Anhydrit und HCl-löslichem Anteil des Nebengesteins aus der Bohrung RWTH-1, Aachen gegen die Teufe aufgetragen.

Die für eine Rb-Sr Isochronen-Altersbestimmung notwendige Voraussetzung eines isotopischen Gleichgewichts kogenetischer Proben und damit eines identischen initialen Strontiums ist für keinen Zeitpunkt der geologischen Vergangenheit für Karbonat und Chlorit in den Karbonat/Chlorit Gängen erfüllt.

Die Signaturen des HCl-löslichen Anteils der jeweiligen Nebengesteine, die indirekt an Gangmineralisationen liegen, können Aufschluss auf die Herkunft des Lösungsinhalts der Fluiden Phase und die mögliche Verwandtschaft mit den benachbarten Mineralneubildungen in den Gängen geben. Hierzu ist es notwendig, eine Vergleichbarkeit der Sr-Isotopien durch Alterskorrekturen über Rb/Sr-Verhältnisse herzustellen.

Der Karbonatgang (B2) in den oberkarbonischen Gesteinsschichten weist eine Sr-Signatur von $0,711069 \pm 1$ auf, die höher radiogen ist als die Sr-Signatur des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins heute ($0,710492 \pm 1$) und vor 300 Ma ($0,71036 \pm 2$), was das wahrscheinliche Bildungsalter der Gänge ist. Der Karbonatgang (MC30) in den

oberdevonischen Gesteinsschichten weist ebenfalls eine Sr-Signatur ($0,71647 \pm 1$) auf, die höher radiogen ist als die Sr-Signatur des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins heute ($0,71415 \pm 1$) und vor 300 Ma ($0,71390 \pm 1$).

Die Karbonatgänge (VB1, B6) in den unterdevonischen Siegen und Ems Schichten weisen geringer radiogene Signaturen auf ($0,71318 \pm 1$ (VB1); $0,71318 \pm 1$ (B6)) als die auf 320 Ma zurückgerechneten ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)₃₂₀-Signaturen des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins. Diese liegen bei $0,71541 \pm 1$ (VB1) und $0,71648 \pm 3$ (B6). Die Sr-Signaturen des Nebengesteins heute sind auch höher radiogen mit $0,72073 \pm 1$ (VB1) und $0,71671 \pm 1$ (B6). Der Karbonatgang VB4a weist eine Sr-Signatur auf ($0,71602 \pm 1$), die höher radiogen ist als das auf 320 Ma zurückgerechnete $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss von $0,71570 \pm 2$. Die Sr-Signatur des HCl-löslichen Anteils seines Nebengesteins heute ($0,72137 \pm 1$) ist höher radiogen als der Karbonatgang.

Der Karbonatgang B4 ist höher radiogen ($0,72190 \pm 1$) als der HCl-lösliche Anteil des Nebengesteins heute ($0,72003 \pm 1$) und höher radiogen als das auf 320 Ma zurückgerechnete $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis des Nebengesteins von $0,71661 \pm 1$.

Die zurückgerechneten Werte der leicht löslichen Anteile des Nebengesteins der jeweiligen Proben sind in Tabelle XII-21 im Anhang aufgelistet.

Pb-Isotopensignaturen

Drei Pyritproben aus der ersten Kernstrecke wurden auf ihre Pb-Isotopenzusammensetzung untersucht. Alle Pyritproben zeigen ähnliche Pb-Isotopenverhältnisse.

Die Pb-Isotopendaten der von Large et al. (1983) und Krahn (1988) untersuchten Vererzungen aus dem Raum Aachen verteilen sich auf zwei Populationen, die als variszisch und postvariszisch katalogisiert werden. Die hier untersuchten Pyritproben aus der Bohrung fallen nach dieser Klassifikation in das Feld der variszischen Vererzungen. Die massenfractionierungskorrigierten Messergebnisse der Verhältnisse $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sind in Tabelle XII-19 im Anhang aufgelistet. Abb.4.17 zeigt die Darstellung der Isotopenverhältnisse im $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ Diagramm. Die dargestellten Pb-Signaturen erfassen den 2σ -Streubereich. Als Referenzkurven wurden die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen. Die Pb-Isotopenverhältnisse der Pyritproben liegen in unmittelbarer Nähe zu diesen Entwicklungslinien. Dies wird als Hinweis auf eine krustale Herkunft des Bleis in diesen Proben interpretiert.

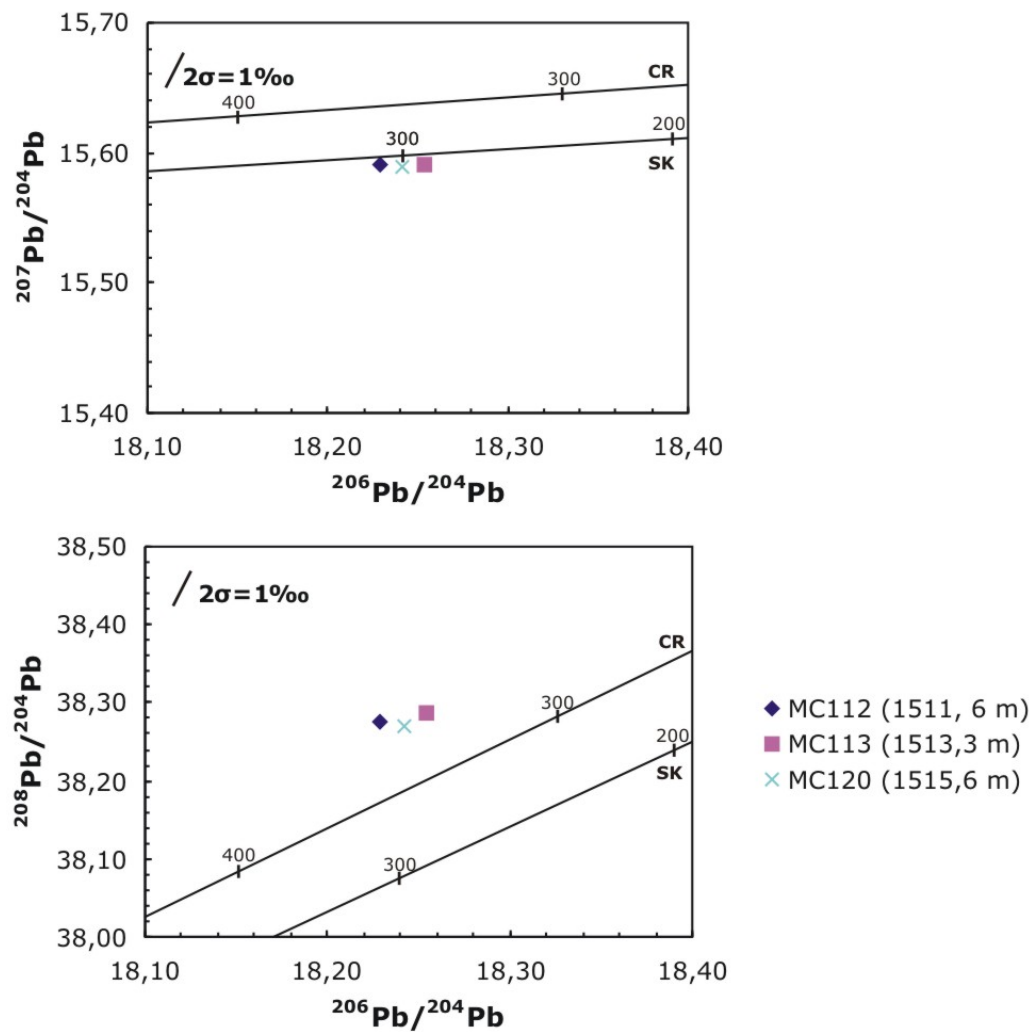


Abb.4.17: Pb-Isotopie der untersuchten Pyrite aus der Bohrung RWTH-1, Aachen. Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen.

4.2 Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath

4.2.1 Aufschlussverhältnisse

Im Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke der Firma Meyer werden Karbonate des Visé und des Tournai für die Herstellung von Kalk und Kalkprodukten abgebaut. Im Rahmen dieses Abbaus sind mehrere große Sohlen freigestellt.

In den Wänden sind makroskopisch subvertikale Gänge mit bis zu 20 cm Breite zu erkennen (Abb.4.18a,d), die parallel zur Sandgewandstörung verlaufen. Verbreitet sind Karsttaschen und verfüllte Spalten, in denen sich mittig kohliges, feinkörniges inkohäsives pulvriges Material befindet (Abb.4.18b, c). Die Gänge werden von Karbonaten (Calcit, Dolomit, Ankerit), Quarz und Erzen (Bleiglanz, Zinkblende, Chalkopyrit, Pyrit, Bornit) aufgebaut und deuten auf komplexe tektonische Prozesse in Verbindung mit hydrothermaleem Fluss hin.

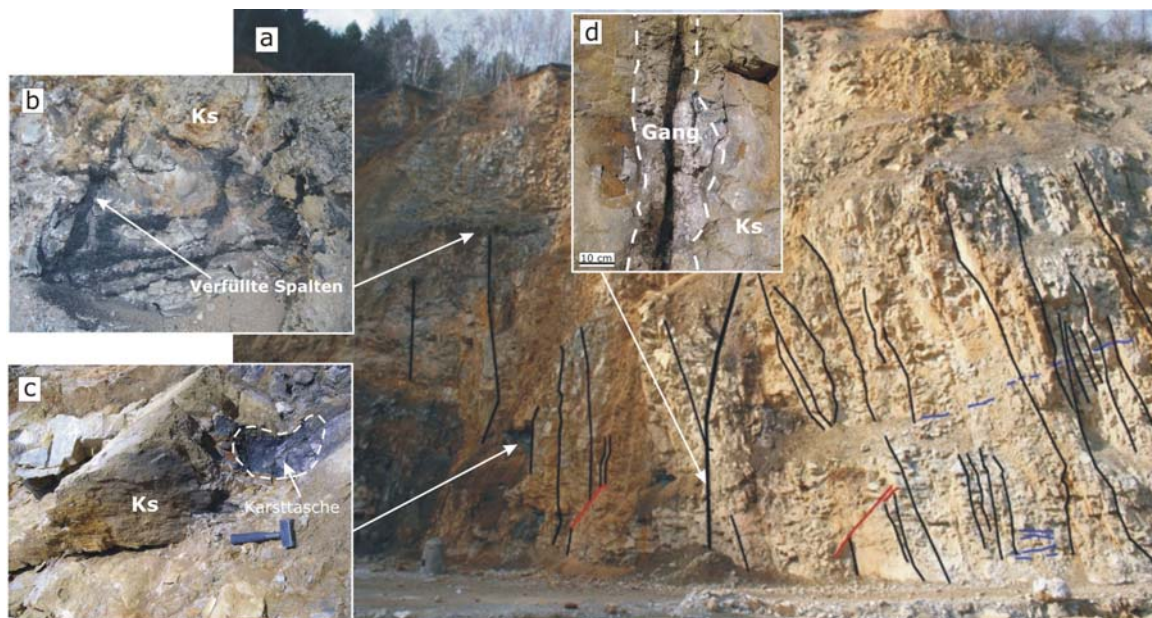


Abb.4.18: a. Gangscharen in der NW Aufschlusswand der Hastenrather Kalkwerke. Makroskopisch sind seigere Gänge (d) und verfüllte Karsttaschen/verfüllte Spalten zu erkennen (b, c).

Aus drei unterschiedlichen Aufschlussbereichen wurden Proben aus Profilen über die Gänge entnommen (Abb.4.19a,b,c). Des Weiteren wurde das Nebengestein (Oberer Kohlenkalk, Visé) sowie das Füllmaterial aus Sedimenteinträgen, Sinterbildungen und Erzmineralen der Karsttaschen beprobt (Abb.4.18d,c). Kohliges Material tritt auch mittig als Füllmenge in subvertikalen Klüften auf (Abb.4.19a). Im Nebengestein treten bis zu 1cm breite faserige Quarz-Karbonatadern auf, die keine bestimmte Orientierung aufweisen (Abb.4.19d). Sie bilden netzwerkartige Gängen unterschiedlicher Größe und Form. Diese wurden ebenfalls beprobt. Als augenscheinlich jüngstes Material bezüglich der karbonatischen Phasen wurden im NE des Steinbruchs Kalksinterbildungen aus Karsthohlräumen beprobt (Abb.4.19e).

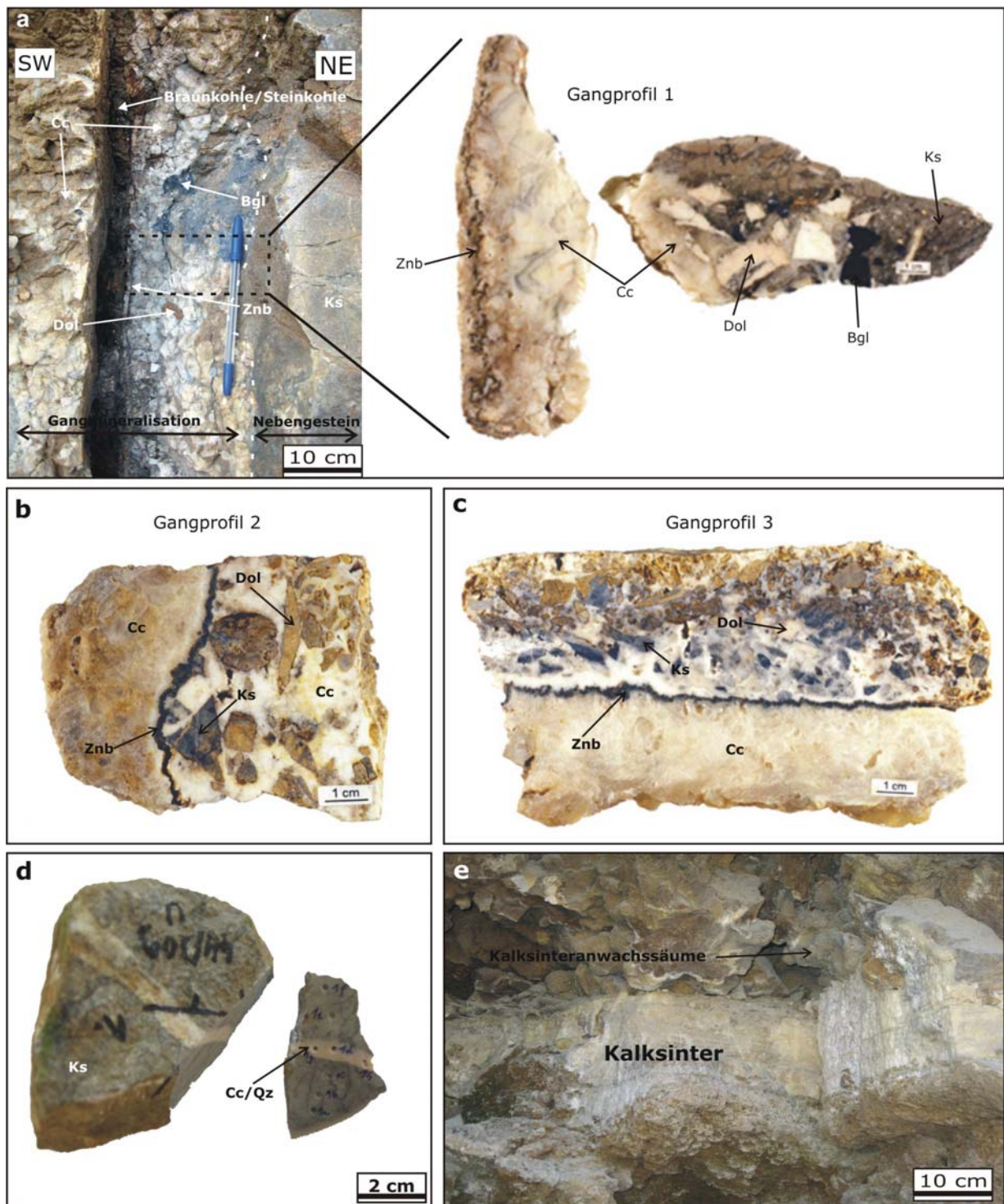


Abb.4.19: Repräsentativ entnommene Probenstücke aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. a. Subvertikaler zementierter Gang (Gang 1=symmetrischer Aufbau) im Kalkstein. Er besteht aus Karbonatischen- und Sulfid- Phasen. Mittig tritt eine Kluft auf, die verfüllt ist mit inkohäsi- vem organischem Material (Braunkohle). b, c. Die Gänge 2 und 3 verlaufen Parallel zu Gang 1. Sie weisen einen ähnlichen Strukturaufbau wie Gang 1 auf. Gang 3 ist unter Aufschlussverhältnissen um 90° im Uhrzeigersinn aufgeschlossen. d. Nebengesteinprobe mit faserigen Quarz-Karbonat Gängen. e. Als jüngste Karbonatphase treten Kalksinter auf, die auf das Nebengestein angewachsen sind. Zu erkennen sind Kalksinteranwachssäume und Calcit-Nadeln. Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Qz=Quarz, Znb=Zinkblende, Bgl=Bleiglanz, Ks=Kalkstein.

4.2.2 Petrographie

4.2.2.1 Petrographie des Visé-Kalksteins

Die unterkarbonischen Gesteine des Visé (Oberer Kohlenkalk) zeigen eine Varianz in ihrem Aufbau und ihrer Zusammensetzung. Es treten Bereiche auf, die überwiegend aus Calcit bestehen, jedoch oft silifiziert und dolomitisiert sind.

Die Proben HR20, HR22 und HR23 sind oosparitische Kalksteine, wie es typisch ist für den Rahmen der Gangmineralisationen in Hastenrath (Abb.4.20a,b,c,d). Die Proben HR16-HR18 sind Kalksteine die keine Dolomitisierung aufweisen. Im Dünnschliff der Probe HR20 erkennt man Ooide, die aus einer oder mehreren konzentrisch um einen Kern angeordneten Schalen aufgebaut sind. Der Kerne bestehen wie die Schalen aus karbonatischen Partikeln. Die Größe der Ooide liegt zwischen 0,01 und 0,1 mm. Für die Bildung der Ooide können biochemische oder anorganische Prozesse verantwortlich sein. Diese Ooide sind zementiert in einer sparitischen Matrix. Die Matrix besteht aus subhedralen Calcitkristallen, die durch eine Zwillingslamellierung gekennzeichnet ist. Sie wird von feinen calcitischen Adern durchzogen (Abb.4.20c,d).

Unter Kathodenstrahlung weisen die Ooide in den Proben HR20, HR22, HR23 unterschiedlich lumineszierende Lagen auf. Der Kern zeigt meistens eine dunkel orange bis braune Kathodolumineszenz-Farbe, wohingegen der Saum eine gelbe bis orange Farbe aufweist (Abb.4.20a,c). Die hellen Bereiche erweisen sich als Mn^{2+} - reicher, die dunklen Bereiche als Fe^{2+} - reicher. Die unterschiedliche Lumineszenz beschreibt Wachstumszonen. Die sparitische Matrix zeigt im Vergleich zu den Ooiden dunkelorange bis braune KL-Farbe (Abb.4.20a,c).

Hypidiomorphe Karbonatkristalle in der oosparitischen Matrix der Probe HR19 weisen gelbe bzw. orange Kathodolumineszenz-Farben auf. Orange Kathodolumineszenz-Farben kennzeichnen den Dolomit, gelbe Farben den Calcit (Abb.4.20g,h). Unter linear polarisiertem Licht ist eine solche Differenzierung nicht zu erkennen. In dieser Probe treten idiomorphe Quarzkristalle mit einer dunkelbraunen Lumineszenz auf (Abb.4.20g,h).

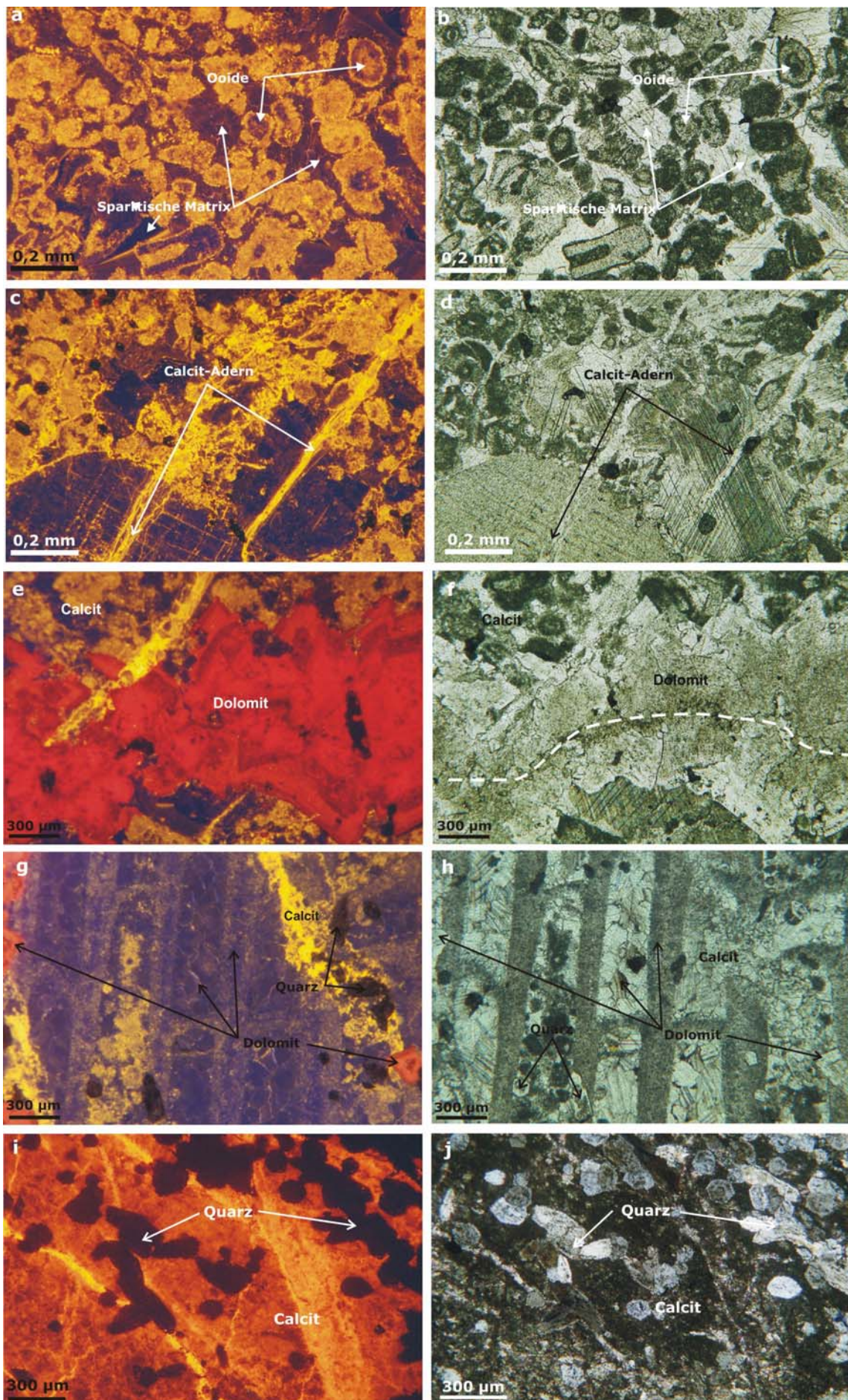


Abb.4.20: Details der Kalksteine des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke. Probe HR20. Rahmengestein der subvertikalen Gänge aus Oolithen in einer sparitischen Matrix (a) unter Kathodenstrahlung und (b) unter linear polarisiertem Licht. Probe HR22. Calcitkristalle, die von feinen Kalzitadern durchzogen werden unter Kathodenstrahlung (c) und unter linear polarisiertem Licht (d). Probe HR20 Dolomitisierte Bahnen im oosparitischen Nebengestein unter Kathodenstrahlung (e) und unter linear polarisiertem Licht (f). Probe HR19. Lamellen aus Dolomit mit unterschiedlicher Lumineszenz (g) und idiomorphe Quarze unter Kathodenstrahlung (g) und unter linear polarisiertem Licht (h). Der Calcit unterscheidet sich durch die gelbe Lumineszenzfarbe (g). Probe HR23 mit einer Quarz-Zone unter Kathodenstrahlung (i) und unter gekreuzten Polarisatoren (j). Weitere Erläuterungen siehe Text.

Entlang von verästelten Bahnen in der Matrix der Probe HR20 findet eine Dolomitisierung statt (Abb.4.20e,f). Die Bahnen lassen eine mittlere Naht erkennen, die mikroskopisch nicht weiter charakterisiert werden kann. Entlang dieser Bahnen treten rhomboederförmige Dolomitkristalle auf, die unter Kathodenstrahlung eine Zonierung aufweisen. Die Dolomite zeigen rote bis dunkelrote Lumineszenz (Abb.4.20e). Die äußeren Säume der Dolomitrhomboeder weisen dunklere Lumineszenzfarben auf. Die unterschiedliche Lumineszenz beschreibt Wachstumszonen.

Im Nebengestein der Probe HR19 treten Bereiche auf, in denen mikroskopisch parallele Streifen zu erkennen sind, die an Zwillingslamellen erinnern (Abb.4.20g,h). Die Lamellen zeigen an manchen Stellen gelbe Lumineszenz (Calcit), sind aber überwiegend blau bis violett (Dolomit). In den Zwischenräumen der Lamellen erkennt man Korngrenzen von blau bis violett lumineszierenden Dolomitkristallen. Der äußere Saum dieser Kristalle weist eine heller violette Lumineszenz auf (Abb.4.20g). In unmittelbarer Nähe treten auch rot lumineszierende idiomorphe Dolomitrhomboeder auf. Die Quarzkristalle sind unter Kathodolumineszenz leichter zu erkennen als unter linear polarisiertem Licht (Abb.4.20g,h).

Im Oosparit der Probe HR23 kommen vermehrt Bereiche mit idiomorphem Quarz vor (Abb.4.20i,j). Die milchig-trüben Quarze weisen alle einen inneren Bereich mit festen und flüssigen Einschlüssen auf (Abb.4.20j). Oft erkennt man sechseckige Querschnitte der Kristalle. Diese Quarze befinden sich in der sparitischen Calcit Matrix, die unter Kathodenstrahlung unterschiedliche Lumineszenz aufweist (Abb.4.20i). Es kommen hier dunkel gelbe bis orange lumineszierende Calcitkristalle vor (Abb.4.20i). Letztere sind in Bahnen angeordnet.

4.2.2.2 Petrographie der Kalksinter

Im NE des Hastenrather Steinbruchs sind Kalksinter in Hohlräumen aufgeschlossen (Probe HR21). Die Kalksinterprobe tritt als lückenloses aus langgestreckten Karbonatkristallen aufgebautes Gestein auf. Die Karbonatkristalle bestehen aus Calcitnadeln, die parallel zueinander angeordnet sind. Die nach c langgestreckten Nadeln kennzeichnen die Wachstumsrichtung der Kristalle.

4.2.2.3 Vitrinirefektivität kohligler Substanzen

In polierten Anschliffen wurde die mittlere Vitrinireflexion (Rr%) für die kohligen Substanzen aus Karsttaschen (HR28) (Abb.4.18a,b,c) und aus einem mittig verfüllten Hydrothermalgang (HR29) (Abb.4.18d) gemessen. Die Qualität des organischen Materials war unterschiedlich. Vitrinite, die eine schlechte Qualität aufwiesen, wurden nicht in die Messungen einbezogen. Man erkennt in den Anschliffen Fragmente von Erzkörnern (Bleiglanz, Zinkblende) und Karbonaten (Calcit, Dolomit) (Abb.21a,b).

Die Vitrinireflexion liegen für die Partikeln der Probe HR28 zwischen 0,27% und 3,09 %. Die Vitrinite wiesen hier eine hellgraue Farbe auf. Die Vitrinireflexion in den Partikeln der Probe HR29 liegt zwischen 0,3% und 0,42%. Im Verhältnis zu der Probe HR28 weisen diese Vitrinite eine dunkelgraue Farbe auf. Alle Messergebnisse sind im Anhang in Tabelle I-b1 dokumentiert.

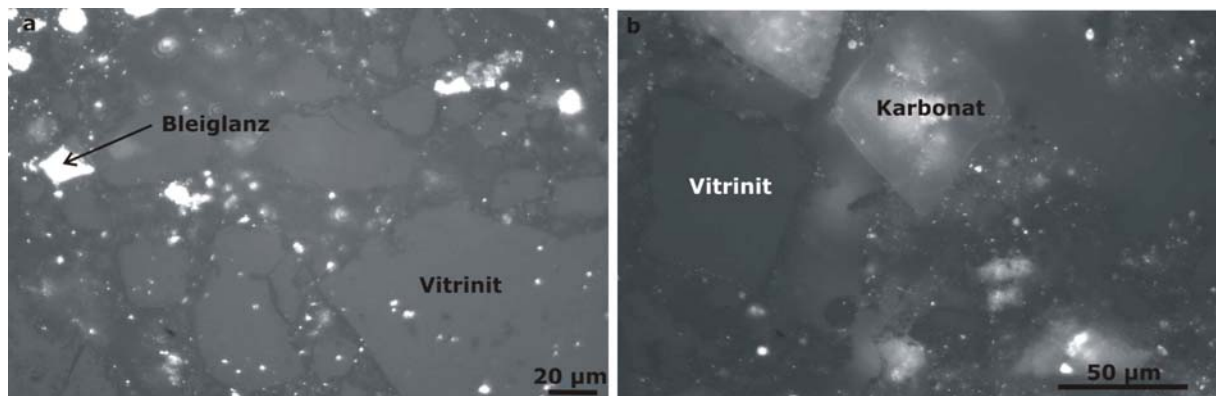


Abb.4.21: Vitrinitpartikel aus den Proben HR28 (a) HR29 (b). a. Vitrinitpartikel und Erzfragmente wie Bleiglanz in der Probe HR28. b. Bruchstücke von Calcit und Dolomit zusammen mit Vitrinitpartikeln in der Probe HR29.

Barker und Pawlewick (1994) stellen folgenden Zusammenhang zwischen $R_r(\%)$ und der Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) her:

$$T = (\ln(R_r) + 1,69) / 0,0124$$

Der gespiegelte Temperaturbereich variiert für Probe HR28 damit zwischen 30 und 226 $^{\circ}\text{C}$, für Probe HR29 zwischen 38 und 66 $^{\circ}\text{C}$ (Abb.4.22). Die Vitrinitreflexionswerte der untersuchten Proben sind für Probe HR28 kennzeichnend für den Inkohlungsgrad des Braun- bis Steinkohle-Stadiums, für die Probe HR29 für das Stadium der Braunkohle.

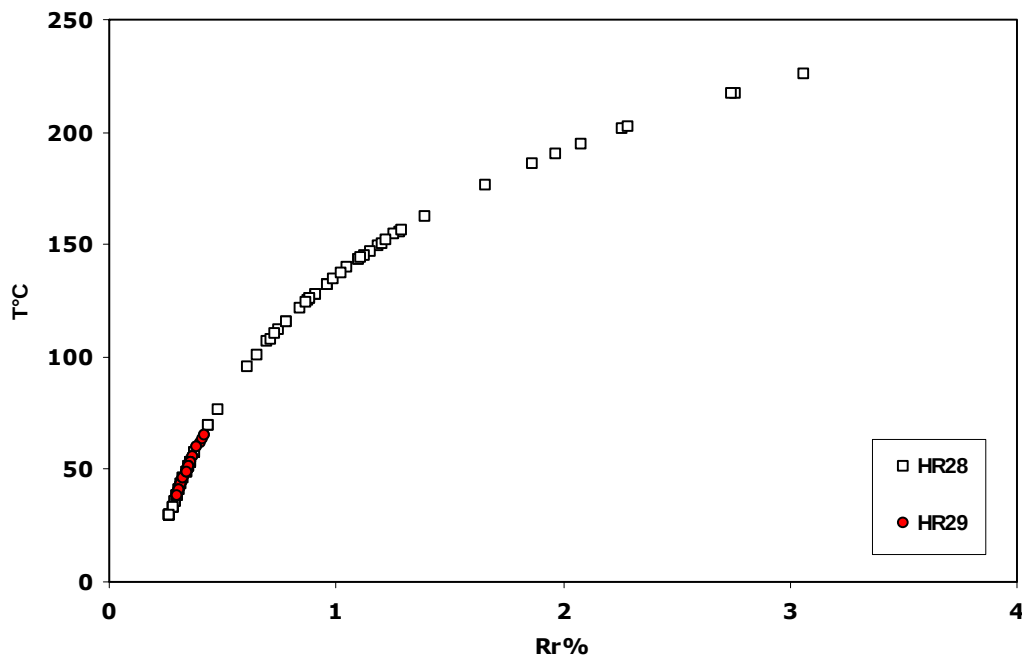


Abb.4.22: Vitrinitreflexion ($R_r\%$) im Verhältnis zur Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), für die Proben HR28 und HR29.

4.2.2.4 Petrographie der Gangmineralisation

Subvertikale Gänge

Im Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke werden die unterkarbonischen Kalksteine von zwei Typen von Gangsystemen durchzogen, subvertikale NW-SE orientierte Gänge, die durch eine hydrothermale PbS-ZnS-Vererzung gekennzeichnet sind und richtungslos angeordneten Calcit-Dolomit-Gänge.

Die Gangfüllung der subvertikalen, Sandgewand-parallelen Gänge lässt eine petrographische Systematik erkennen (Abb.4.23). Sie beginnt an der Kluftwand zum Nebengestein hin mit einer Brekzienzone (Zone 1), in der Bleiglanz, Chalkopyrit, Bornit und idiomorpher Quarz zusammen mit Calcit, Dolomit und Ankerit auftreten. Fragmente des Nebengesteins sind ebenfalls involviert. Zur Kluftmitte hin folgt eine Lage grobspätiger Calcitkristalle (Zone 2), darauf kristallisiert feinkörniger Calcit, in dem ein Gang kolloidalen Sphalerits mit Chalkopyriteinschlüssen auftritt (Zone 3). Von den drei Gängen dieser Art, die beprobt wurden (Proben HR1 bis HR11), weist einer (Gang 1) ein ~5 cm breites Band aus organischem Material auf (Braunkohle). Das Material bildet die Mitte des spiegelsymmetrisch mineralisierten Gangs. Die Ausscheidung des Mineralinhaltes dieses Gangs erfolgte parallel zu tektonischen Öffnungsbewegungen, welche in mehreren Etappen geschahen. Die Gänge 2 und 3 weisen einen ähnlichen Aufbau bezüglich der mineralisierten Zonen auf, ihnen fehlt jedoch die spiegelsymmetrische Anordnung der Mineralisierungsstadien 1-3.

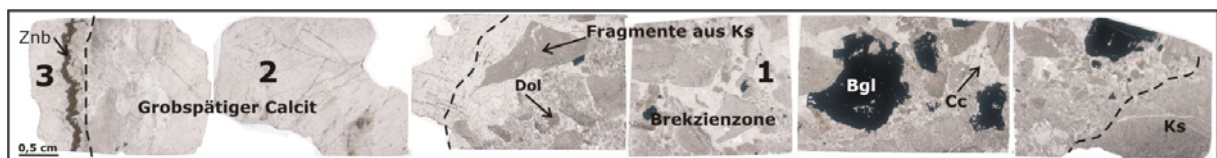


Abb.4.23: Subvertikaler Gang des Gangs 1 im unterkarbonischen Kalkstein. Dünnschliffprofil des mineralisierten Profils unter linear polarisiertem Licht. Erläuterungen siehe Text. Ks=Kalkstein, Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Bgl=Bleiglanz, Znb=Zinkblende.

Die zu erkennende Aufteilung der Gänge in unterschiedliche Mineralisationszonen deutet auf einen „fracture-sealing“-Prozess hin und damit auf wiederholte hydrothermale Fluid - Schübe. Für Gang 1 befindet sich die ältere Paragenese am Gangrand, die jüngere in der Mitte des Gangs. Diese Anordnung innerhalb des Gangs beschreibt einen temporären Facieswechsel.

In der Brekzienzone (Zone 1) besteht die Matrix überwiegend aus Calcit. Die Kristalle weisen oft Translationslamellen auf (Abb.4.24b) und sind durchsetzt von zahlreichen Flüssigkeitseinschlüssen. Die Korngrenzen der Calcitkristalle sind stellenweise bogig suturiert. In dieser Calcitmatrix sind Fragmente von Dolomitkristallen zu erkennen, die zum Teil von einem Ankeritsaum umwachsen sind (Abb.4.24f,g). Oft erkennt man die Rhomboederform des Dolomits.

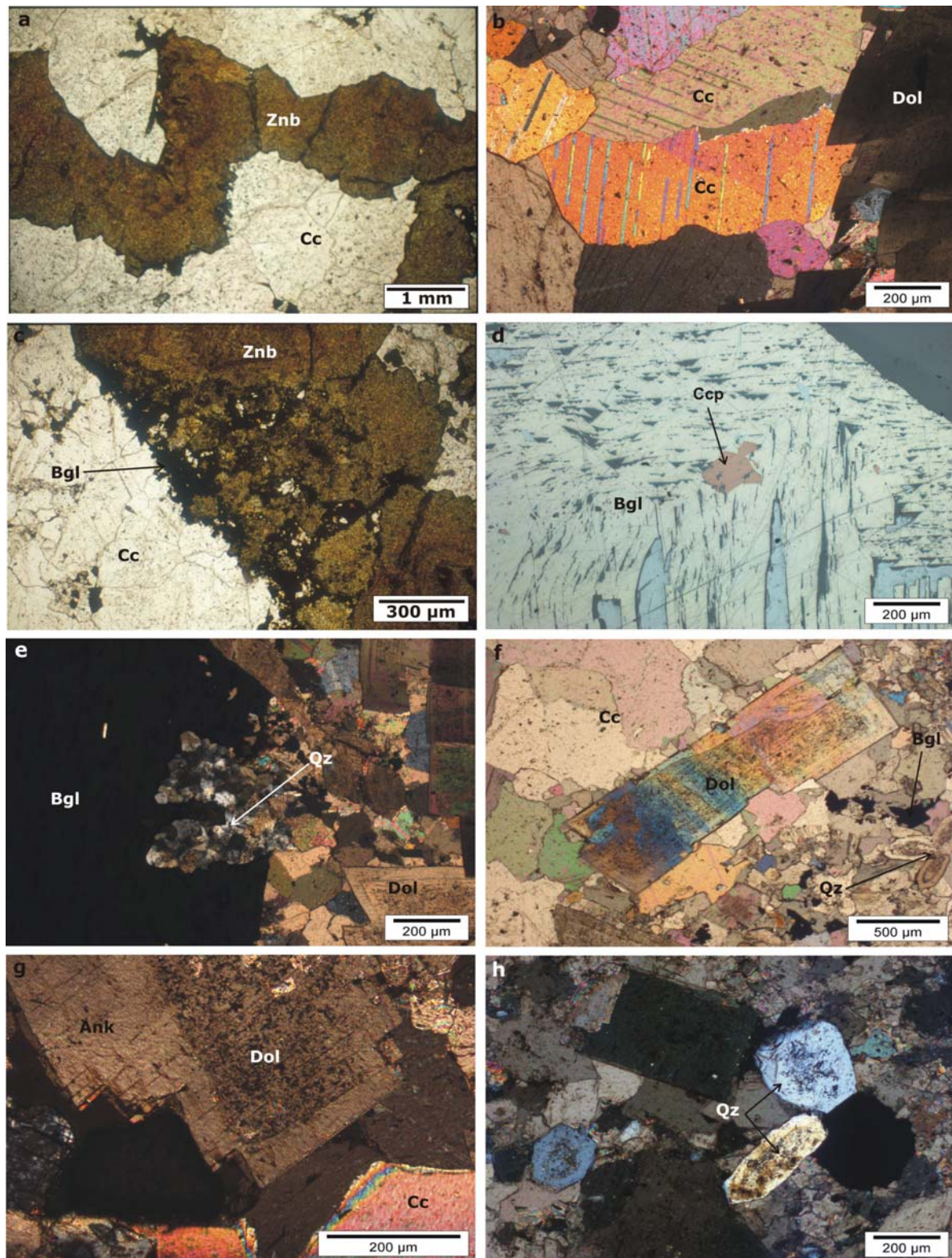


Abb.4.24: Füllung subvertikaler Gänge im Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath. a.c. Zinkblendegang aus der Zone (3) unter linear polarisiertem Licht, (HR1). b. Calcitkristalle (Zone 1) mit Zwillingslamellen und Dolomit in Rhomboederform unter gekreuzten Polarisatoren (HR4). d. Chalkopyrit Einschluss in Bleiglanz (Zone 1), Auflichtmikroskopie (HR10). e. Bleiglanzkristall in Zone (1) unter gekreuzten Polarisatoren (HR4). f.g. Idiomorphe Dolomitrhomboeder (Zone 1) mit einem Ankeritsaum unter gekreuzten Polarisatoren (HR5). h. Idiomorphe Quarzkristalle (Zone 1) mit festen Einschlüssen unter gekreuzten Polarisatoren (HR3, HR4). Znb=Zinkblende, Bgl=Bleiglanz, Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Ank=Ankerit, Qz=Quarz.

Quarz ist in der Übergangszone zum Nebengestein verbreitet. Er ist überwiegend idiomorph und oft von langprismatisch bis nadeligem Habitus (Abb.4.24h). Häufig sind Quarzkristalle zu erkennen, die Einschlüsse des umgebenen Karbonates enthalten. Diese Relikte sind meist mit der karbonatischen Substanz der Umgebung optisch gleich orientiert. Von Bleiglanz und Zinkblende wird der Quarz in der Regel glatt umwachsen. In dieser Brekzienzone sind auch Kalkstein-Fragmente des Nebengesteins vorhanden.

Bleiglanz ist häufig in Zone (1) und bildet bis zu 2 cm große idiomorphe Kristalle (Abb.4.24e). Einzelkristalle zeigen oft Fiederbau, auch Zonarstruktur ist häufig zu beobachten. Er umwächst oft idiomorphe Quarzkristalle (Zone 1) und tritt am Rand der Zinkblende in der Zone (3) in unregelmäßig begrenzten Partien auf. Hierbei verdrängt er Zinkblende (Abb.4.24c). Sehr oft sind auch Chalkopyritkristalle im Bleiglanz eingeschlossen (Abb.4.24d). In Zone (3) kommt der Bleiglanz nur in Vergesellschaftung mit der Zinkblende vor und bildet kleine xenomorphe Kristalle. Vereinzelt erkennt man auch xenomorphe Bornit-Kristalle als Einschluss in der Zinkblende in Zone (3).

Die Zone (2) besteht aus grobspätigen bis zu 1 cm großen Calcit-Kristallen. Diese weisen zahlreiche Flüssigkeitseinschlüsse auf. Erzminerale kommen hier nicht vor.

In Zone (3) tritt Zinkblende in Form eines bis zu 1,5 mm breiten kolloidalen Bandes auf (Abb.4.24a). Makroskopisch erkennt man einen Schalenbau, der farblich zwischen hellgelb-brauner Honigblende und dunkelbraun variiert. Dieser Unterschied im Schalenaufbau hängt vom Eisen- und Kadmiumgehalt ab, was durch Mikrosondenuntersuchungen belegt ist (Tabelle III-10). In den ZnS-Lagen sind Bleiglanz, Chalkopyrit und Bornit Kristalle eingeschaltet. Diese finalen Mineralparagenesen treten in allen untersuchten Gangprofilen auf.

Betrachtet man die drei mineralisierten Zonen unter Kathodenstrahlung, werden Einzelheiten ersichtlich, die mit mikroskopischen Untersuchungen nicht zu erkennen sind. Die brekziierte Zone (1) lässt eine fleckige calcitische Matrix hellgelber Lumineszenz erkennen (Abb.4.25e,f,g,h). Zum Teil werden Fragmente von facettierten Kristallen in der Matrix deutlich. Die Dolomitrhomboeder mit den Ankeritsäumen zeigen dunkelrote Lumineszenz (Abb.4.25e,f,g,h). Auch in den Dolomitkristallen erkennt man zum Teil Wachstumszonen (Abb.4.25e,f).

Die grobspätigen Calcitkristalle aus der mineralisierten Zone (2) zeigen ebenfalls eine unterschiedliche Lumineszenz. Einerseits erkennt man innerhalb der Kristallflächen fleckige Felder mit gelber und dunkelorange-farbener Lumineszenz (Abb.4.25a,b) und feinkörnig fleckige Bereiche mit hellgelber Lumineszenz an den Korngrenzen, andererseits weisen grobspätige Calcitkristalle dunkelorange-farbene Sanduhrzonierungen auf. Die Korngrenzen scheinen überprägt worden zu sein. (Abb.4.25c,d).

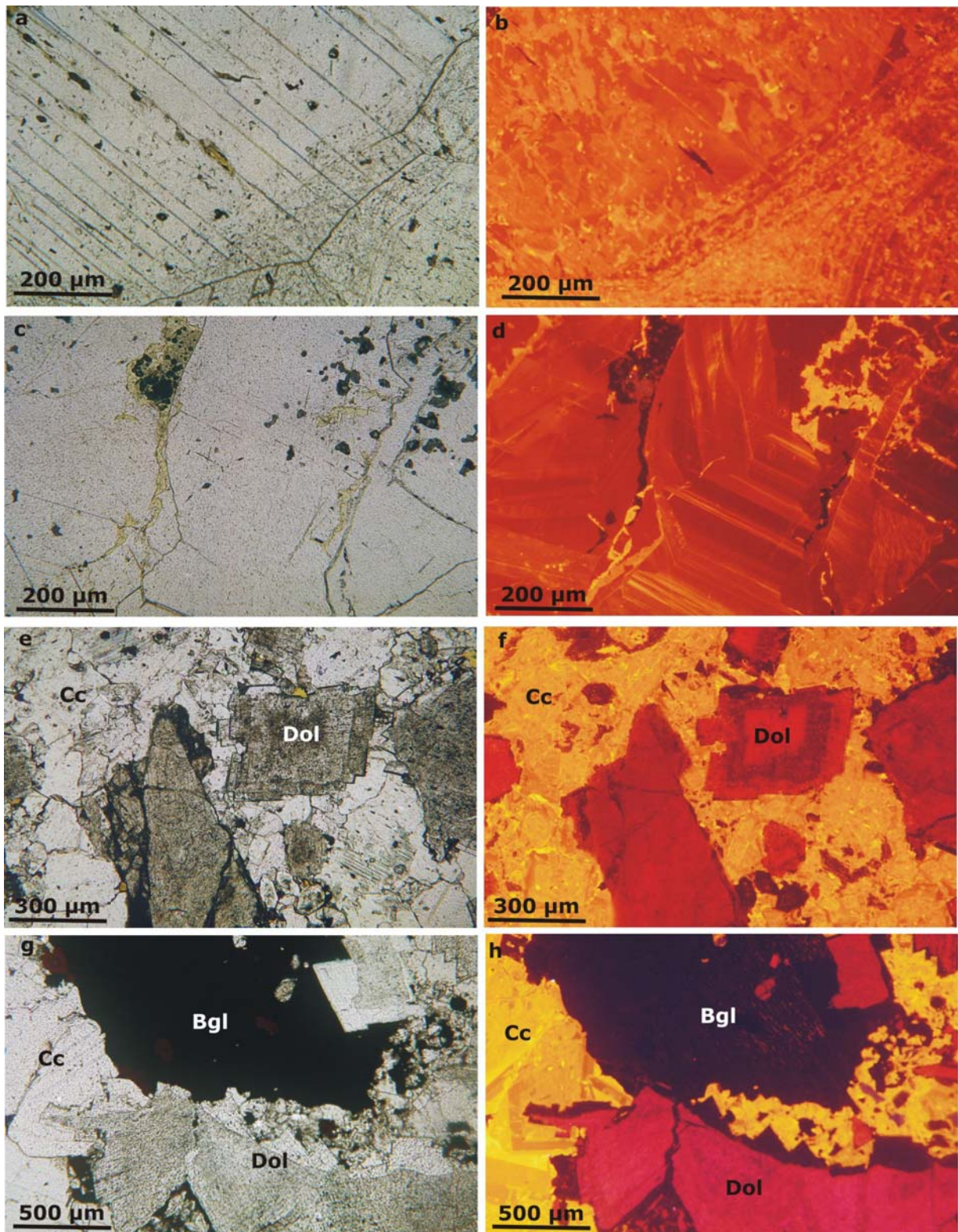


Abb.4.25: Mineralische Füllung subvertikaler Gänge im Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath. a.b.c.d. Probe HR10. Grobspätige Kalzitkristalle (Zone 2) unter Kathodenstrahlung (b,d) und in linear polarisiertem Licht (a,c). e.f.g.h. Probe HR4. Dolomitkristalle mit Ankeritsäumen unter Kathodenstrahlung (f,h) und in linear polarisiertem Licht (e,g). Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Bgl=Bleiglanz.

In Zone (3) weisen die Karbonate ebenfalls variable Lumineszenzfarben auf. Hier luminesziert der Calcit mit gelborangen bis orangeroten Farben. Die lumineszierenden Säume zeigen Wachstumszonierungen, die über die Calcitkorngrenzen hinausgehen. Diese Calcitkristalle scheinen von der ausgefällten Lösung bei der Bildung der Zinkblende überprägt worden zu sein (Abb.4.26c,d). Zum Teil erkennt man auch eine fleckige Lumineszenz in unmittelbarer Nähe zum Zinkblendegang (Abb.4.26d). Calcitkristalle, die etwas weiter entfernt sind vom Zinkblendegang, zeigen eine Sanduhrzonierung. Diese weisen gelborange bis orangerot lumineszierende Zonen auf (Abb.4.26e,f).

In Zone (3) erkennt man eine zweifarbige Lumineszenz der Zinkblende, bereiche mit dunkelroter Lumineszenz und bereiche mit brauner Lumineszenz (Abb.4.26a,b). Dieser Unterschied korreliert mit dem Fe^{2+} -Gehalt der Zinkblende. Kleine Kristalleinschlüsse in der Zinkblende sind zu erkennen mit einer blauen Lumineszenz, eventuell handelt es sich hier um Quarz.

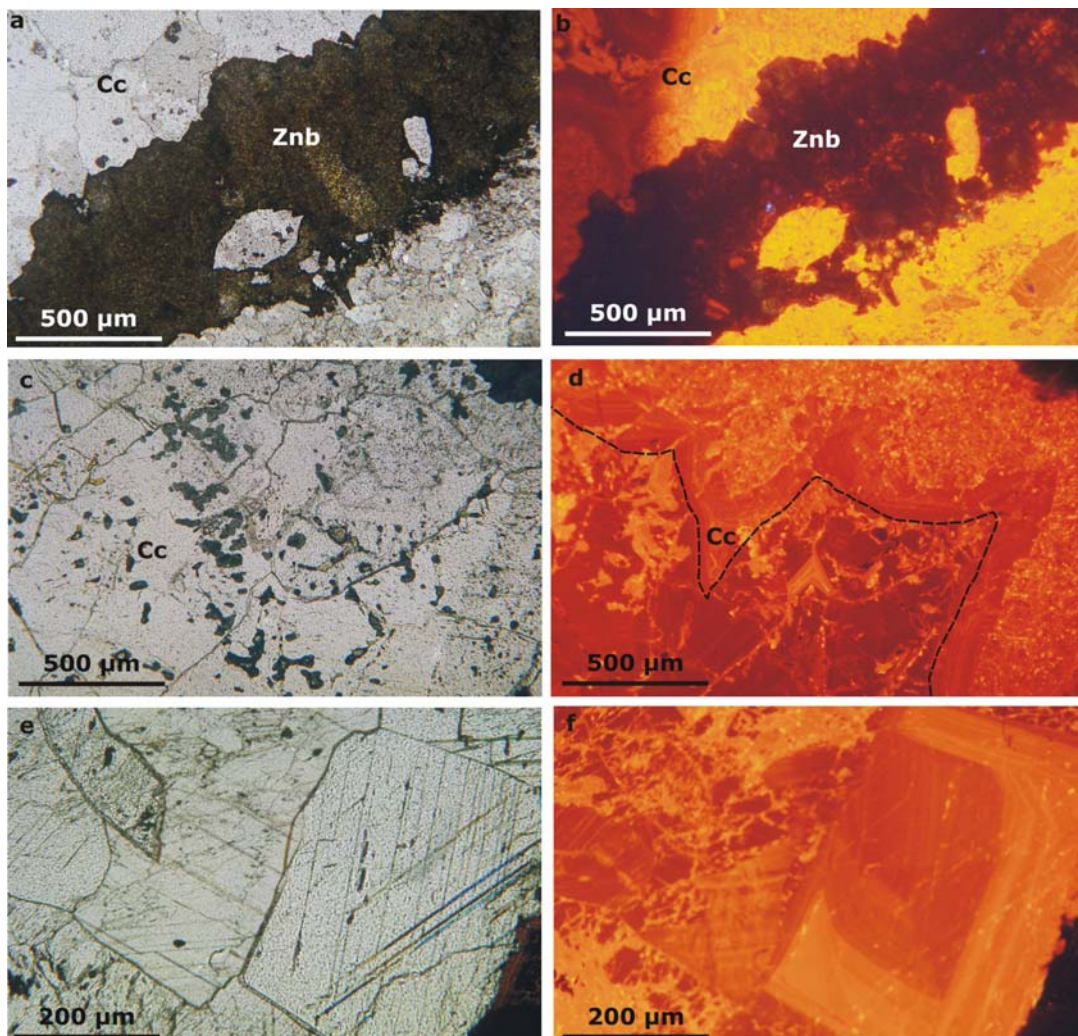


Abb.4.26: Mineralische Füllung subvertikaler Gänge im Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath. a.b. Probe HR13. Zinkblendegang unter Kathodenstrahlung (b) und in linear polarisiertem Licht. c.d. Probe HR10. Calcit- Wachstumszonen unter Kathodenstrahlung (d) und unter linear polarisiertem Licht (c). e.f. Probe HR14. Sanduhrzonierung von Calcitkristallen unter Kathodenstrahlung (f) und in linear polarisiertem Licht (e). Cc=Calcit, Znb=Zinkblende.

Richtungslos orientierte Karbonatgänge

Die im Nebengestein auftretenden richtungslos angeordneten Karbonatgänge zeigen unter Kathodenstrahlung einerseits Calcitadern mit sehr gut facettierten Calcitkristallen und deutlich erkennbaren Wachstumszonen (Abb.4.27a,b,e,f) mit hellgelber bis gelboranger Lumineszenz. In Abb.4.27b,f ist deutlich die Wachstumsrichtung der Calcitkristalle senkrecht zur Kluftwand zu erkennen (Proben HR16 und HR17). Im Nebengestein treten aber auch Gänge auf, die aus Calcit- und Dolomit- Kristallen bestehen (Abb.4.27c,d). Vereinzelt erkennt man Ankeritsäume um Dolomit. Der Calcit weist hier anders als bei den Proben HR16 und HR17 eine gelbe fleckige Lumineszenz mit Fragmenten von roten bis dunkelroten Dolomitkristallen auf. Man erkennt zum Teil, dass die Kerne mancher Calcitkristalle eine dunkelorange Lumineszenz aufweisen.

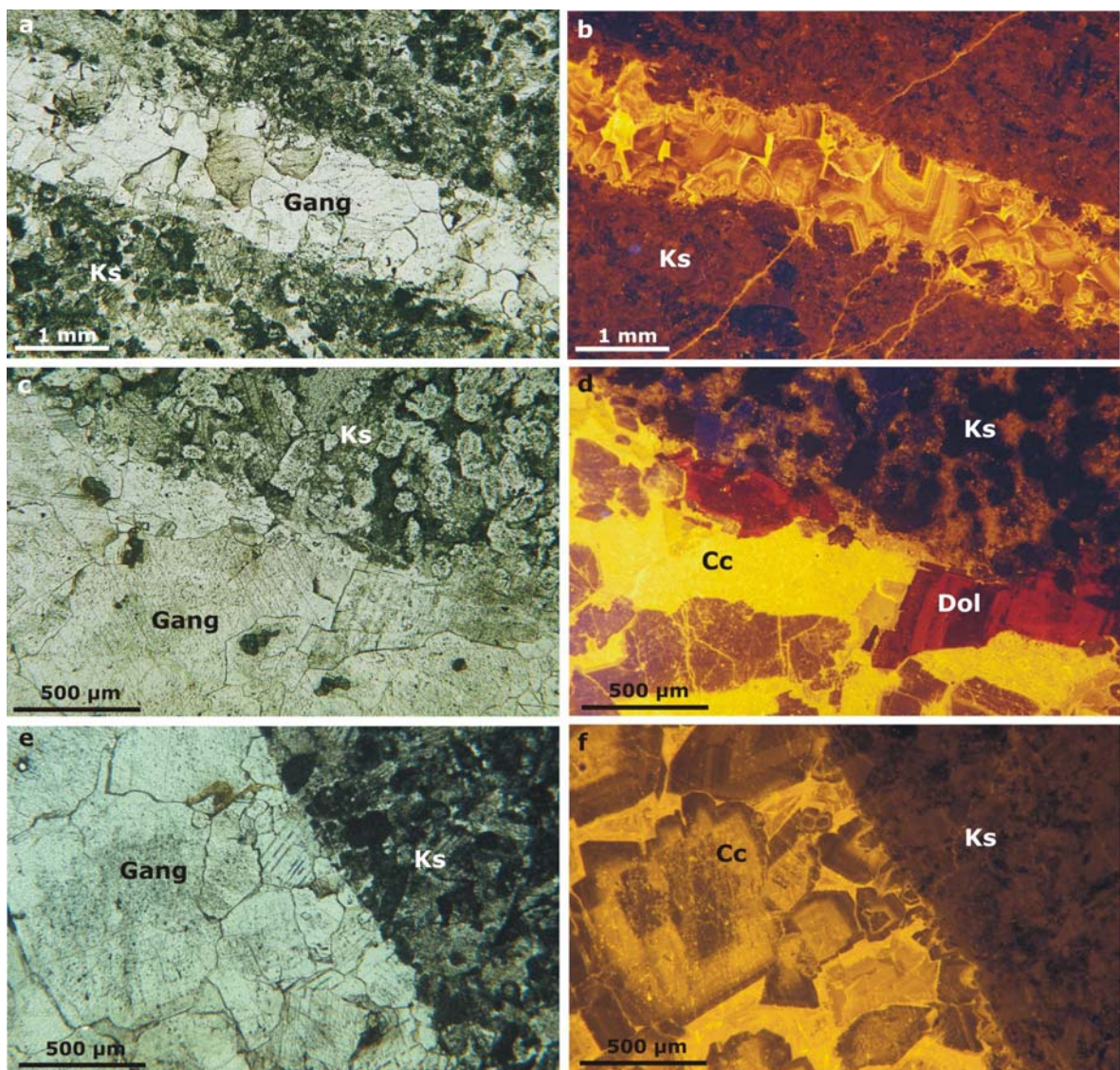


Abb.4.27: Karbonatgänge in den Proben HR16 und HR17. Facettierte Calcitkristalle in richtungslos orientierten Gängen des Nebengesteins unter Kathodenstrahlung (b,f) und in linear polarisiertem Licht (a,e). c,d. Probe HR5. Calcit-Dolomit-Gänge im Nebengestein unter Kathodenstrahlung (d) und in linear polarisiertem Licht (c). Ks=Kalkstein, Cc=Calcit, Dol=Dolomit.

4.2.2.5 Mineralchemie

Für den Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath wurde die chemische Zusammensetzung der Minerale Calcit, Dolomit, Ankerit, Zinkblende, Bleiglanz und Chalkopyrit in den subvertikalen Gängen, den richtungslos orientierten Karbonatgängen und dem dolomitisierten Kalkstein als Rahmengestein getrennt untersucht.

4.2.2.5.1 Subvertikale Gänge

Calcit

Calcit aus den Gängen 1, 2 und 3 weist in den drei Profilzonen eine leicht variable Zusammensetzung auf (Abb.4.28). Der CaO-Gehalt in den Profilzonen 1-3 variiert zwischen 52,3 und 56,5 Gew.-%. Dem entsprechend variieren die MnO- und FeO-Gehalte zwischen 0,1-1,7 Gew.-% und 0,1-1,6 Gew.-%. In Abb.4.28 ist ein Profil über Calcit des Gangs 1 entsprechend seiner CaO-, MnO- und FeO-Gehalte dargestellt. Man erkennt dass sich Calcit in Zone 3 von Calcit in Zone 1 und 2 mineralchemisch unterscheidet. Der CaO- Gehalt in Zone 3-Calcit ist geringer, seine MnO- und FeO-Gehalte sind höher als in den Zonen 1 und 2. Aber auch innerhalb des Zone 1-Calcits variieren die CaO-, FeO- und MnO- Gehalte, hier entsprechend der Felderzonierungen (Abb.4.28 & Abb.4.29). Diese Variabilität in den CaO, FeO- und MnO- Gehalten ist bereits im Elektronenrückstreubild der Mikrosonde erkennbar (Abb.4.29). Die dunklen Calcitfelder in Zone 1 weisen CaO-Gehalte von 56,0-56,5 Gew.-%, MnO-Gehalte von <0,1 Gew.-% und FeO-Gehalte von <0,1 Gew.-% auf. Diese Gehalte sind den Gehalten des Calcits des karbonatischen Nebengesteins sehr ähnlich (Abb.4.28). Die hellen Calcitfelder in Zone 1 variieren zwischen 52,3-54,9 Gew.-% CaO, 0,4-1,1 Gew.-% MnO und 0,3-1,2 Gew.-% FeO.

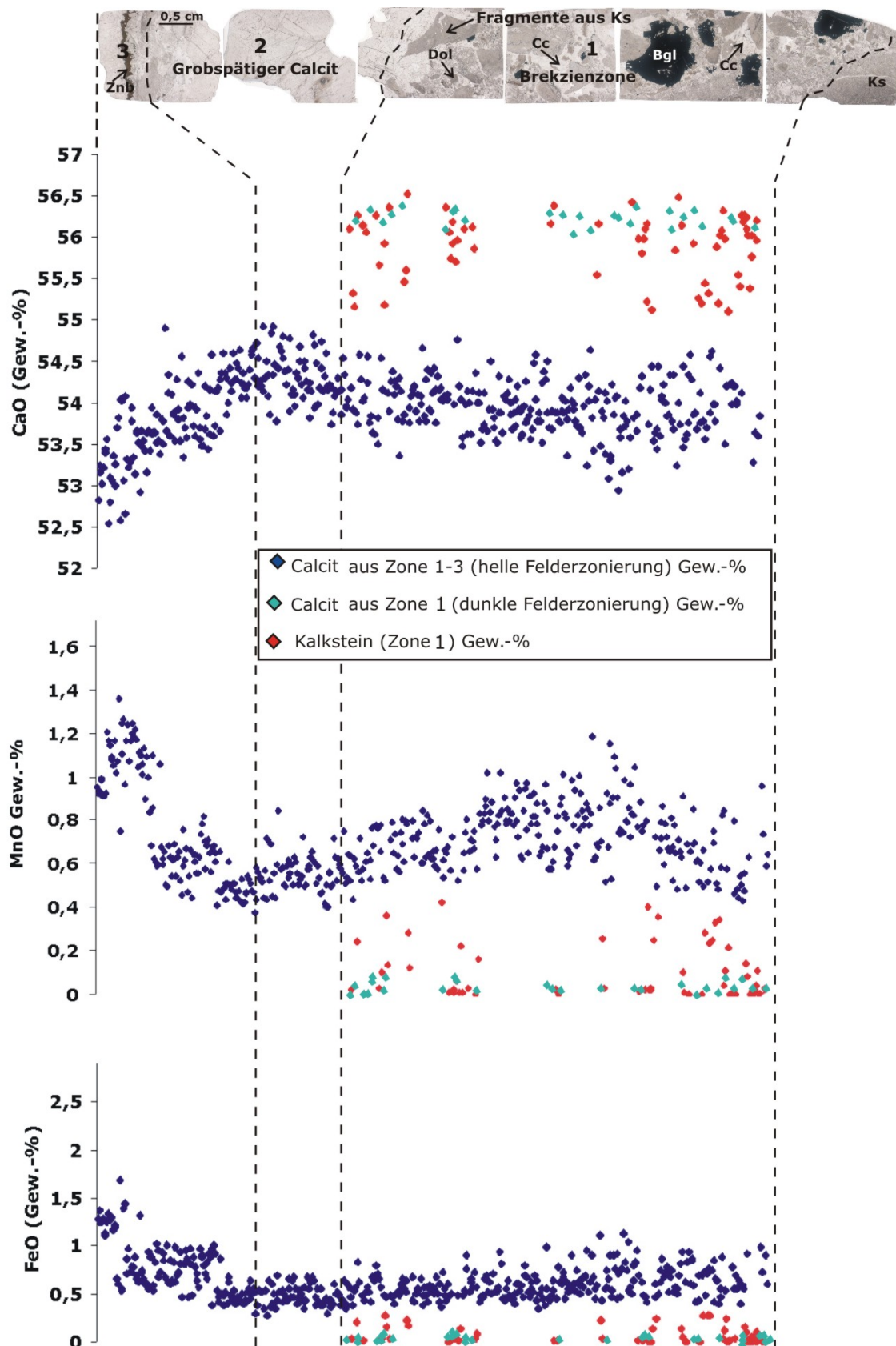


Abb.4.28: Calcitzusammensetzung in Gang 1 des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke über die Zonen 1-3 (n=413). Die mit rot gekennzeichneten Punkte weisen vergleichsweise auf die Gehalte der Kalksteinfragmente in Zone 1 hin. Für weitere Erläuterungen siehe Text. Ks=Kalkstein, Cc=Calcit, Dol=Dolomit, Znb=Zinkblende.

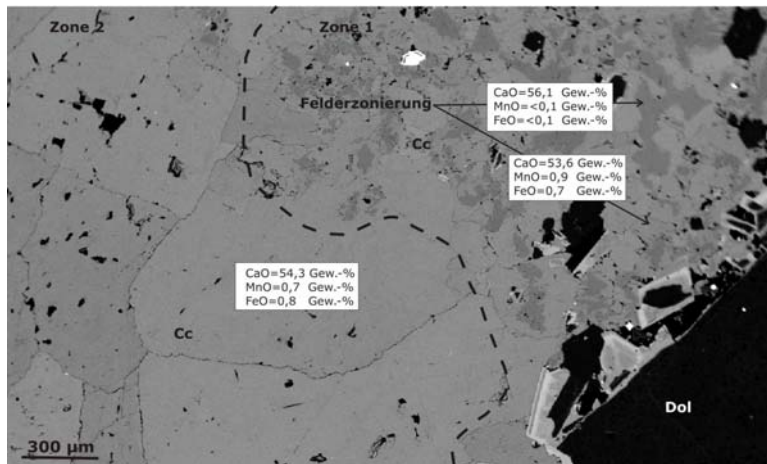


Abb.4.29: Elektronenrückstreubild von Calcitkristallen in Zone 1 und 2 des Gangs 1, Steinbruch des Hastenrather Kalkwerke. In Zone 1 (brecciert) ist eine Felderzonierung zu erkennen. Hier treten auch Bruchstücke von Dolomitkristallen auf. Die Mineralchemie des Calcits in den jeweiligen Zonen variiert (siehe Abb.4.28).

Spurenelementgehalte von separierten Calcit-Proben aus den drei Profilabschnitten des Gangs 1 sind in Tabelle 4.1 zusammen mit den Spurenelementgehalten des karbonatischen Nebengesteins zusammengestellt und in Abb.4.30 graphisch dargestellt. Der Zn-Gehalt im Calcit in der Zone 3 erreicht einen Wert von 83,6 ppm und ist deutlich höher als der Zn-Gehalt in den Zonen 1 und 2. Dies deutet auf unterschiedlich metallführende Lösungen, aus denen die entsprechenden Mineralisationen abgeschieden wurden, hin. Auffällig ist der variierende Sr-Gehalt in den drei Profilszonen. In der Breccienzone 1 erreicht er einen Wert von 182,1 ppm. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen aller gemessenen Calcitkristalle (Zonen 1-3) aus den Gängen 1-3 sind im Anhang in Tabelle III-7 aufgelistet.

	Zone 3	Zone 2	Zone 1	Nebengestein
[ppm]	Kalzit	Kalzit	Kalzit	Kalkstein
Zn	83,6	12,7	16,7	20,1
Sr	132,3	34,1	182,1	91,0
Ba	22,0	22,0	22,5	24,5
La	16,1	22,6	17,5	20,0
Pb	12,1	30,2	36,8	78,5

Tabelle 4.1: Spurenelement-Gehalte in Calcit des Gangs 1, Zonen 1-3 und des Nebengesteins, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

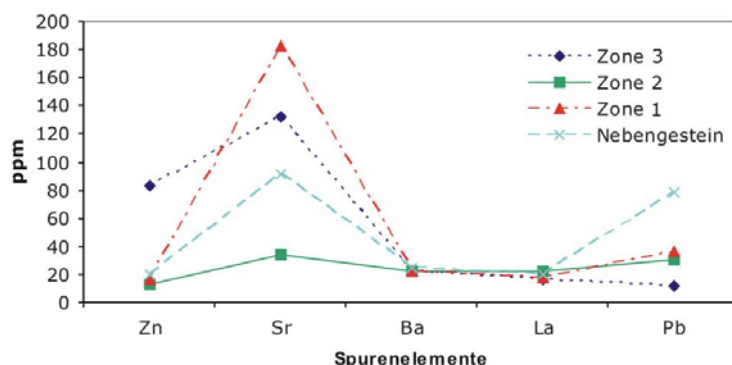


Abb.4.30: Graphische Darstellung der Spurenelement-Gehalte in Calcit des Gangs 1, Zonen 1-3 und des Nebengesteins, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

Dolomit / Ankerit

In der brecciierten Profilszone 1 der Gänge treten hydrothermal gebildete sattelförmige Dolomitfragmente auf, die einen Ankeritsaum aufweisen (Abb.4.31a,b,c,d). Der Zonarbau ist durch variable FeO-Gehalte gekennzeichnet ist (Abb.4.31a,b,c). Die Dolomitfragmente sind oft mit Rissen versehen, diese wiederum sind mit Ankerit verfüllt (Abb.4.31d).

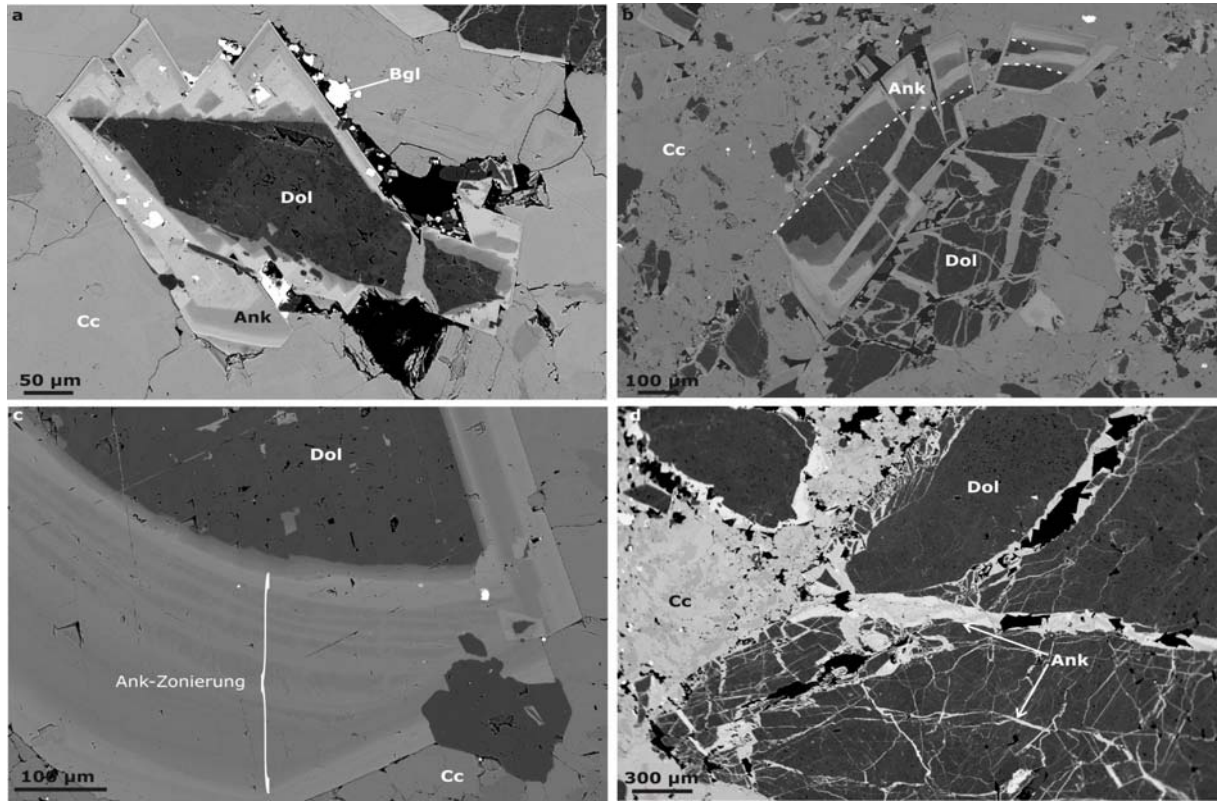


Abb.4.31: BSE-Bilder der Proben HR3, HR4, HR7, HR8 aus den Gängen 1-3 der Profilszone 1, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. a.b. Dolomitfragmente mit einem Ankeritsaum in einer calcitischen Matrix. Ankeritsäume sind idiomorph ausgebildet (HR3, HR4). c. Zonierung des Ankeritsaums (HR7). d. Dolomitfragment mit verfüllten Rissen aus Ankerit (HR8). Dol=Dolomit, Cc=Calcit, Ank=Ankerit.

Die FeO- und MnO-Gehalte in Dolomit variieren unterschiedlich stark. Der FeO-Gehalt schwankt zwischen 0,1 und 6,7 Gew.-%, der MnO-Gehalt zwischen 0,02 und 1,1 Gew.-%. Diese Wertebereiche spiegeln sich in der Felderzonierung des Dolomits (Abb.4.31a). Viele der untersuchten Karbonatkristalle weisen Fe/(Fe+Mg)-Verhältnisse über 0,2 auf und sind daher als Ankerit zu bezeichnen (Chang et al., 1996). Die Ankeritsäume bilden wechselnde Zonen, deren FeO-, MnO- und MgO-Gehalte ebenfalls variieren. Der FeO-Gehalt erreicht in den BSE-intensiven und daher helleren Zonen (Abb.4.31c) Werte bis zu 21,1 Gew.-% und MnO-Gehalte bis zu 3,5 Gew.-%. Die dunklen Zonen hingegen weisen MgO-Gehalte von bis zu 17,9 Gew.-% auf.

Die Dolomit- und Ankerit- Mineralisation der Gänge 1, 2 und 3 zeigt sowohl sehr variable Fe/Mg-Verhältnisse (Abb.4.32a) als auch sehr variable Fe/Mn-Verhältnisse (Abb.4.32b). Die chemischen Zusammensetzungen der untersuchten Dolomit- und Ankerit- Mineralisationen aus den Gängen 1, 2 und 3 sind im Anhang in den Tabelle III-8 und III-9 zusammengestellt.

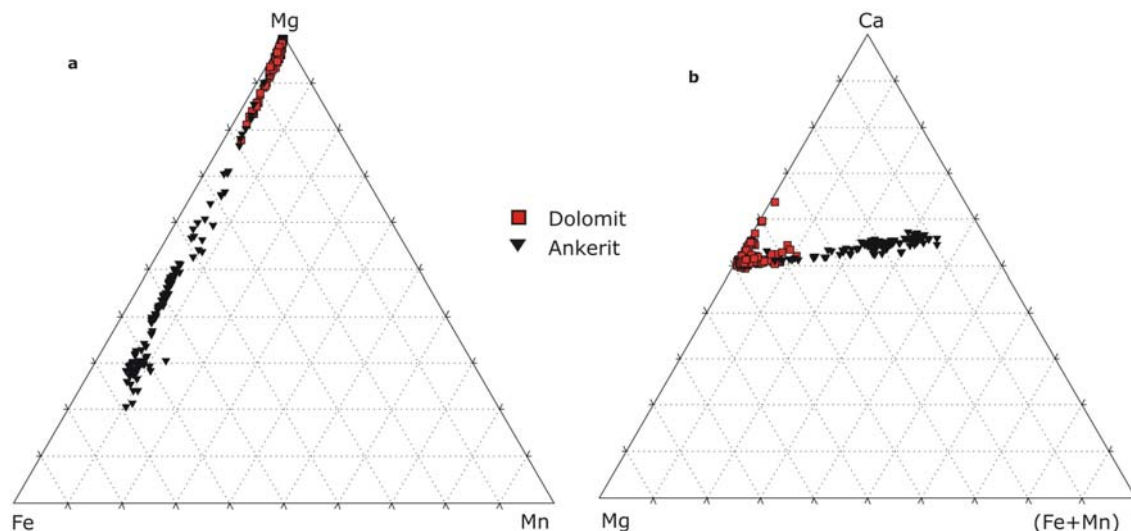
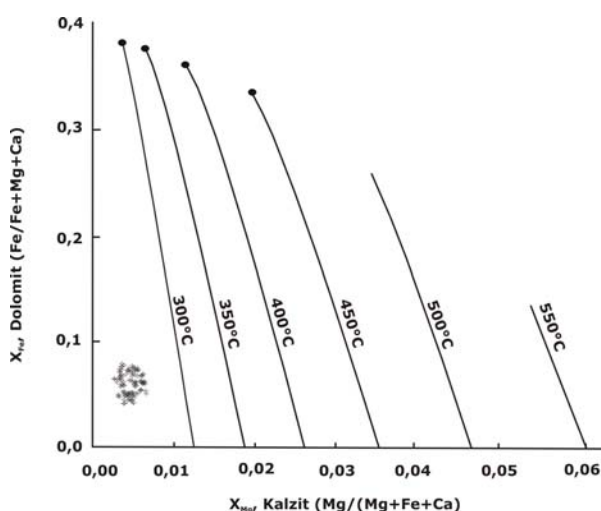


Abb.4.32: a. Zusammensetzung der Dolomit/Ankerit-Mineralisation in den Gängen 1, 2 und 3, im System Mg-Fe-Mn (Mol-%). b. Zusammensetzung der Dolomit/Ankerit-Mineralisation in den Gängen 1, 2 und 3, im System Ca-Mg-(Fe+Mn) (Mol-%), Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

Die Anwendung des Calcit-Dolomit-Thermometers nach Powell et al. (1984) und Anovitz & Essene (1987) für Berührungsparagenesen von Dolomit und Calcit indizieren eine Temperatur deutlich unterhalb von



300 °C (Abb.4.33). Dieses Thermometer ist für kogenetische Mineralphasen vorgesehen. Der Dolomit in der Zementationszone 1 deutet aber eher auf eine ältere Genese als der verkittende Calcit hin. Daher ist die Anwendung des Thermometers mit Vorbehalt zu betrachten.

Abb.4.33: Graphische Darstellung von $X_{Fe, dol}$ aufgetragen gegen $X_{Mg, cc}$. Angezeigt wird die Bildungstemperatur der auftretenden Berührungsparagenesen von Dolomit und Calcit in den Gängen 1, 2 und 3, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. Die Punkte sind alle deutlich unterhalb der 300°C Kurve. (nach Powell et al., 1984).

Zinkblende (Schalenblende)

Zinkblende aus Profilzone 3 aller drei untersuchten Gänge besteht aus hellen und dunklen zonierten Lagen (Schalenblende). Der Zonenbau ist auch mit dem bloßen Auge sichtbar. Teilweise ist er auf den Wechsel der Wachstumsgeschwindigkeit von ZnS zurückzuführen und spiegelt damit auch den Einbau von Fremdeinschlüssen und Poren wieder. Vor allem aber spiegelt sich die chemische Zusammensetzung wieder. In den hellen Bereichen erreicht der Cd-Gehalt signifikant hohe Werte bis 6,2 Gew.-%, in den dunklen Bereichen sinkt der Wert bis zu 0,2 Gew.-% (Tabelle III-10). Mukherjee (1964) konnte einen temperaturabhängigen Einbau von Cadmium experimentell nachweisen, wobei hohe Chlor-Konzentrationen den Einbau von Cadmium verhindern.

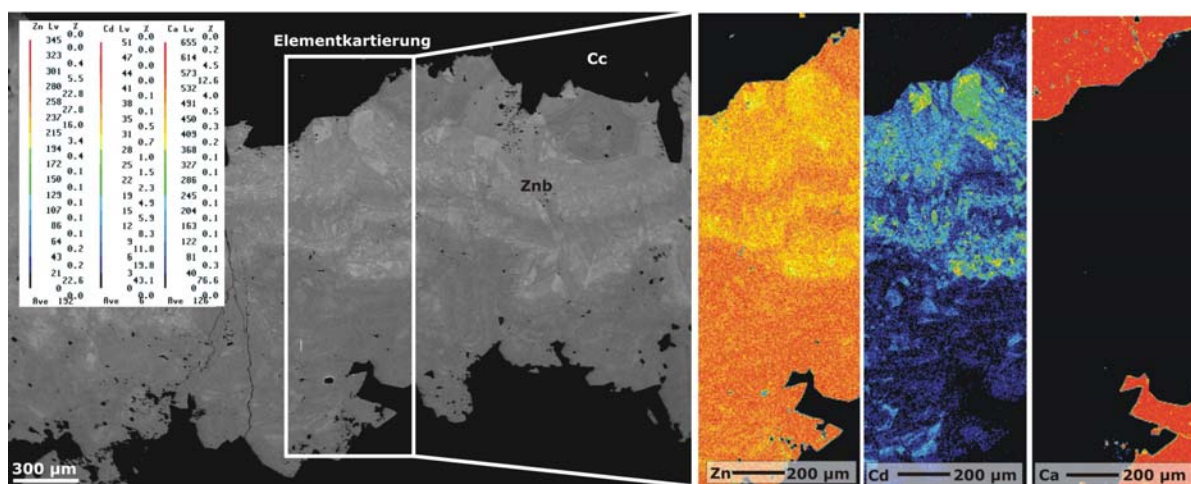


Abb.4.34: Elementkartierung der Zinkblende an der Elektronenstrahlmikrosonde. Probe HR1 aus der Zone 1, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. Ein BSE-Bild und die maximale Verteilung der Elemente Zn, Cd und Ca werden dargestellt. Erläuterungen siehe Text.

Eine qualitative Elementkartierung für Zn, Cd, und Ca wurde für Zinkblende der Zone 3 aus Gang 1 des Steinbruchs der Kalkwerke Hastenrath durchgeführt (Abb.4.34). Calcium wurde gemessen, um die Zinkblende vom Calcit zu differenzieren. Man erkennt eine Zweiteilung des Zinkblendegangs. Die Cd-reiche Zone weist im BSE-Bild eine deutliche Konzentration im oberen Bereich der Abb.4.34 auf. Vereinzelt erkennt man auch kleine (<20µm) Bornit und Chalkopyrit Einschlüsse an den Säumen der Zinkblende. Die von Redecke (1992) untersuchten Zinkblenden aus dem gleichen Gebiet unterscheiden sich in ihrer Mineralchemie von den hier untersuchten. Sie weisen im Gegensatz zu den hier vorgestellten Zinkblenden hohe Fe-Gehalte und geringe Cd-Gehalte auf. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen der untersuchten Zinkblende-Mineralisation aus den Gängen 1, 2 und 3, sind im Anhang in Tabelle III-10 zusammengestellt.

Chalkopyrit/Bornit

Chalkopyrit tritt ausschließlich als Einschluss an den Kornrändern im Bleiglanz und in der Zinkblende auf. Besonders in der Nähe der Korngrenzen zur Zinkblende tritt neben Chalkopyrit unregelmäßig auch Bornit auf. Die Spurenelementgehalte von Zn, Ni und Cd in Chalkopyrit liegen nahe der unteren Nachweisgrenze. Auf der Basis von 2 Schwefel-Atomen lautet die Formel $\text{Cu}_{1,1}\text{Fe}_{1,06}\text{S}_2$. Der Co-Gehalt reicht von 0,01 bis 0,15 Gew.-%. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen des untersuchten Chalkopyrits aus den Gängen 1, 2 und 3, sind im Anhang in Tabelle III-11 zusammengestellt. Bornit konnte aufgrund der sehr kleinen Größe der Einschlüsse mineralchemisch nicht untersucht werden. Die Phase wurde mikroskopisch bestimmt.

Bleiglanz

Bleiglanz kommt überwiegend in der brecciierten Zone 1 der Gänge vor. Die Spurenelementgehalte liegen nur geringfügig oberhalb der Nachweisgrenze. Der Cd-Gehalt erreicht Werte bis zu 0,14 Gew.-%. Auch Chalkopyrit und Bornit kommen als Einschlüsse vor. Der geringe Fe-Gehalt ($< 0,05$ Gew.-%) im Bleiglanz ist eventuell auf die zahlreichen Dolomitkristall-Einschlüsse zurückzuführen. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen des untersuchten Bleiglanzes aus den Gängen 1, 2 und 3 sind im Anhang in Tabelle III-12 aufgeführt.

4.2.2.5.2 Karbonatgänge im Nebengestein

Die richtungslos orientierten Karbonatadern im unterkarbonischen Nebengestein bestehen aus Calcit. Vereinzelt erkennt man in diesen Gängen Dolomitkristalle.

Calcit

Calcit der Karbonatgänge unterscheidet sich minimal bezüglich seiner chemischen Zusammensetzung von Calcit der subvertikalen Gänge 1, 2 und 3. Es treten Gänge auf, die CaO-Gehalte bis 56,2 Gew.-%, MnO-Gehalte bis 0,7 Gew.-% und FeO-Gehalte bis 0,6 Gew.-% erreichen. Der FeO- und MnO-Gehalt variiert minimal aufgrund der Felderzonierung (Abb.4.35a). Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen des untersuchten Gang-Calcits im Nebengestein sind im Anhang in Tabelle III-13 zusammengestellt.

Dolomit

Vereinzelt kommt in diesen Gängen Dolomit vor. Er ist zoniert. Der FeO-Gehalt schwankt zwischen 0,3 und 1,6 Gew.-%, der MgO-Gehalt zwischen 17,3 und 19,1 Gew.-%. Wendet man das Geothermometer von Powell et al. (1984) für die Bildungstemperatur der auftretenden Berührungsparagenesen von Dolomit und Kalzit ergibt sich eine Temperatur deutlich unterhalb von 300° C (Abb.4.33). Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen der untersuchten Gang-Dolomite des Nebengesteins sind im Anhang in Tabelle III-13 dargestellt.

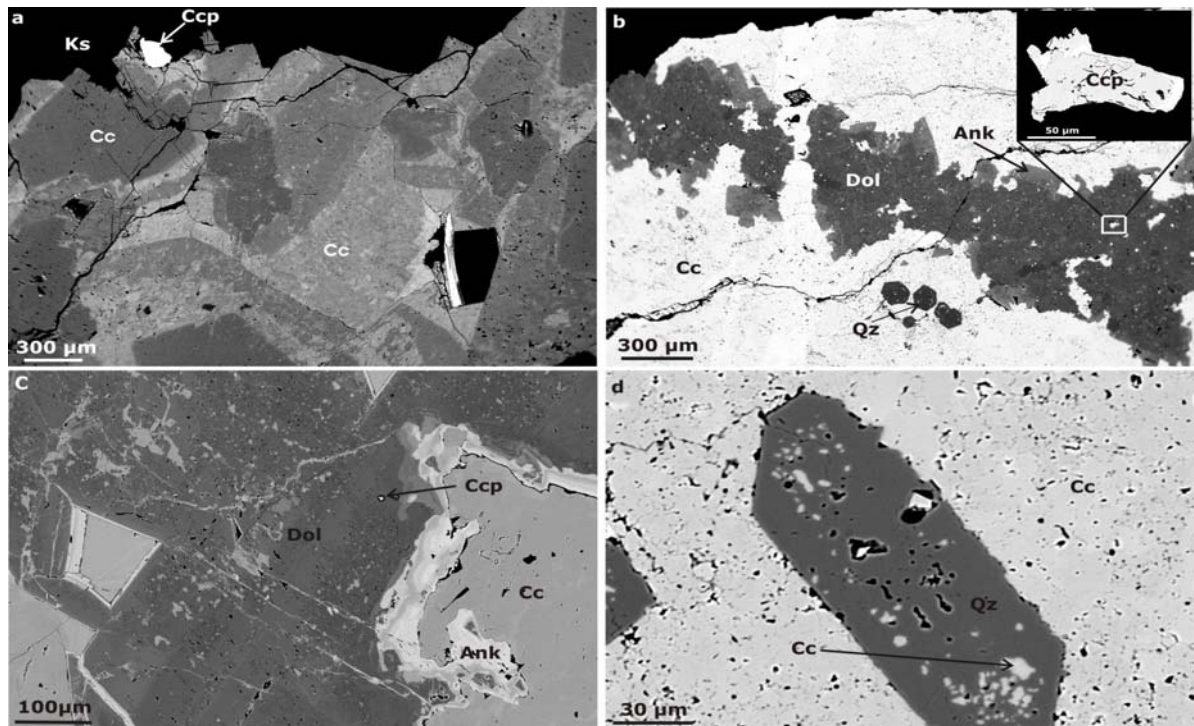


Abb.4.35: Richtungslos orientierte Calcitgänge im Kalkstein des Steinbruchs der Kalkwerke Hastenrath. BSE-Bilder. a. Zonierte Calcitadern im Nebengestein (HR16). b. Fein verästelte Adern von Dolomit/Ankerit im Nebengestein (HR20). c. Dolomitfragmente im Nebengestein mit zonierten Ankeritsäumen (HR20). d. Idiomorphe Quarzkristalle im Dolomit (HR20). Ks=Kalkstein, Dol=Dolomit, Cc=Calcit, Ank=Ankerit, Qz=Quarz, Ccp=Chalkopyrit.

4.2.2.5.3 Dolomitierter Visé-Kalkstein

Visé-Kalkstein des Steinbruchs Hastenrath besteht überwiegend aus Calcit, Dolomit und Ankerit. Deutlich zu erkennen sind auch idiomorphe Quarzkristalle. Akzessorisch tritt Chalkopyrit auf (Abb.4.35b,c).

Calcit

Die Grundmasse des Gesteins besteht aus Calcit. Der CaO-Gehalt schwankt zwischen 55,1 Gew.-% und 56,5 Gew.-%. Die FeO- und MnO-Gehalte erreichen Werte bis zu 0,3 Gew.-%. Der MgO-Gehalt liegt zwischen 0,1 und 0,5 Gew.-%. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen der untersuchten Calcite sind im Anhang in Tabelle III-15 zusammengestellt.

Dolomit / Ankerit

Dolomit bildet in der calcitischen Matrix des Gesteins fein verästelte Adern. Sie belegen eine postsedimentäre Dolomitisierung des Gesteins (Abb.4.35b). Dolomit weist FeO-Gehalte von 0,3 bis 1,6 Gew.-% und MnO-Gehalte von 0,1 bis 0,5 Gew.-% auf. Der Ankerit bildet Säume um die Dolomitfragmente. Seine MnO-, FeO- und MgO- Gehalte variieren. Diese Varianz spiegelt sich in der Zonierung der Kristalle (Abb.4.35c).

Idiomorphe Quarzkristalle kommen vermehrt im Dolomit als Einschluss vor und weisen mittig Einschlüsse von Calcit auf, die beim Wachsen der Quarze mit eingebunden wurden (Abb.4.35d). Dolomit und Ankerit zeigen variable Fe/Mg- und Fe/Mn-Verhältnisse (Abb.4.36). Ihre mineralchemische Zusammensetzung ist ähnlich derer aus den Dolomit/Ankerit-Fragmenten in den Gängen 1-3. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen der untersuchten Dolomit und Ankerit Mineralisation aus dem Nebengestein, sind im Anhang in den Tabellen III-16 und III-17 aufgeführt.

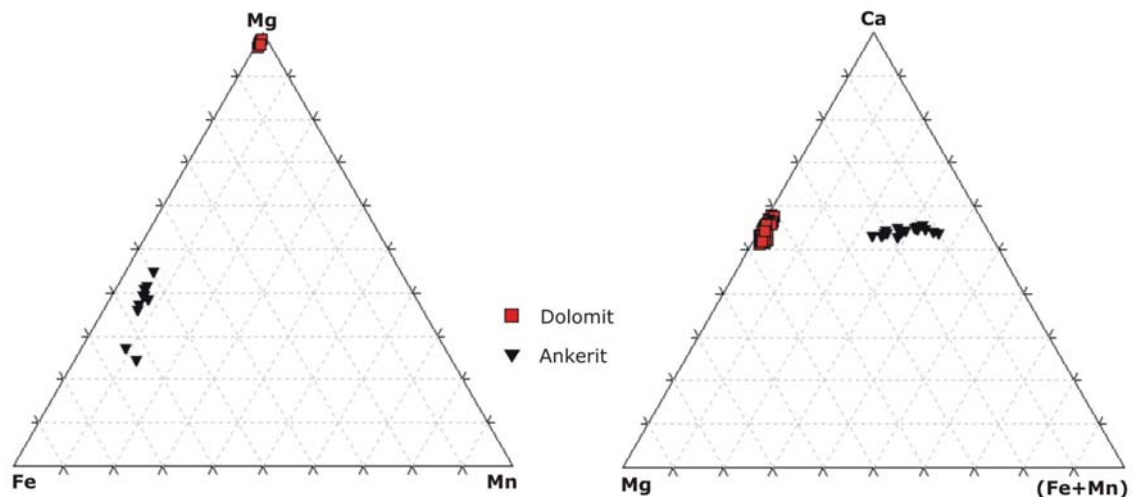


Abb.4.36: a. Chemische Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit im Visè-Kalkstein von Hastenrath im System Mg-Fe-Mn (Mol-%). b. Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit im im Visè-Kalkstein im System Ca-Mg-(Fe+Mn) (Mol-%).

4.2.2.5.4 Kalksinter

Der untersuchte Kalksinter der Probe HR21 besteht aus Calcit und weist geringe MnO-, MgO- und FeO- Gehalte auf. Der CaO-Gehalt liegt zwischen 54,5 und 55,8 Gew.-%. Die Ergebnisse der Mikrosondenanalysen der untersuchten Calcite im Kalksinter sind im Anhang in Tabelle III-18 aufgelistet.

4.2.2.6 Verteilungsmuster der Seltenerdelemente (SEE)

Es wurden insgesamt 9 Proben (H1-H9) aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke auf die Gehalte an Seltenerdelementen (SEE) untersucht. Bei den untersuchten Proben handelt es sich um Calcit und Dolomit der subvertikalen Gänge, der richtungslos orientierten Karbonatgänge im Nebengestein, der unterkarbonischen Kalksteine und der Kalksinter. In allen folgenden Darstellungen wurden die Seltenerdelemente auf den C1-Chondrit Standard nach McDonough & Sun (1995) normiert (Anhang, Tabelle V-1). Im Anhang sind in Tabelle V-4 die Seltenerdelementgehalte der untersuchten Proben aufgelistet.

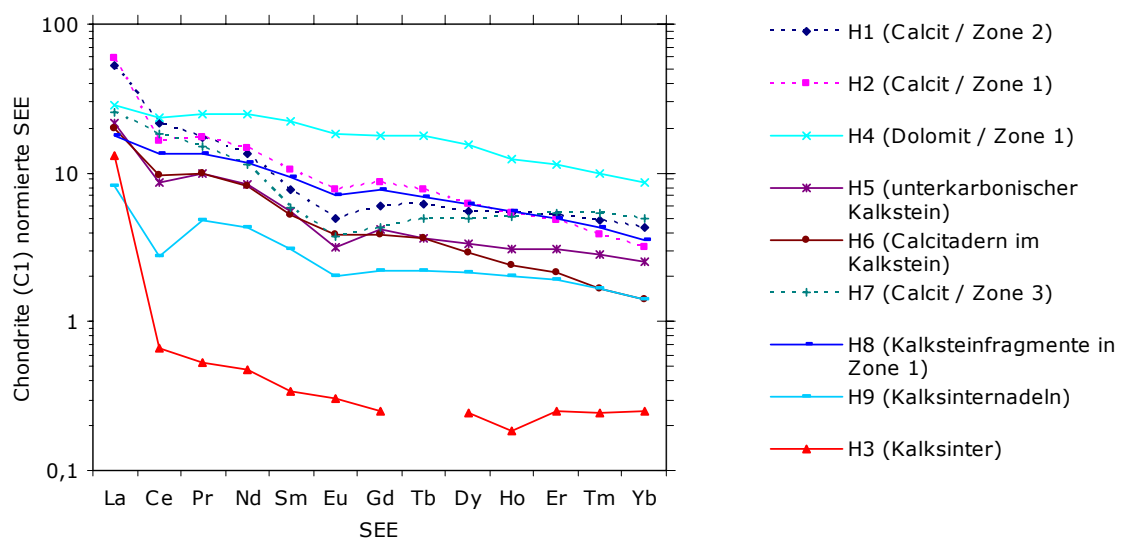


Abb.4.37: Verteilungsmuster der SEE in Karbonatischen Gängen (subvertikaler Gang 1, richtungslos orientierte Karbonatgänge), Unterkarbonischem Kalkstein, und Kalksintern des Steinbruchs Hastenrath. Die Werte sind auf den Chondrit C1 nach McDonough & Sun (1995) normiert.

Die Konzentrationen der Seltenerdelemente (SEE) in den Karbonat-mineralen und -Gesteinen von Hastenrath zeigen deutliche Unterschiede (Abb.4.37 und Abb.4.38). Man erkennt generell eine Fraktionierung der leichten gegenüber den schweren Seltenerdelementen. Die leichten SEE erreichen eine starke positive Anreicherung mit ($La_N/Sm_N=1,31-38,84$) im Gegensatz zu den schweren SEE mit einer relativ geringen Anreicherung ($Gd_N/Yb_N=0,87-2,72$). Bis auf Probe H3 (Kalksinter) zeigen alle Proben eine leicht negative Europiumanomalie ($Eu/Eu^*=0,66-0,92$). Der Kalksinter zeigt eine minimale positive Europiumanomalie ($Eu/Eu^*=1,04$).

Der hydrothermale Calcit der subvertikalen Gänge zeigt in den Zonen 1-3 jeweils ähnliche SEE-Verteilungsmuster (Abb.4.37). Dolomit in Zone 1 ist deutlich höher angereichert als die Calcite aus den Zonen 1-3 und das Nebengestein. Außerdem wird eine vergleichsweise kleine negative Europiumanomalie ($Eu/Eu^*=0,92$) gegenüber den Calciten beobachtet.

Die richtungslos orientierten Calcitadern im Visé-Kalkstein als auch der Visé-Kalkstein selbst lassen geringere SEE-Werte als die Calcite der Zonen 1-3 erkennen, sind aber ähnlich fraktioniert wie diese. Der Kalksinter und die angewachsenen Kalksinternadeln (H3, H9) weisen geringe SEE-Gehalte auf. Es ist eine leichte Anreicherung von leichten gegenüber den schweren SEE zu erkennen. Auffällig ist der hohe La-Gehalt. Die auf die Kalksinterproben (H3) angewachsenen Kalksinternadeln (H9) weisen gegenüber H3 höhere SEE-Gehalte auf. Diese Probe H9 zeigt eine markante negative Cerium-Anomalie ($Ce/Ce^*=0,25-0,43$) (Abb.4.37 & Abb.4.38). Auch der Kalkstein und die Calcite der Profilzonen 1-3 weisen eine Cerium-Anomalie auf ($Ce/Ce^*=0,58-0,88$, Kalkstein; $Ce/Ce^*=0,51-0,70$, Calcit der Zonen 1-3).

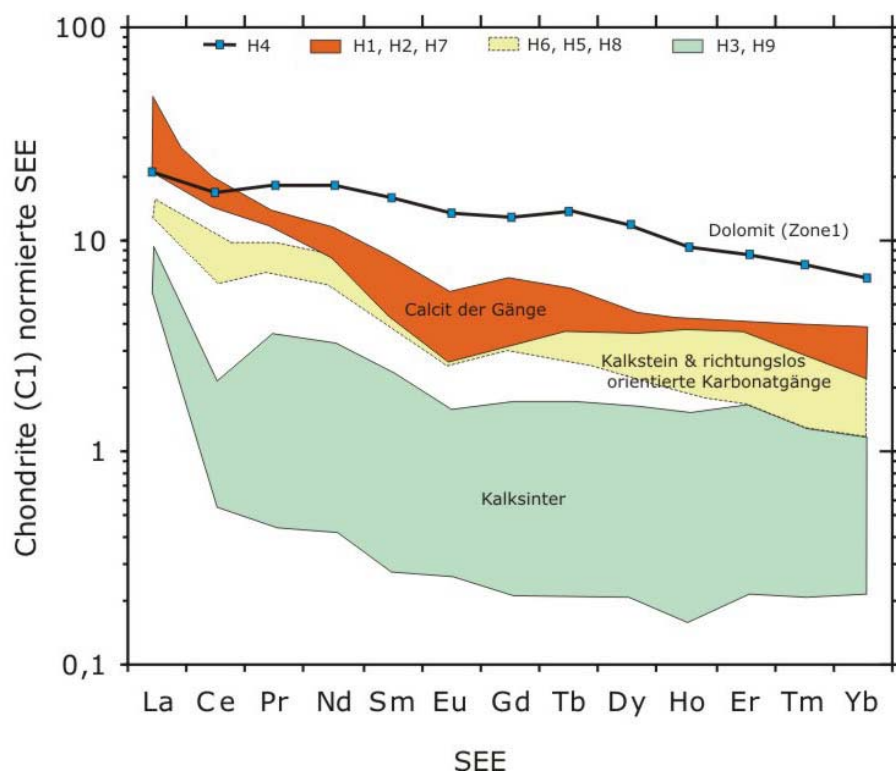


Abb.4.38: Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in den Karbonatphasen der Gangmineralisation, und des Nebengesteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

4.2.2.7 Flüssigkeitseinschlüsse

Petrographie der Flüssigkeitseinschlüsse

Für die mikrothermometrischen Messungen von Flüssigkeitseinschlüssen in den subvertikalen Gangmineralisationen wurden Einschlüsse im Calcit der subvertikalen Gänge der Zonen 1-3 ausgesucht. Im Anhang, in Abschnitt IV in Tabelle IV-1 sind die Ergebnisse der mikrothermometrischen Untersuchungen zusammengestellt.

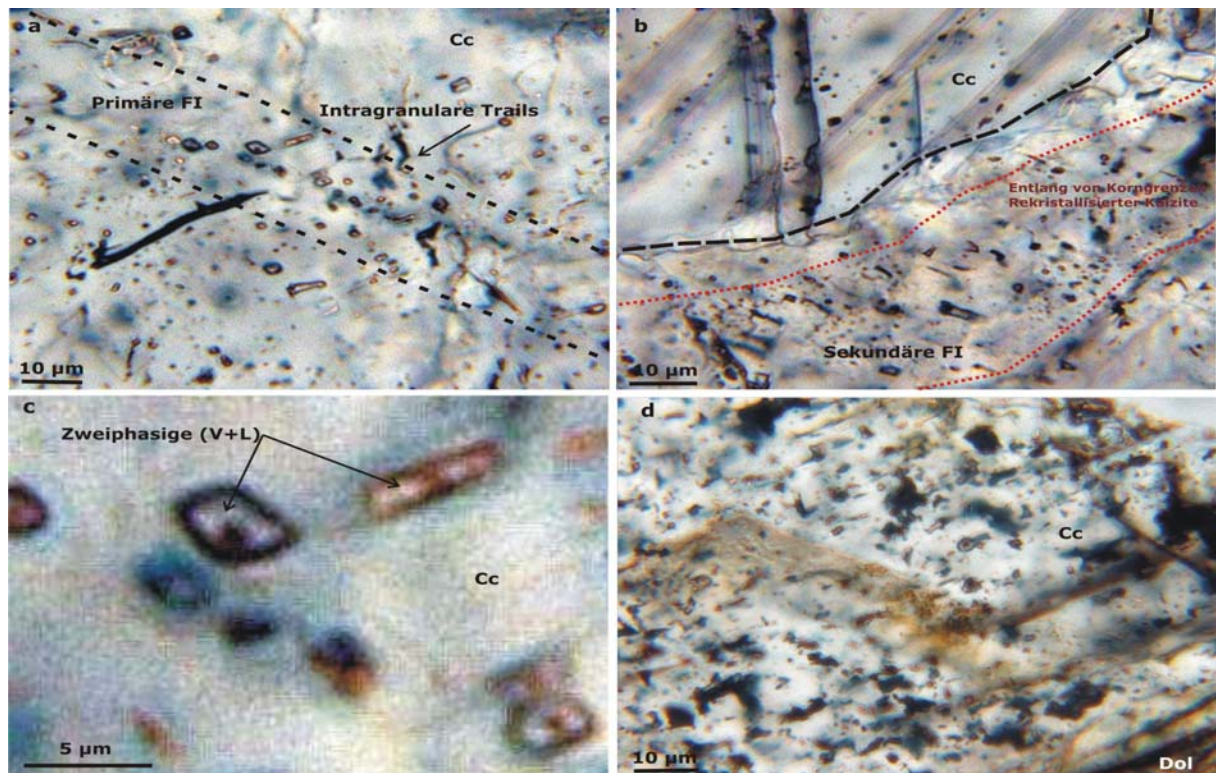


Abb.4.39: Flüssigkeitseinschlüsse in Calcitkristallen. a. Intergranulare primäre Trails von Flüssigkeitseinschlüssen in Calcitkristallen. Die H_2O -Einschlüsse sind zum Teil zweiphasig und zeigen sehr variable Füllungsgrade (Zone 2, Probe HR2). b. Sekundäre ein- und zweiphasige Einschluss-Zonen entlang von Korngrenzen, die während einer Rekristallisation gebildet wurden (Zone 2, Probe HR6). c. Zweiphasige wässrige Einschlüsse mit sphäroidalen, ellipsoidalen und länglichen Formen (Zone 3, Probe HR5). d. In Wachstumszonen von Kristallen erkennt man eine deutliche Anreicherung von einphasigen und zweiphasigen Einschlüssen (Zone 1, Probe HR4).

Beobachtet wurden überwiegend zweiphasige Einschlüsse, d.h. neben einer flüssigen Phase existiert noch eine Gasphase in Form einer Gaslibelle, die in den untersuchten Vorkommen 5-30 % des Einschlussvolumens einnimmt (Abb.4.39c). Die Einschlüsse haben ovale bis längliche Formen bzw. füllen Negativkristalle (Abb.4.39c). Daneben existieren einphasige, wässrige, Einschlüsse. Die Größe der gemessenen Flüssigkeitseinschlüsse liegt zwischen 3 und 20 μm . Viele Einschlüsse sind sehr klein (1-4 μm), so dass mikrothermometrische Untersuchungen hieran nur bedingt möglich waren. Oft erwies sich der Calcit durch seine starke Trübung als ungeeignet für verwertbare

Messungen. Die Mehrzahl der Einschlüsse ist in Einschlussbändern oder verheilten Brüchen intergranular angeordnet (Trails) (Abb.4.39a). Entlang von Korngrenzen vieler Karbonatkristalle erkennt man rekristallisierte Bereiche, in denen vermehrt sekundäre Einschlüsse zu beobachten sind. Ihre Trails gehen nicht über Korngrenzen hinweg. Oft sind diese senkrecht zur Korngrenze orientiert (Abb.4.38b). Oft sind die Flüssigkeitseinschlüsse in einzelnen Wachstumszonen der Calcitkristalle konzentriert (Abb. 4.39d).

Die Gesamtheit der Einschlusstexturen ist schwierig im Sinne klar definierter Gefügekriterien zur Unterscheidung primärer, pseudosekundärer und sekundärer Fluideinschlüsse (Roedder, 1994; Goldstein, 1994) zu interpretieren. Multiples Aufreißen und Wiederverheilen der subvertikalen Gänge während der Entstehung und somit wiederholte fluide Schübe führte wiederholt zu Gefügen, die textuelle Charakteristika von pseudosekundären und sekundären Einschlüssen besitzen.

Mikrothermometrische Messergebnisse

Mikrothermometrisch wurden 59 Einschlüsse in Gangcalciten untersucht, darunter sowohl primäre als auch sekundäre zweiphasige (V+L) wässrige Fluideinschlüsse. Zwischen den einzelnen Calcit-Zonen variieren Homogenisierungstemperaturen (T_h), Schmelztemperaturen (T_m), eutektische Temperaturen (T_e) und NaCl-Äquivalent voneinander (Abb.4.40a,b).

Einschlüsse der Zone 1 weisen die höchsten Homogenisierungstemperaturen von 108,8°C bis 179, 7°C auf. Die Schmelztemperaturen liegen zwischen -12,7 °C und -17,4°C. Die Salinität erreicht Werte von 16,72 bis 20,74 Gew.-% NaCl-Äquivalent (Abb.4.40a). Die eutektischen Temperaturen von -48,5°C bis -56,8°C entsprechen einem NaCl-CaCl₂-H₂O System.

In Zone 2 liegen die Homogenisierungstemperaturen unterhalb der Temperaturen in Zone 1 und 3, zwischen 80,7°C und 118,7°C. Die Schmelztemperaturen liegen zwischen -6,8°C und -20,5°C. Die Salinitäten reichen von 10,24 bis 23,01 Gew.-% NaCl-Äquivalent (Abb.4.40a). Die eutektischen Temperaturen von -34,1°C bis -64,7°C entsprechen einem ähnliche System wie Zone 3.

In Zone 3 reichen die Homogenisierungstemperaturen von 115,1 °C bis 161,2°C, die Schmelztemperaturen liegen zwischen -7,7°C und -20,6°C. Die eutektischen Temperaturen, die bis zu -64,3°C reichen, deuten auf eine hohe Salinität in einem NaCl-CaCl₂-MgCl₂-H₂O-System hin. Die gemessenen Homogenisierungstemperaturen entsprechen nach Potter et al. (1978) 11,35 bzw. 23,08 Gew.-% NaCl-Äquivalent (Abb.4.40a).

Die Unterschiede in der Schmelztemperatur und der Homogenisierungstemperatur innerhalb der einzelnen Profilzonen sind in Abb.4.40b deutlich zu erkennen. Die Einschlüsse in Zone 1 und 3 zeigen ähnliche Homogenisierungstemperaturen, die

Temperaturen der Einschlüsse in Zone 2 sind deutlich geringer. Fluideinschlüsse der Zonen 2 und 3 schwanken in ihren Schmelztemperaturen und NaCl-Äquivalenten deutlich im Vergleich zu denen der Zone 1 (Abb.4.40a,b).

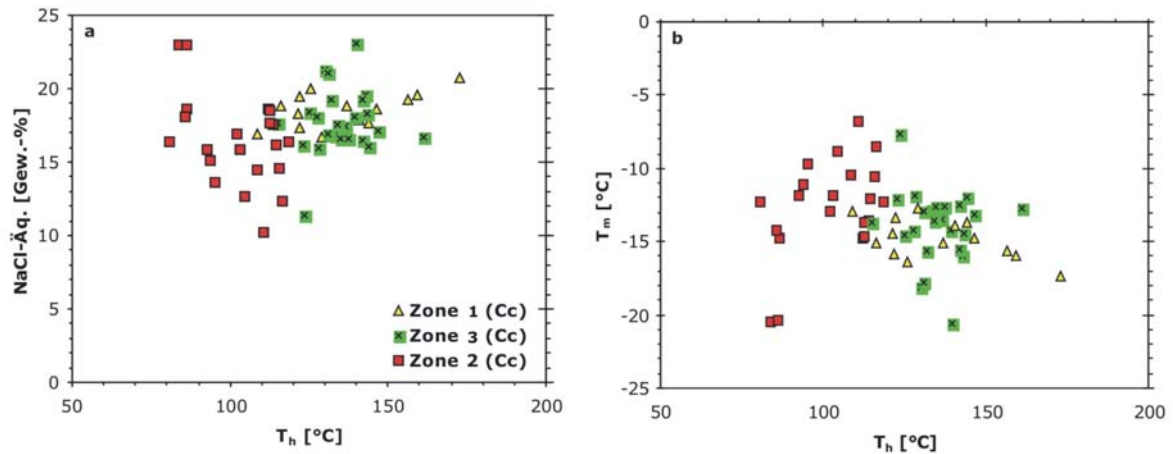


Abb.4.40: a. T_h - NaCl-Äquivalent Diagramm primärer, pseudosekundärer und sekundärer Fluideinschlüsse im Calcit der untersuchten Profil-Zonen 1-3. Die untersuchten Einschlüsse unterscheiden sich deutlich in ihrer Homogenisierungstemperatur. b. T_h - T_m Diagramm der Einschlüsse im Calcit der Profil-Zonen 1-3.

Die Häufigkeitsverteilung zeigt überwiegend gut definierte Maxima für die drei Profilzonen (Abb.4.41) und legt homogene Fluidsysteme bei der Mineralisation in den Zonen nahe.

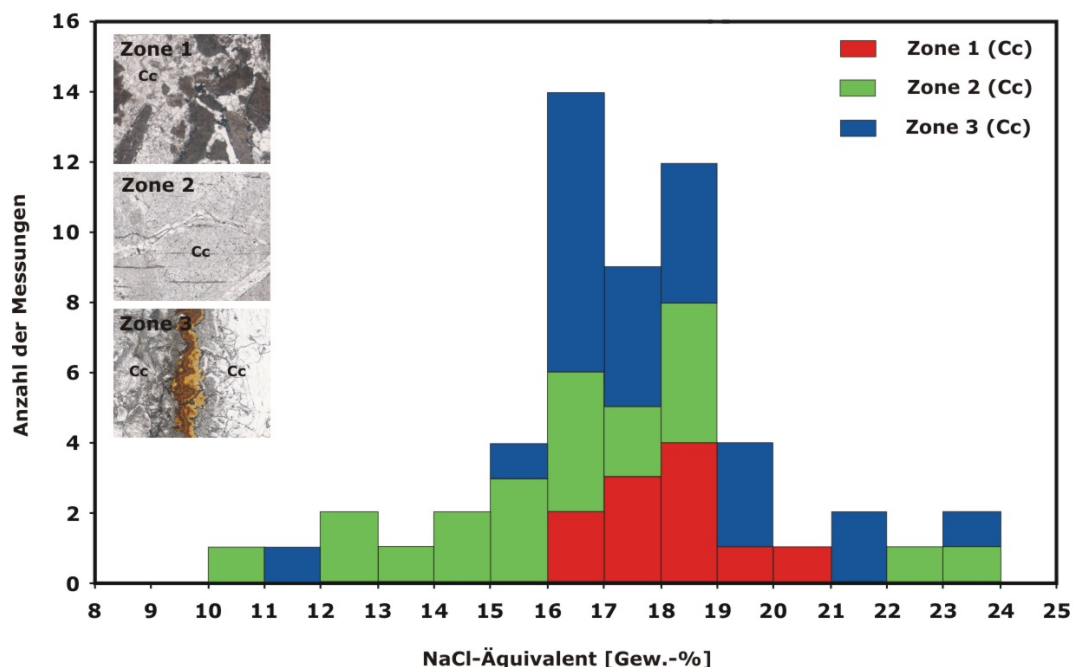


Abb.4.41: Häufigkeitsverteilung der Salinität (NaCl-Äquivalent [Gew.-%]) primärer, sekundärer und pseudosekundärer Fluideinschlüsse im Calcit der untersuchten Profilzonen.

4.2.2.8 Stabile Isotope

Aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke wurden 32 Kalksteinproben, 5 Proben des dolomitisierten Kalksteins, 16 Proben der richtungslos orientierten Karbonatgänge im Kalkstein, 9 Kalksinterproben, 19 Calcitproben aus den Profilzonen 1-3 der subvertikalen Gänge und 4 Dolomitproben der Profilzone 1 der subvertikalen Gänge, hinsichtlich ihrer Kohlenstoff- und Sauerstoff- Isotopen untersucht.

Die Kohlenstoffisotopen ($\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$) in den untersuchten Proben variieren zwischen -11,14 und 2,47‰ (Abb.4.42), die Sauerstoffisotopen ($\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$) zwischen 14,48 und 26,01‰ (Abb.4.42). Die Isotopen der Gangkarbonate (Calcit der Zonen 1-3 und Dolomit der Zone 1), der Calcite aus den richtungslos orientierten Karbonatgängen im Kalkstein, der Kalksteinproben, der dolomitisierten Kalksteine und der Kalksinterproben unterscheiden sich deutlich voneinander.

Die Kohlenstoff-Isotopenzusammensetzung der Kalksteinproben (Kohlenkalk) schwankt zwischen -0,32 und 2,47‰. Die Daten liegen damit innerhalb einer relativ geringen Variationsbreite. Sie liegen im Bereich der marinen Kalksteine (Abb.4.43a) (Vergleich: Kerridge, 1985; Field & Fifarek, 1986; Hoefes, 1987; Rollinson, 1993).

Die $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Werte in den Kalksteinen variieren von 15,46 bis 23,67‰. Im Vergleich zu den Kohlenstoffisotopen streuen diese Werte stärker. Ein Vergleich mit anderen Karbonatvorkommen zeigt, dass auch die Sauerstoffisotopie des Kalksteins im Bereich der marinen Kalksteine liegt (Hoefs, 1987; Rollinson, 1993) (Abb. 4.43b). Ähnliche $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ - und $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ - Werte werden von Redecke (1992) und Rottke (1994) für unterkarbonische Kalksteine aus dem Raum Aachen-Stolberg beschrieben. Rottke (1994) beschreibt auch ähnliche Werte für oberdevonische Kalksteine.

Dolomitisierte Kalksteinbereiche treten häufig nahe der subvertikalen Karbonatgänge, auf. Diese Kalksteine weisen $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Werte zwischen 0,83 und 1,11‰ und $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ - Werte zwischen 20,90 und 23,73‰ auf. Im Vergleich zum Kalkstein streuen die Werte gering.

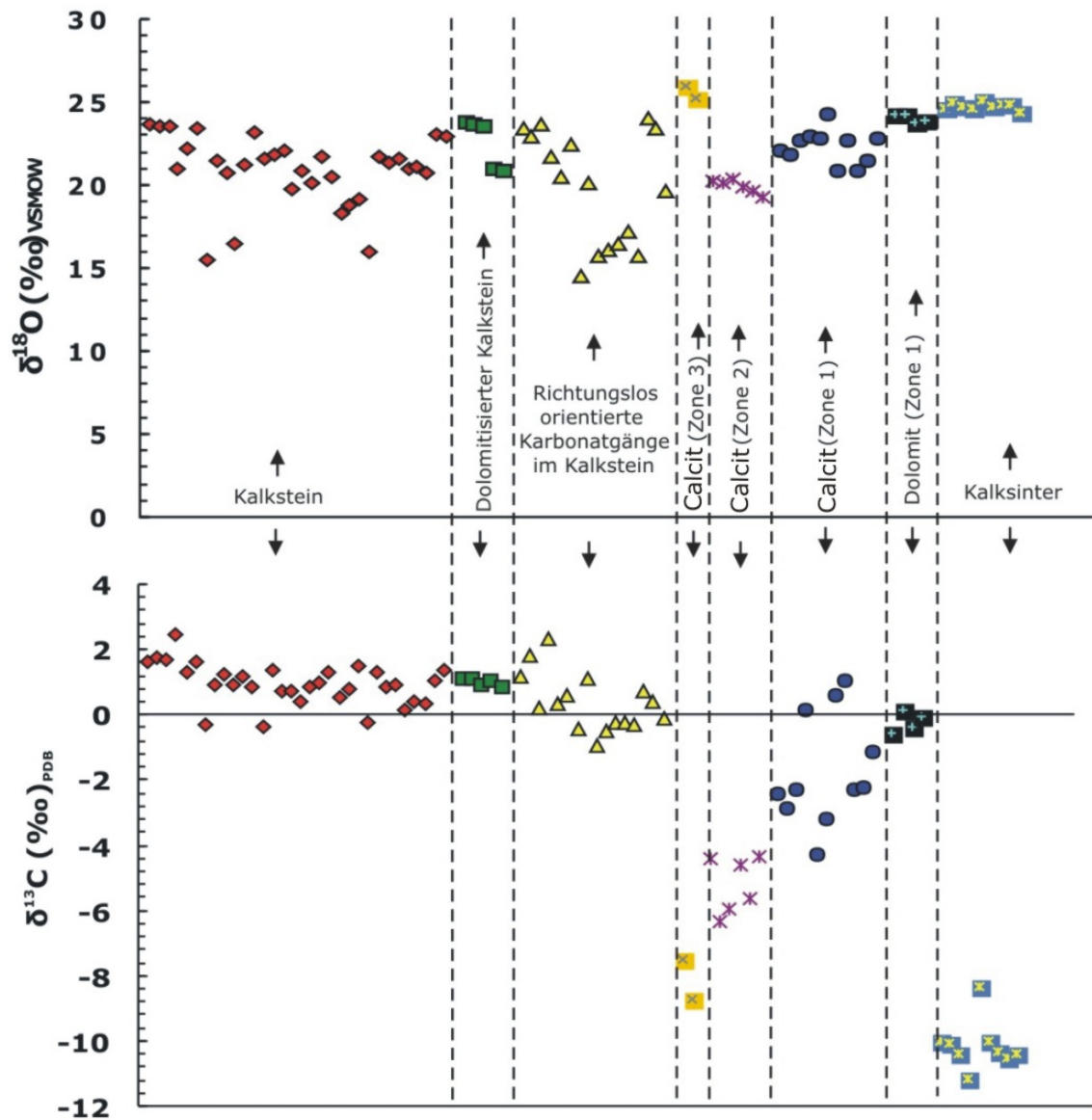


Abb.4.42: Sauerstoff ($\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$)- und Kohlenstoff ($\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$)- Isotopie der untersuchten Kalksteine, Kalksinter, dolomitisierten Kalksteine, richtungslos orientierten Calcitadern im Kalkstein, Calcit aus Zone 1-3 und Dolomit aus der Zone 1 des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerken.

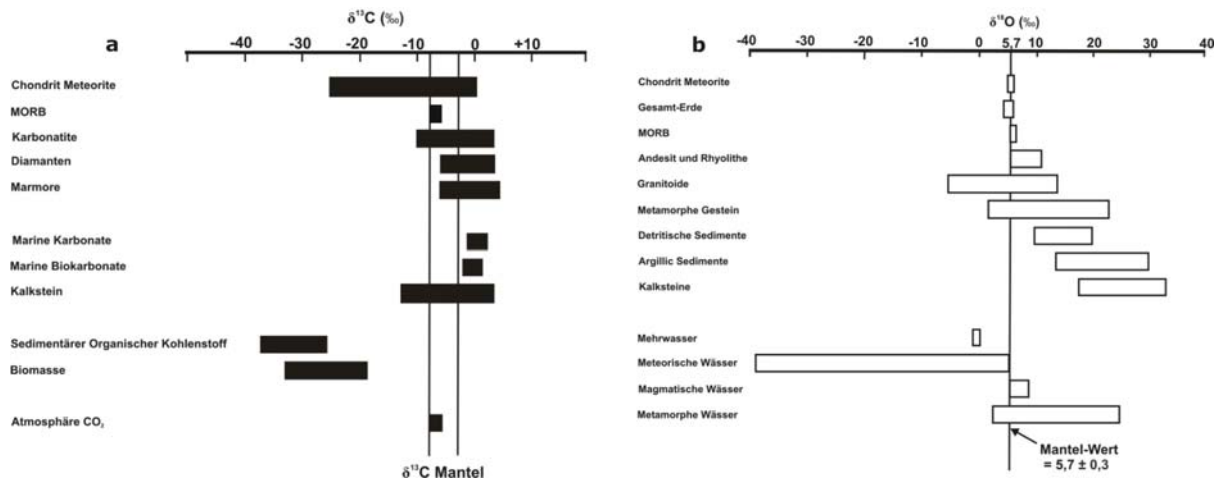


Abb.4.43: a. Variationen der $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ - Isotope in unterschiedlichen Gesteinen, Wässern, der Atmosphäre und der Biomasse. b. Variation der $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Isotope in unterschiedlichen Gesteinen, Wässern, der Atmosphäre und der Biomasse (nach Rollinson, 1993).

Die richtungslos orientierten Calcitadern im Kalkstein zeigen $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Werte von -0,92 bis 2,32‰ und $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Werte von 14,48 bis zu 24,00‰. Die $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Werte streuen stark und sind ähnlich denen der Kalksteinproben. Auch die $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Werte streuen im Rahmen der Kalksteinproben.

Die postvariszischen, subvertikalen Gänge zeigen eine starke Varianz der Calcitisotopien in den unterschiedlichen Profilzonen 1, 2 und 3. Calcit der Zone 1 weist stark schwankende $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Werte von -4,28 bis 1,03‰ und $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Werte von 20,82 bis 24,24‰ auf. Der Dolomit aus der Zone 1 zeigt $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Werte von -0,55 bis 0,14‰ und $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Werte von 23,78 bis 24,32‰ und liegt somit innerhalb der Werte der Calcite aus der gleichen Profilzone 1.

Calcit aus Zone 2 weist $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Werte von -6,36 bis -4,33‰ und $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Werte von 19,25 bis 20,39‰ auf. In Zone 3 zeigt der Calcit $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Werte von -8,70 bis -7,52‰ und $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Werte zwischen 25,21 und 26,01‰. Die Kohlenstoffisotopien zeigen innerhalb der Gangprofile von Zone 1 zu Zone 3 einen Trend zu leichter werdenden $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Verhältnissen.

Jüngste Bildungen im Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath sind Kalksinterabscheidungen zu erkennen. Diese unterscheiden sich deutlich von allen anderen karbonatischen Proben. Die $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$ -Werte weisen signifikant leichtere Isotopien von -11,14 bis -8,33‰ auf und sind damit ähnlich dem Calcit aus Zone 3. Die $\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$ -Werte liegen zwischen 24,41 und 25,14‰.

Alle Messparameter und Messergebnisse sind im Anhang in Abschnitt XI beschrieben und in Tabelle XI-1 entsprechend aufgelistet.

4.2.2.9 Radiogene Isotope

4.2.2.9.1 Sr-Isotopensignaturen von Gangkarbonaten und Nebengestein

Zur Herkunftsanalyse der postvariszischen Mineralisationen im Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke wurden Sr-Konzentrationen und Sr-Isotopen-Signaturen der Gangkarbonate und des Nebengesteins bestimmt (Tabelle XII-3; Anhang).

Calcit der Gangprofile weist in den Zonen 1-3 stark variierende Sr-Isotopien auf (Abb.4.44a). Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse aus Zone 1 und 2 zeigen eine breite Variation von $0,70870 \pm 1$ bis $0,71414 \pm 1$ bzw. $0,70857 \pm 2$ bis $0,71408 \pm 1$. Für Profilzone 1 liegt die Sr-Konzentration im Calcit zwischen 31,13 und 112,08 ppm, für Profilzone 2 bei 38,37 ppm. Dolomit, der als Fragment in der Zone 1 vorkommt, weist $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen $0,70972 \pm 1$ und $0,71218 \pm 1$ und Sr-Konzentrationen von 14,28 bis 14,53 ppm auf.

Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis der Calcitproben aus Zone 3 variiert ebenfalls stark und liegt im Bereich von $0,71107 \pm 1$ bis $0,71417 \pm 1$. Die Sr-Konzentration dieser Calcite liegt zwischen 107,34 und 152,82 ppm (Abb.4.44b).

Korrelationen zwischen Elementkonzentrationen und Isotopenverhältnissen der Calcite und des Dolomits der einzelnen Zonen sind nicht erkennbar (Abb.4.44b).

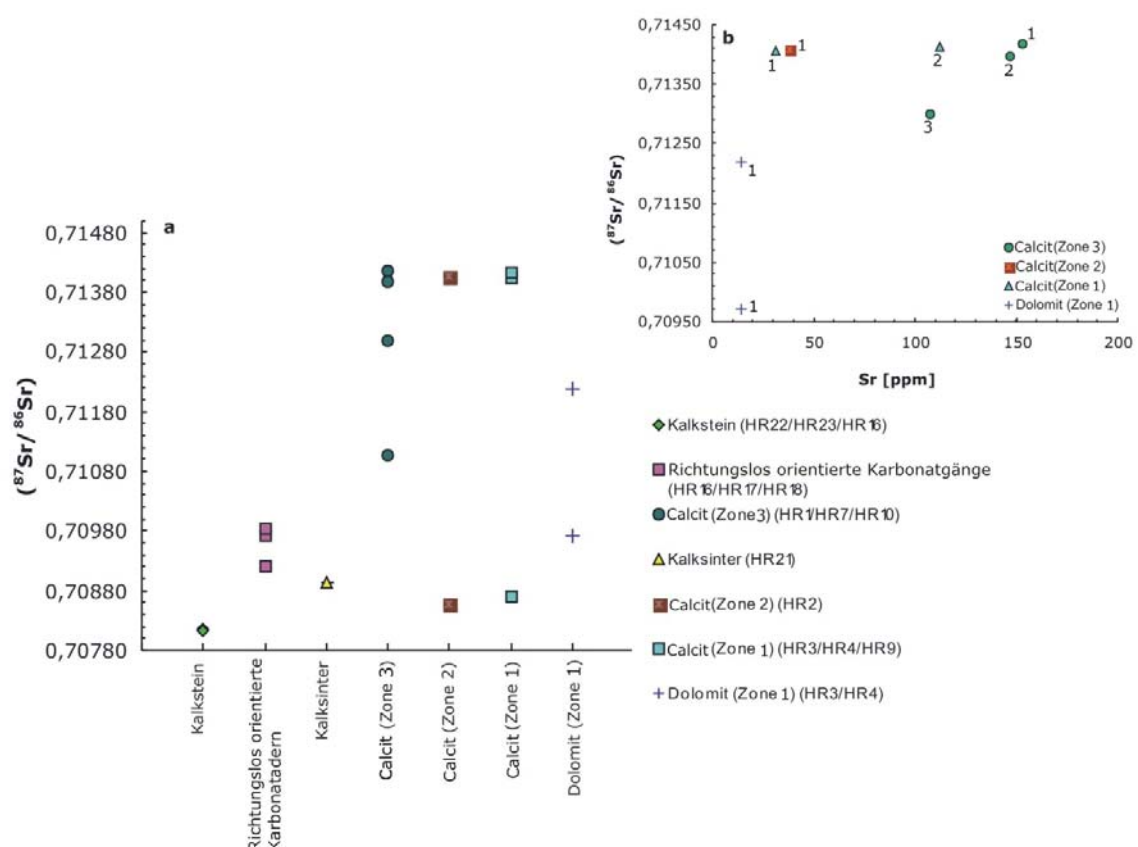


Abb.4.44: a. Variation der $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ -Signaturen in den Gangkarbonaten (Calcit und Dolomit), Kalksintern und Kalksteinen des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke. b. $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})$ -Signaturen und Sr-Konzentrationen in Calcit und Dolomit der Zonen 1-3 aus den Gängen 1-3.

Die große Variationsbreite der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen von Karbonaten, selbst innerhalb einzelner Profilzonen, wird im Sinne komplexer Bildungsbedingungen gedeutet. Wiederholte Fluidschübe waren an den Gangfüllungen beteiligt.

Die richtungslos orientierten Calcitadern im unterkarbonischen Kalkstein zeigen verhältnismäßig geringe Variationen ihrer $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse. Diese liegen zwischen $0,70922 \pm 1$ und $0,70983 \pm 1$.

Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis der untersuchten unterkarbonischen Kalksteinproben zeigt konstante Signaturen von $0,70812 \pm 1$ bis $0,70817 \pm 2$ die vergleichbar sind mit denen mariner Karbonate des Paläozoikums (Burke et al., 1982).

Das mit Fluidfluss verbundene jüngste Ereignis im Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke ist die Kalksinterbildung. Ihr $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis beträgt $0,70893 \pm 1$.

Zusätzlich zu den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen der richtungslos orientierten Calcitadern im Kalkstein und des Kalksteins selbst, wurde das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis des leicht löslichen Anteils des unterkarbonischen Kalksteins analysiert (Tabelle 4.2).

Tabelle: 4.2: Rb- und Sr- Isotopenmessungen vom leicht löslichen Anteil der Unterkarbonischen Kalksteine der Hastenrather Kalkwerke.

Probe	Gestein	Rb[ppm]	Sr[ppm]	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$[\text{Sr}/^{86}\text{Sr}]_{300}$	$\pm 2\sigma$
HR22	Kalkstein (Unterkarbon-Visé)	0,020	19,276	0,00293	0,00014	0,70851	0,00001	0,70849	0,00001

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen der Calcite aus den verschiedenen Gangtypen geben Aufschluss über die Herkunft des Lösungsinhalts der fluiden Phasen und seine mögliche Verwandtschaft mit den benachbarten Karbonatgesteinen. Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen der richtungslos orientierten Calcitadern (HR16/HR17/HR18) weisen deutlich höher radiogene Sr-Isotopenverhältnisse auf als der leicht lösliche Anteil des umgebenden Visé-Kalkstein mit einer $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{300}$ -Signatur von $0,70849 \pm 1$ (Tabelle 4.2). Die Rb und Sr Konzentrationen des leicht löslichen Visé-Kalksteins sind mit 0,020 ppm Rb und 19,276 ppm Sr sehr gering. Das Material der Calcitadern ist somit kein Ausfällungsprodukt aus den Porenwässern des Visé-Kalksteins. Bei den Calcitadern handelt es sich um einen differenzierten Fluidfluss.

4.2.2.9.2 Pb-Isotopensignaturen von Gangmineralisationen

Aus den subvertikalen hydrothermalen Gängen wurden Calcitproben, Bleiglanzproben und Zinkblendeproben hinsichtlich ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung untersucht. Es wurden die Verhältnisse $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ an 6 Calcitproben der Zonen 1-3 (Tabelle XII-4, Anhang), 3 Bleiglanzproben der Zone 1 (Tabelle XII-5, Anhang) und 9 Residuum-Zinkblendeproben, differenziert in helle und dunkle Fraktionen, aus Zone 3 (Tabelle XII-6, Anhang) analysiert. Die Messdaten sowie die massenfractionierungskorrigierten Werte der Pb-Isotopenverhältnisse sind in den Tabellen XII-4 bis XII-6 im Anhang aufgelistet. Abb.4.45 zeigt die Darstellung der Isotopenverhältnisse im $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ Diagramm.

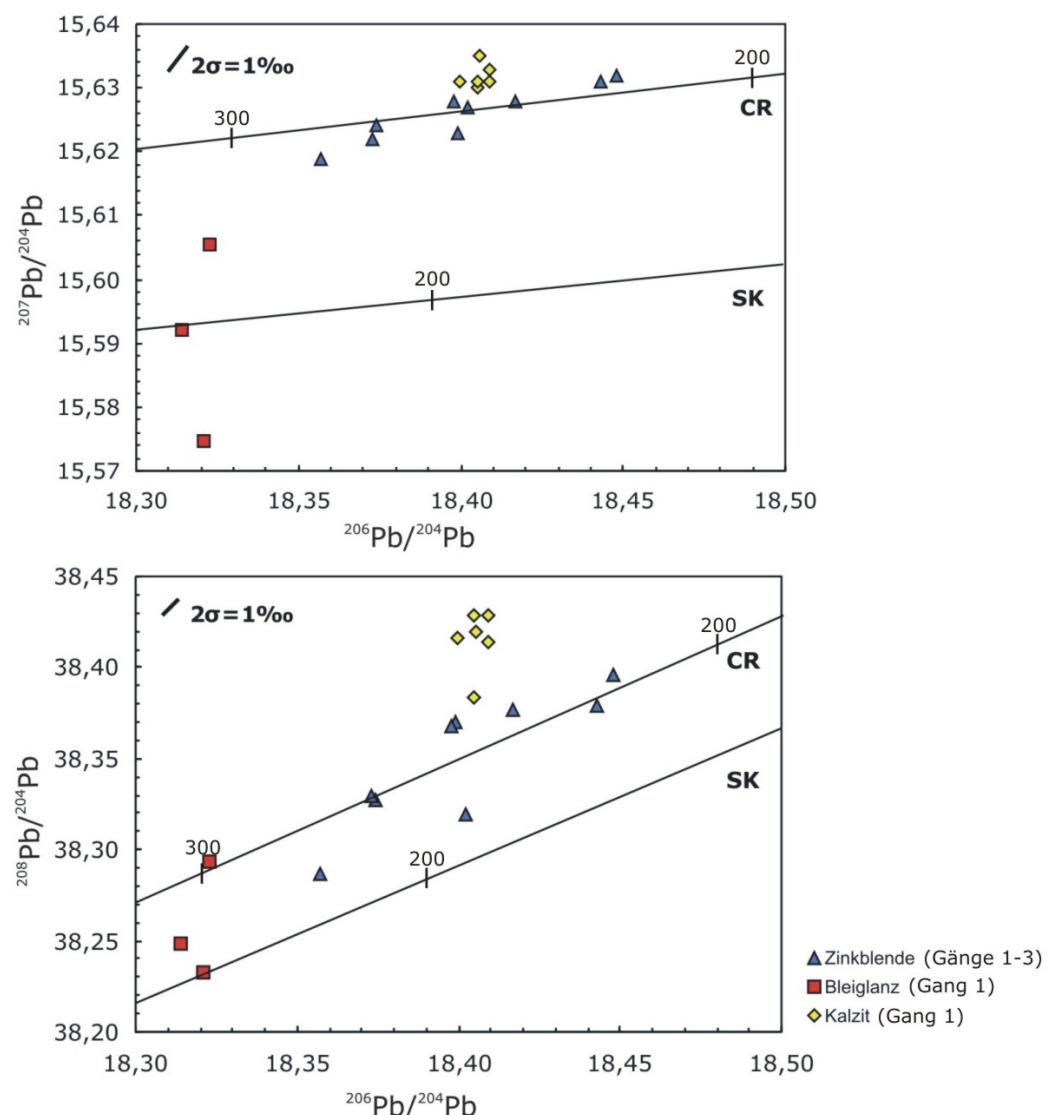


Abb.4.45: Pb-Isotopie von Calcit (Zonen 1-3), Bleiglanz (Zone 1) und Zinkblende Residuum Proben mit hellen und dunklen Fraktionen der Zone 3 der subvertikalen Gänge, Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke. Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen.

Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen. Die Pb-Isotopenverhältnisse der Calcit- und Bleiglanzproben bilden Cluster, es ist keine auffällige Streuung zu erkennen. Calcit der einzelnen Zonen 1, 2 und 3 zeigt keine Varianz. Alle Calcitdaten liegen in der Nähe der Pb-Entwicklungslinie von Cumming und Richards (1975), die Bleiglanzdaten liegen größtenteils zwischen den Entwicklungslinien nach Cumming & Richards (1975) und Stacey & Kramers (1975). Die Zinkblende-Residuum Daten zeigen eine größere Streuung mit $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen von 18,373 bis 18,448. Für die hellen und die dunklen Fraktionen ist keine Systematik der Pb-Isotopen zu erkennen. Auch diese Daten liegen größtenteils zwischen den beiden Entwicklungslinien.

4.2.2.9.3 Rb-Sr Datierung von Zinkblende

Acht Zinkblende-Residuum-Proben (R) weisen $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen 0,599 und 2,123 und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen 0,71101 und 0,71543 auf, ihre Elementkonzentrationen von Rb und Sr betragen 0,0064 bis 0,0459 ppm und 0,0311 bis 0,1093 ppm. Die Elementkonzentrationen sind vergleichbar mit denen anderer Zinkblendeanalysen (Nakai et al., 1990; Brannon et al., 1992; Nakai et al., 1993; Christensen et al., 1995a,b; Walshaw & Menuge, 1998; Schneider et al., 1999). Die Isotopendaten definieren ad hoc keine Isochrone, sondern organisieren sich in einem $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ - korrelierten Streubereich, in dem in erster Näherung auch die Laugungseluate („leachates“) der Zinkblendefraktionen liegen. Lediglich eine Probe, eine helle Fraktion, liegt völlig außerhalb des Streubands (Abb.4.46). Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Karbonatproben aus den Zonen 1 bis 3 zeigen bei angenommen niedrigsten $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen eine große Varianz in ihren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werten (vgl. Kapitel 4.2.2.9.1). Sie streuen daher erheblich auf der Ordinate der Abb.4.46. Allein Calcit des Profilabschnitts 3, aus dem auch die Zinkblendefraktionen gewonnen wurden, liegt mit seinen Isotopendaten im Isochronendiagramm nur wenig unterhalb der Daten der Laugungsfraktionen.

Geht man von einer kogenetischen Bildung von Calcit und Zinkblende des Profilabschnitts 3 der subvertikalen Gänge aus, so muss Calcit auf einer gemeinsamen Isochrone mit den gelaugten ZnS-Fraktionen liegen. Da die Eluate der ZnS-Fraktionen oberhalb des darstellenden Punktes für den Zone-3-Calcit liegen, müssen die Eluate sekundäre Flüssigkeitseinschlüsse repräsentieren. Unter der Prämisse, MSWD zu minimieren, lassen sich vier ZnS-Fraktionen mit Calcit der Zone 3 zu einer Isochrone mit einem Alter von $134,3 \pm 1,3$ Ma (MSWD=0,97) verrechnen (Abb.4.46). Drei Fraktionen der dunklen Zinkblende und die eine Fraktion der hellen Zinkblende werden damit nicht berücksichtigt.

Die drei dunklen Fraktionen liegen oberhalb der Isochrone. Ihre Lage lässt sich mit einer unvollständigen Eluierung der jüngeren Flüssigkeitseinschlüsse erklären. Die Ergebnisse der Rb-Sr Isotopenanalysen der Zinkblendeproben aus den untersuchten Gängen 1-3 sind in Tabelle XII-7 im Anhang zusammengestellt.

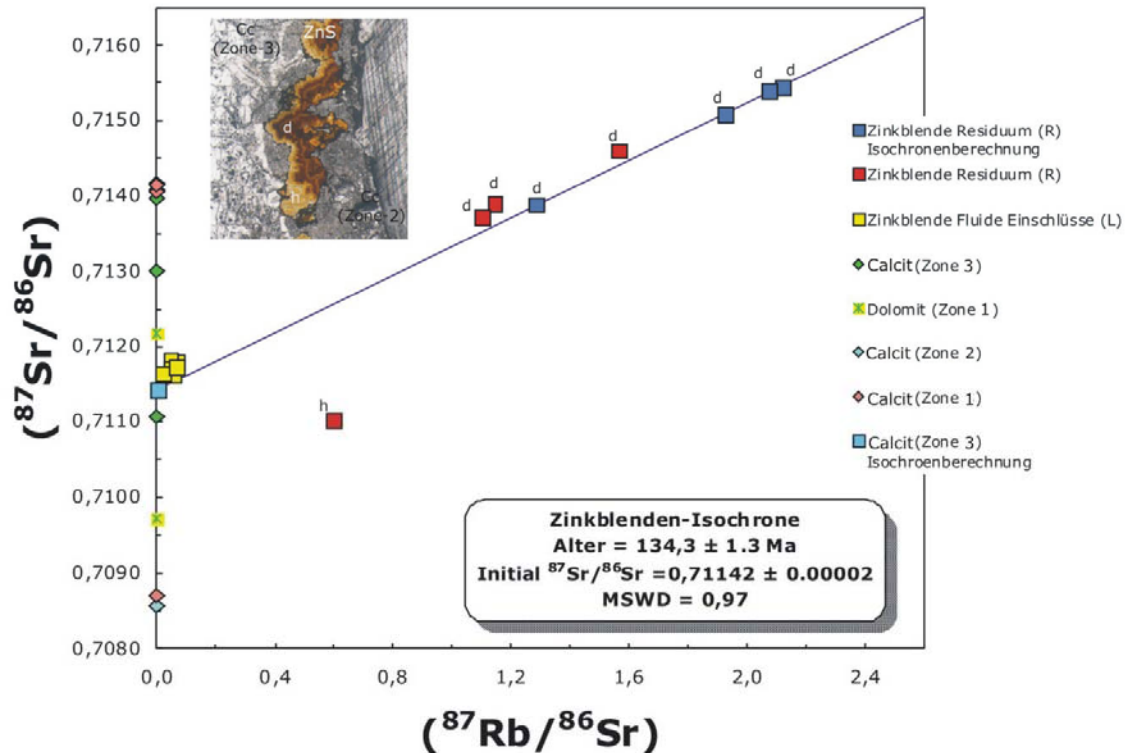


Abb.4.46: Rb-Sr Isochronendiagramm der Zinkblende Residuum Proben (R), deren Eluate der Flüssigkeitseinschlüsse (L), der Calcite aus den Profilzonen 1 bis 3 und der Dolomite aus der Zone 1. Die mit (d) gekennzeichneten Proben stellen die dunklen Fraktionen der Zinkblende dar, die mit (h) die hellen Fraktionen. Es ergibt sich eine Isochronengerade, deren Steigung einem Alter von $134 \pm 1,3$ (2σ) Ma entspricht. Für die Berechnung der Isochrone wurden 4 Residuum Zinkblendeproben und eine kogenetische Calcitprobe einbezogen. Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Initialverhältnis beträgt dabei $0,71142 \pm 0,00002$.

4.3 Vergleichsvorkommen

Zum Vergleich mit der PbS - ZnS Mineralisation im Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke wurden die Vorkommen Diepenlienchen, Albertsgrube, Altenberg, Bleiberg und Therae 2002 untersucht. In diesem Kapitel wird die Petrographie und Geochemie der untersuchten Proben dieser Vorkommen nur kurz angeschnitten. In den Arbeiten von Gussone (1964), Friedrich et al. (1987), Krahn (1988) und Redecke (1992), werden diese Vorkommen ausführlich beschrieben. Hier soll ein besonderes Augenmerk auf die isotopengeochemischen Ergebnisse gelegt werden. Bei den untersuchten Proben der einzelnen Vorkommen handelt es sich um Vererzungen aus Zinkblende (Schalenblende) mit eingeschalteten Bleiglanz- und Markasitkristallen und aus Gangartmineralen wie Calcit, Dolomit, Ankerit und Siderit.

4.3.1 Petrographie und Mineralchemie

Diepenlienchen

Zinkblende ist die Hauptphase der untersuchten Proben aus dem Vorkommen Diepenlienchen. Sie ist konzentrisch- oder polykonzentrisch-schalig ausgebildet. Die Farbe der Schalen schwankt zwischen hellgelblich-honigbraun bis graugrünlich (Abb.4.47a,e). Unter Kathodenstrahlung erkennt man unterschiedliche Lumineszenz in den Schalen aufgrund der schwankenden Eisen- und Kadmiumgehalte (Abb.4.47b,f). In den dunklen Schichten überwiegt der Eisengehalt mit bis zu 2,9 Gew.-%. Nach Kullerund (1961) wird mit zunehmender Temperatur mehr Eisen in die Zinkblende eingebaut. Der Kadmiumgehalt erreicht Werte bis zu 0,43 Gew.-%. Auffallend sind Bereiche mit intensiver Brekzierung der Zinkblende (Abb.4.47e,f). Dies deutet auf wiederholt auftretende tektonische Bewegungen in Zusammenhang mit der Bildung der Mineralisation hin (Redecke, 1992). Die mineralchemische Zusammensetzung der hier untersuchten Zinkblende ist im Anhang in Tabelle III-19 aufgeführt.

In den Schalen der Zinkblende sind Bleiglanzlagen und vereinzelt auch Markasitkristalle eingeschaltet. Der Bleiglanz weist Kadmiumgehalte bis zu 0,18 Gew.-% auf. Elemente wie Ni, Zn, Ga, Ge sind unter der Nachweisgrenze. Die mineralchemische Zusammensetzung von Bleiglanz ist in Tabelle III-20 im Anhang dargestellt.

Die Gangart wird überwiegend von Ankerit, untergeordnet von Calcit, Dolomit, Siderit und Quarz gebildet (Abb.4.47a,b,c,d,e,f). Letzterer ist nur in der Übergangszone zum Nebengestein verbreitet (Redecke, 1992). Der Calcit füllt Hohlräume aus und weist unter Kathodenstrahlung eine gelbe bis gelborange Farbe auf (Abb.4.47b,f). Darüber hinaus erkennt man eine fleckige bruchhafte Zonierung, was auch auf tektonische Überprägung hindeutet. Dolomit weist unter Kathodenstrahlung eine dunkelrote Lumineszenz auf, was auf ein $Fe/Mn > 1$ hindeutet. Ankerit bildet dunkelrot lumineszierende Säume um den Dolomit. Der Siderit zeigt zonierte Felder, die über die Korngrenzen hinauswachsen

(Abb.4.47c,d). Die FeO-Gehalte von Calcit schwanken von 0,42 bis 1,53 Gew.-%. Die MnO-Gehalte von 0,59 bis 1,01 Gew.-%. Die mineralchemische Zusammensetzung ist in Tabelle III-21 im Anhang zusammengestellt. Der FeO-Gehalt im Dolomit zeigt Werte zwischen 0,08 und 6,11 Gew.-%. Der Ankerit schwankt aufgrund seiner Felderzonierung sehr stark in seinem FeO-, MnO- und MgO-Gehalt. Der FeO-Gehalt liegt zwischen 11,92 und 19,67 Gew.-%, der MnO-Gehalt zwischen 1,76 und 2,96 Gew.-% und der MgO-Gehalt zwischen 3,37 und 12,17 Gew.-%. Die chemische Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit ist in Tabelle III-22 im Anhang dargestellt. Der Siderit erreicht FeO-Gehalte von 61,17 bis 62,47 Gew.-%. Auch die Sideritanalysen finden sich im Anhang in Tabelle III-23 dargestellt.

Die Seltenerdelementgehalte vom Calcit und Dolomit, C1 normiert, zeigen eine Anreicherung der leichten Seltenerdelemente ($La_N/Sm_N=3,56-4,97$) gegenüber den schweren ($Gd_N/Yb_N=2,57-5,08$) Seltenerdelementen (Abb.4.48). In allen drei Proben ist eine leichte negative Europium-Anomalie zu erkennen ($Eu/Eu^*=0,66-0,72$). Die Messdaten sind im Anhang (Tabelle V-5) zusammengestellt.

Albertsgrube

Proben aus der Sammlung des Instituts für Mineralogie und Lagerstättenlehre zeigen ähnlich wie für Diepenlienchen als Hauptphase Zinkblende in Form von Schalenblende. Die einzelnen Schalen besitzen unterschiedliche Eisen- und Cadmium-Gehalte und schließen Bleiglanz und Markasitlagen in zyklischen Abfolgen ein. In Probe (27)ALB5 tritt Zinkblende auch in Form von feinen Gangadern auf (Abb.4.47m).

Der Eisengehalt in den einzelnen Schalen der Zinkblende variiert zwischen 0,04 und 3,93 Gew.-%. Parallel dazu schwankt auch der Kadmiumgehalt in den Zinkblendenschalen zwischen 0,01 und 0,97 Gew.-%. Der Pb-Gehalt erreicht Werte bis zu 0,26 Gew.-%, möglicherweise ein Effekt fein verteilter Bleiglanzeinschlüsse in der Zinkblende. Vereinzelt beobachtet man innerhalb der Zinkblendenschalen Einschlüsse von Calcitkristallen (Abb.4.47i), die unter Kathodenstrahlung eine rhomboederförmige Zonierung aufweisen. Auch die einzelnen feinkörnigen Zinkblendenschalen sind unter Kathodenstrahlung deutlicher zu erkennen (Abb.4.46i). Die idiomorphen Bleiglanzwürfel weisen Zn-Gehalte von 0,01 bis 1,03 Gew.-% auf. Die Gangartminerale Calcit und Dolomit füllen überwiegend Hohlräume aus. Chemische Zusammensetzungen von Zinkblende und Bleiglanz sind im Anhang in den Tabellen III-24 bzw. III-25 zusammengestellt.

Die Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in Calcit und Dolomit sind ähnlich (Abb.4.48). Calcit ist bezüglich seiner Konzentrationen stärker angereichert als Dolomit. Die leichten Seltenerdelemente ($La_N/Sm_N=2,30-3,39$) sind gegenüber den schweren ($Gd_N/Yb_N=1,93-2,92$) Seltenerdelementen sowohl im Calcit als auch im Dolomit stärker

angereichert. In allen Proben ist eine leichte negative Europium-Anomalie zu erkennen ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0,66-0,68$). Die Analysenergebnisse sind in Tabelle V-5 im Anhang aufgelistet.

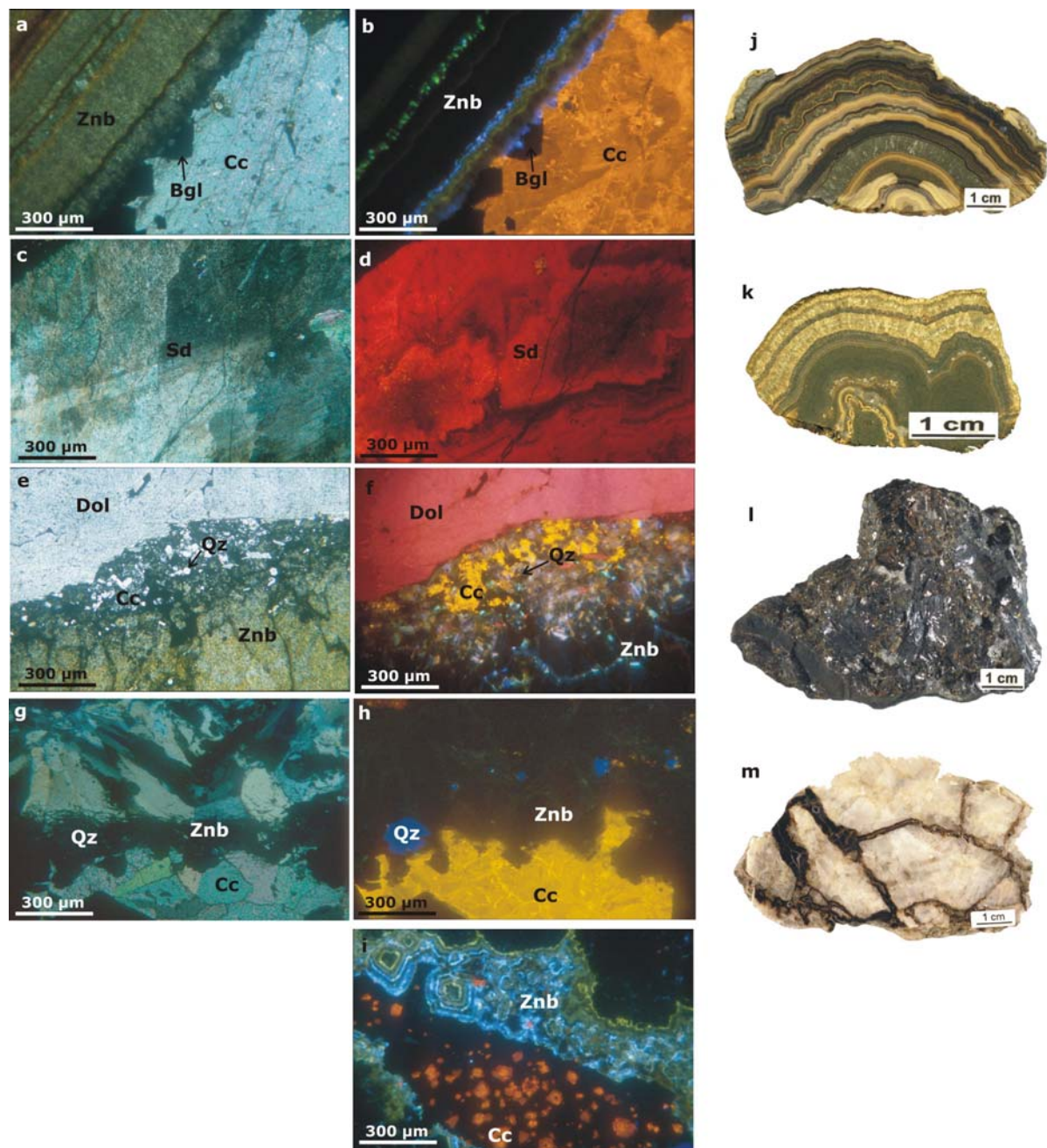


Abb.4.47: a.b. Probe DIP1, Diepenlieden: Zinkblendeschalen mit Bleiglanzsäumen grenzen an Calcit, unter planpolarisiertem Licht (a) und unter Kathodenstrahlung (b). c.d. Probe DIP2, Diepenlieden: Sideritkorngrenzen unter gekreuzten polarisatoren (c) und unter Kathodenstrahlung (d). e.f. Probe DIP1, Diepenlieden: Korngrenze zwischen Zinkblende mit Quarz- und Calcit-Einschlüssen und Dolomit unter Planpolarisiertem Licht (e) und unter Kathodenstrahlung (f). Probe BB1, Bleiberg: Calcitkristalle mit Zinkblendeneinschlüssen und Quarz unter gekreuzten Polarisatoren (g) und unter Kathodenstrahlung (h). i. Probe ALB2, Albertsgrube: Zinkblendeschalen mit Calciteinschlüssen unter Kathodenstrahlung. j. Handstückprobe ALT4, einer Zinkblende (Schalenblende) aus Altenberg. k. Handstückprobe TH1, Thermae 2002 Bohrung, Zinkblende in Form von Schalenblende. l. Handstückprobe BBG1, Bleiberg, Bleiglanz mit Calciteinschlüssen. m. Handstückprobe (27)ALB5, Albertsgrube, Zinkblendengänge in Calcit.

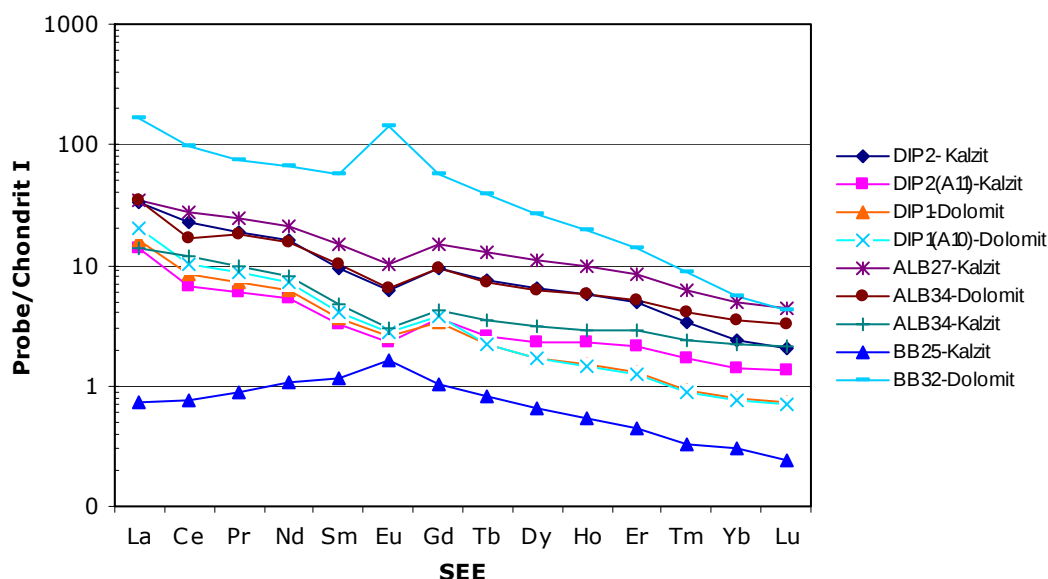


Abb.4.48: Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in Karbonaten (Calcit/Dolomit) aus den postvariszischen Mineralisationen der Vergleichsvorkommen Diepenlienen (DIP2, DIP(A11), DIP1, DIP1 (A19)), Albertsgrube (ALB27, ALB34) und Bleiberg (BB25, BB32). Für die Graphische Darstellung wurden die Seltenerdelemente auf den Chondrit I nach MgDonough und Sun (1995) normiert.

Bleiberg

Aus der Sammlung des Instituts für Mineralogie und Lagerstättenlehre wurde Zinkblende in der Form von Schalenblenden mit eingeschalteten Bleiglanz- und Markasitlagen aus Bleiberg, Belgien untersucht. Die Zinkblendenschalen sind feinstkörnig und variieren in ihrem Chemismus ähnlich wie die der anderen Vorkommen. Die Zinkblendenlagen variieren in ihrer Kathodolumineszenz. Zum Teil erkennt man Quarzeinschlüsse mit charakteristischer blauer Lumineszenz (Abb.4.47g,h). Der Fe-Gehalt schwankt zwischen 0,08 und 2,56 Gew.-% und der Cd-Gehalt zwischen 0,01 und 0,65 Gew.-%. Bleiglanz bildet Würfel. Er kommt überwiegend in den hellgelben Zinkblendezonen vor. Ein Zonarbau ist zu erkennen. Aus Bleiberg sind auch kompakte Bleiglanzerzkörper bekannt, wie im Handstück (Abb.4.47i) zu sehen. In diesen Proben sind auch Calciteinschlüsse vorhanden. Die Gangartminerale in den Proben aus Bleiberg sind Calcit, Dolomit, Siderit und Quarz. Calcit weist FeO-Gehalte von 0,24 bis 0,61 Gew.-% und MnO-Gehalte von 0,67 bis 1,21 Gew.-% auf. Der Siderit variiert im MgO-Gehalt zwischen 0,13 und 1,99 Gew.-%. Die chemische Zusammensetzung der untersuchten Zinkblende-, Bleiglanz-, Calcit- und Sideritproben ist in Tabelle III-26, III-27, III-28 und III-29 im Anhang aufgelistet.

In Abb.4.48 ist zu erkennen dass die Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in den beiden Proben nur leicht unterschiedlich variieren. Dolomit weist vielfach höhere Konzentrationen der Seltenerdelemente auf als Calcit. Die Anreicherung der leichten

gegenüber der schweren SEE ist in Dolomit stärker. In beiden Proben ist eine deutlich positive Europium-Anomalie zu erkennen ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=1,52-2,54$).

Altenberg

Die untersuchten Zinkblendeproben (Sammlung des Instituts für Mineralogie und Lagerstättenlehre) aus Altenberg, Belgien (Abb.4.47j) sind durch einen Schalenbau gekennzeichnet. Feine Abfolgen von hellgelben bis braunen ZnS-Lagen wechseln sich mit Markasitbändern ab. In den hellgelben Lagen sind Bleiglanzeinschlüsse eingeschaltet. Der Fe-Gehalt in den einzelnen Schalen der Zinkblende schwankt zwischen 0,15 und 5,81 Gew.-%. Dabei sind die hohen Eisengehalte in den dunklen Zonen angesiedelt. Der Cd-Gehalt liegt zwischen 0,01 und 1,30 Gew.-%. Der Pb-Gehalt erreicht in den hellgelben Zonen der Zinkblende einen Wert von 2,45 Gew.-%.

Bleiglanz ist meist idiomorph und kommt als Kubooktaeder oder Würfel vor. Die Spurenelementgehalte im Bleiglanz sind unter der Nachweisgrenze.

Markasit tritt immer am Ende eines Ausscheidungszyklus auf und ist gekennzeichnet durch seine blaugrüne bis gelbliche Anisotropie. Die Spurenelementgehalte von Cd, Ni, Cu und Zn liegen unterhalb der Nachweisgrenze. Der Pb-Gehalt erreicht Werte von 1,15 Gew.-%. Die chemischen Zusammensetzungen der Zinkblende, des Bleiglanzes und des Markasits sind in den Tabellen III-30, III-31 und III-32 im Anhang aufgelistet.

Thermae 2002

Die untersuchten Zinkblendeproben (Schalenblende) des Vorkommens Thermae 2002, Niederlande (Probensammlung des Instituts für Mineralogie und Lagerstättenlehre) weisen eine feine Bänderung bzw. Lagigkeit auf, die subparallel oder konzentrisch ungestört verlaufen kann (Abb.4.47k). Die Folge der Lagen wird vielfach durch eingeschaltete Bleiglanz-Kristalle, Markasit- und Pyritlagen und durch in sich geschlossene ZnS-Sphäroide unterbrochen. Die geschlossenen Sphäroide könnten sich „frei schwebend“ vor der allgemeinen Kristallisationsfront gebildet haben (Gussone, 1964). Es überwiegen im Gegensatz zu den anderen Vorkommen die dunkelbraun bis grau gefärbten Schalen der Zinkblende. Der Fe-Gehalt erreicht in den dunklen Schalen Werte bis 3,12 Gew.-% und Pb-Gehalte bis 1,75 Gew.-%. Der Cd-Gehalt in den hellen Schalen erreichen 0,59 Gew.-%. Andere Elemente wie Ni, Cu, Ge und Ga liegen in ihren Konzentrationen unter der Nachweisgrenze. Die Chemie der Zinkblende ist in Tabelle III-33 im Anhang aufgelistet. Die Bleiglanzeinschlüsse erreichen Zn-Gehalte von 1,04 Gew.-%. Die Chemie vom Bleiglanz ist in Tabelle III-34 im Anhang dargestellt.

4.3.2 Radiogene Isotope

4.3.2.1 Sr-Isotopensignaturen von postvariszischen Gangkarbonaten

Aus den Vergleichsvorkommen Bleiberg, Albertsgrube und Diepenlienzen wurden die Sr-Isotopen-Signaturen und die Sr-Konzentrationen von Calcit und Dolomit der Gangmineralisationen bestimmt.

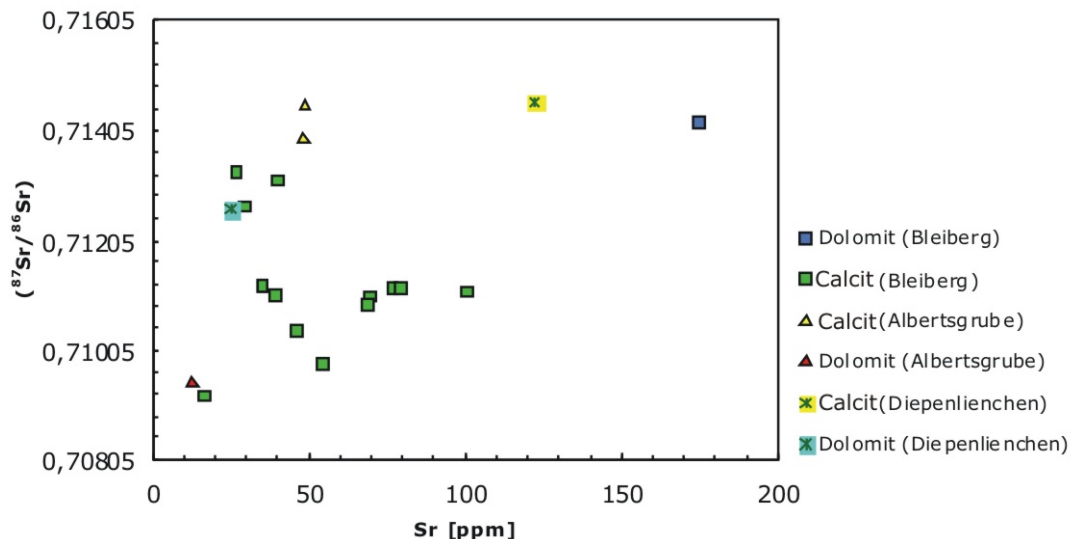


Abb. 4.49: $\text{Sr}_{\text{konz.}}$ - ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)-Verhältnisse von Calcit und Dolomit der Vorkommen Bleiberg, Albertsgrube und Diepenlienzen.

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Calcitproben aus Bleiberg zeigen eine breite Variation von $0,70923 \pm 1$ bis $0,71330 \pm 1$ bei Sr-Konzentrationen von 29,58 bis 100,77 ppm (Abb. 4.49). Eine solche Variationsbreite in den Sr-Signaturen der Calcite ist auch in den Gangcalciten aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke zu beobachten. Der Dolomit aus Bleiberg weist ein $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss von $0,71418 \pm 1$ und eine Sr-Konzentration von 174,38 ppm auf. Korrelationen zwischen Elementkonzentrationen und Isotopenverhältnissen in den Calciten und im Dolomit sind nicht erkennbar.

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Calcitproben aus der Albertsgrube liegen im Bereich von $0,71391 \pm 1$ und $0,71451 \pm 1$, ihre Sr-Konzentrationen schwanken zwischen 48,36 und 48,92 ppm. Dolomit zeigt ein vergleichsweise geringes $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von $0,70946 \pm 1$ bei einer Sr-Konzentration von 12,51 ppm.

In Diepenlienzen sind die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Calcite vergleichbar mit denen aus der Albertsgrube. Sie liegen zwischen $0,71342 \pm 1$ und $0,71457 \pm 1$. Eine der Proben weist eine Sr-Konzentration von 122,44 ppm auf. Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss von Dolomit liegt zwischen $0,71142 \pm 1$ und $0,71261 \pm 1$. Eine der Proben weist eine Sr-Konzentration von 24,92 ppm auf. Die Analysenergebnisse sind im Anhang in den Tabellen XII-8, XII-9 und XII-10 entsprechend aufgeführt. In Abb. 4.49 sind die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse gegen die Sr-Elementkonzentration der Calcite und Dolomite graphisch dargestellt.

4.3.2.2 Pb-Isotopensignaturen von postvariszischen Erzmineralen

Aus den Vergleichsvorkommen Bleiberg, Diepenlieden, Albertsgrube, Thermae 2002 und Altenberg wurden die Erzphasen Bleiglanz, Pyrit und Zinkblende hinsichtlich ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung untersucht.

Abb.4.50 zeigt die Isotopenverhältnisse im $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ Diagramm. Als Referenzkurven wurden die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und nach Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen. Die Pb-Signaturen der Erzminerale liegen größtenteils zwischen den beiden Entwicklungslinien. Die Bleiglanzproben aus den Vorkommen Bleiberg, Diepenlieden und Albertsgrube variieren gering mit $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen von 18,344 bis 18,383.

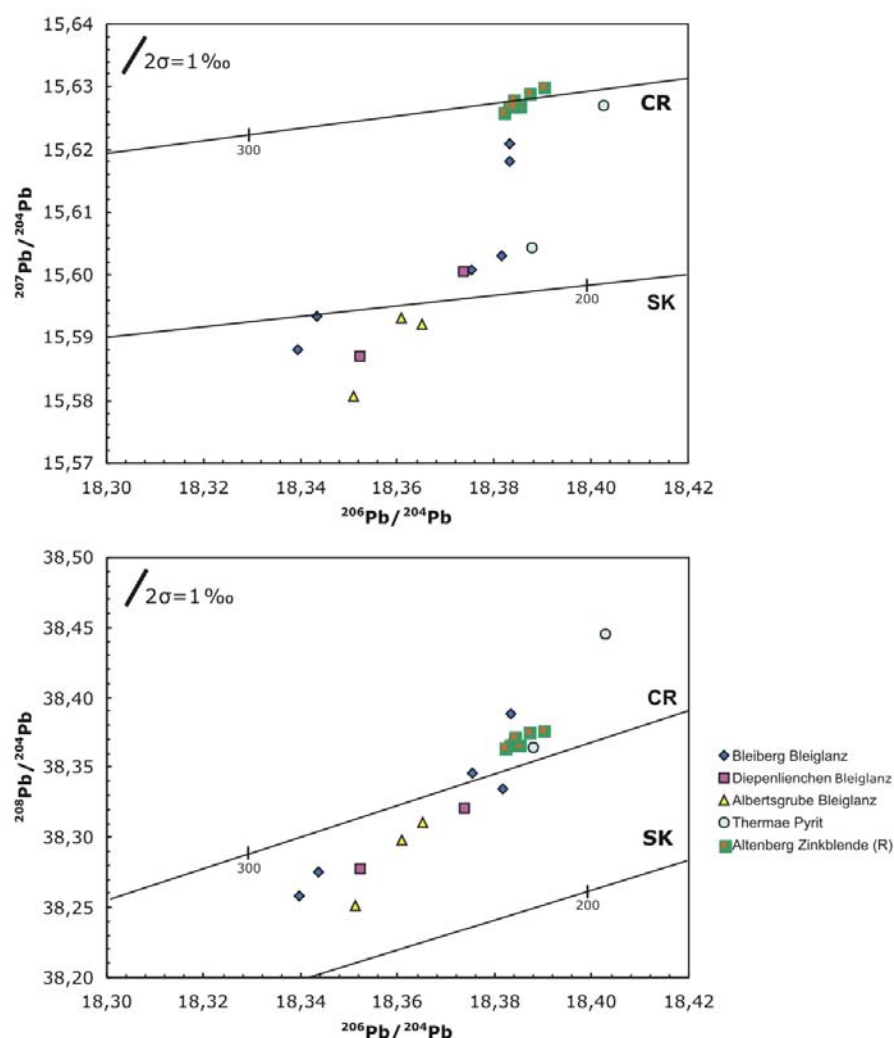


Abb.4.50: Pb-Isotopie der untersuchten Erzminerale aus den Vorkommen Bleiberg, Albertsgrube, Thermae 2002 und Altenberg. Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen.

Pyrit aus dem Vorkommen Thermae 2002 liegt mit seinen $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen zwischen 18,388 und 18,403 und besitzt somit leicht höhere Verhältnisse als Bleiglanz. Die Residuum-Zinkblendeproben aus Altenberg sind in ihren $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnissen sehr ähnlich untereinander und weisen auch leicht höhere Isotopenverhältnisse als Bleiglanz auf.

Die relativ einheitlichen Pb-Isotopien der verschiedenen Vererzungen der verschiedenen Vorkommen lassen auf eine ähnliche Quelle für Blei schließen. Das Blei wurde wahrscheinlich aus verschiedenen Quellen gemischt und homogenisiert, so dass man annehmen kann, dass es sich um ein großes Hydrothermalsystem handelt.

Die korrigierten Messergebnisse der Verhältnisse $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ sind in den Tabellen XII-11 bis XII-15 entsprechend im Anhang dokumentiert.

4.3.2.3 Rb-Sr Datierung von Zinkblende

Diepenlienchen

Fünf Zinkblende-Residuum-Fraktionen (R) der Proben DIP1, DIP3 und DIP4 weisen $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen 3,276 und 10,689 und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen $0,71721 \pm 9$ und $0,73072 \pm 3$ auf. Die Elementkonzentrationen von Rb und Sr betragen 0,3419 bis 1,7939 ppm und 0,0927 bis 1,5858 ppm entsprechend. Die Daten sind im $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isochronendiagramm (Abb.4.51) dargestellt und im Einzelnen im Anhang (Tabelle XII-16) aufgelistet.

Alle fünf Fraktionen wurden zur Isochronenberechnung verwendet. Die Steigung der Isochrone entspricht einem Alter von $129,9 \pm 9,7$ Ma (MSWD=6,5; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0,7111 \pm 0,0010$).

Elate aus den Zinkblendeproben (Flüssigkeitseinschlüsse (L)) liegen zum Teil auf der Isochrone zum größten Teil aber unterhalb. Sie können daher zum Teil als primäre Einschlüsse, zum größten Teil aber als sekundäre Einschlüsse interpretiert werden. Das $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss dieser Proben liegt zwischen 0,251 und 0,708 und das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss liegt zwischen $0,71072 \pm 6$ und $0,71202 \pm 3$.

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Begleitkarbonate (Calcit und Dolomit) (siehe Kapitel 4.3.2.1) sind ebenfalls in Abb.4.51 dargestellt. Calcit weist Signaturen auf, die dem initialen Strontium der Zinkblendefraktionen gleichkommen. Dolomit dagegen weist höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse auf. Die Variation innerhalb der Karbonate spricht für eine Kristallisation aus unterschiedlichen Fluidschüben.

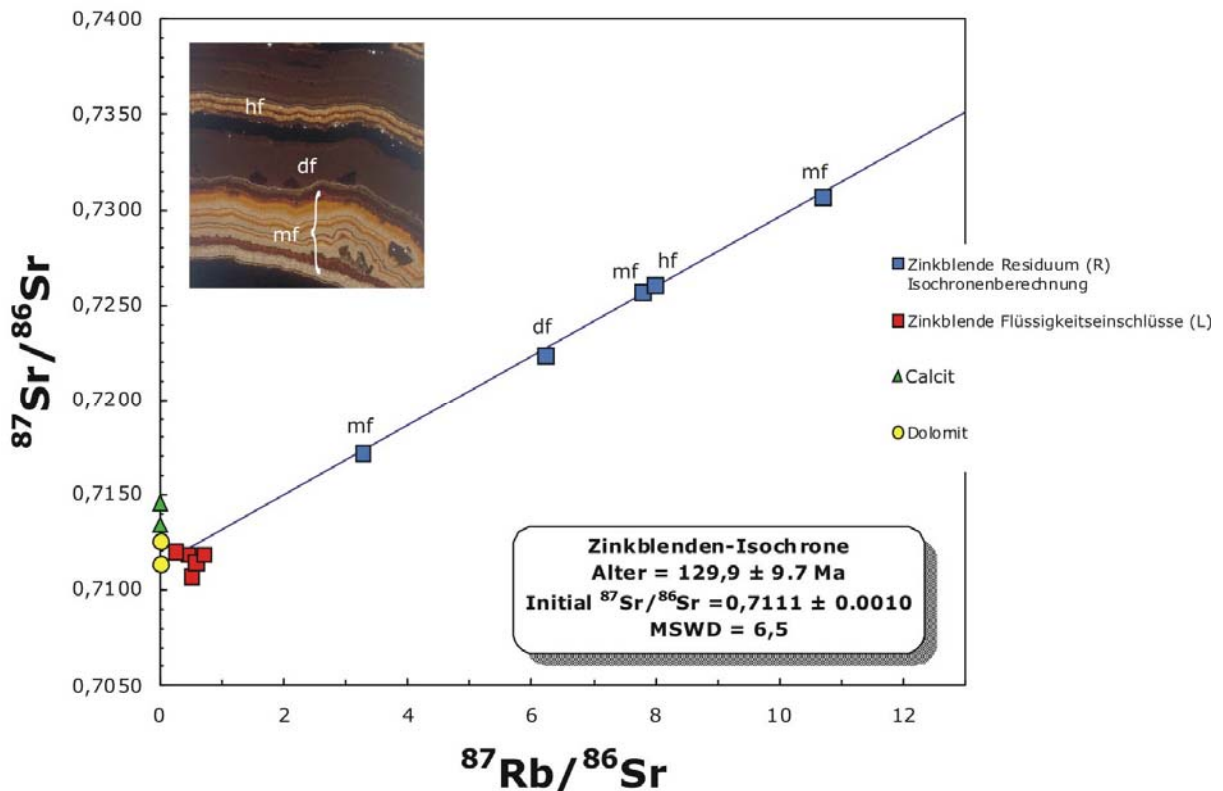


Abb.4.51: Rb-Sr Isochronendiagramm der Zinkblende-Residuum-Fractionen (R) der Proben DIP1, DIP3 und DIP4 (Diepenlienchen) der Eluate der Flüssigkeitseinschlüsse (L) und der Gangkarbonate. Die mit (mf) gekennzeichneten Proben stellen farbliche Mischfraktionen dar, die mit (df) die dunkelbraunen Fraktionen, die mit (hf) die hellgelben Fraktionen. Für die fünf Residuum-Zinkblendefractionen ergibt sich eine Isochrone, deren Steigung einem Alter von $129,9 \pm 9,7$ (2σ) Ma entspricht. Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i$ -Initialverhältniss beträgt $0,7111 \pm 0,0010$.

Altenberg

Fünf Zinkblende-Residuum-Fractionen (R) der Probe ALT4 weisen $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen 2,005 und 6,818 und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen $0,71554 \pm 1$ und $0,72492 \pm 2$ auf. Die Elementkonzentrationen von Rb und Sr betragen 0,0421 bis 2,0433 ppm und 0,0332 bis 0,8926 ppm entsprechend.

Markasit zeigt $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen 0,273 und 0,292 und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen $0,71153 \pm 4$ und $0,71216 \pm 2$. Die Elementkonzentrationen von Rb und Sr betragen hier 0,0410 bis 0,0447 ppm und 0,4066 bis 0,4735 ppm entsprechend. Die Markasitfraktion 2 ist eine Residuum (R) Probe und wurde in die Isochronenberechnung einbezogen. Die Daten sind im $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ gegen $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Isochronendiagramm (Abb.4.52) dargestellt und im Einzelnen im Anhang (Tabelle XII-17) aufgelistet.

Fünf Zinkblendefractionen (R) und eine kogenetische Markasitfraktion (R) wurden zur Isochronenberechnung verwendet. Die Steigung der isochrone ergibt ein Alter von $137,1 \pm 1,7$ Ma ($\text{MSWD}=1,7$; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0,71160 \pm 0,00007$). Die Markasitfraktion 5 die nicht in die Isochronenberechnung einbezogen wurde liegt unterhalb der Isochrone.

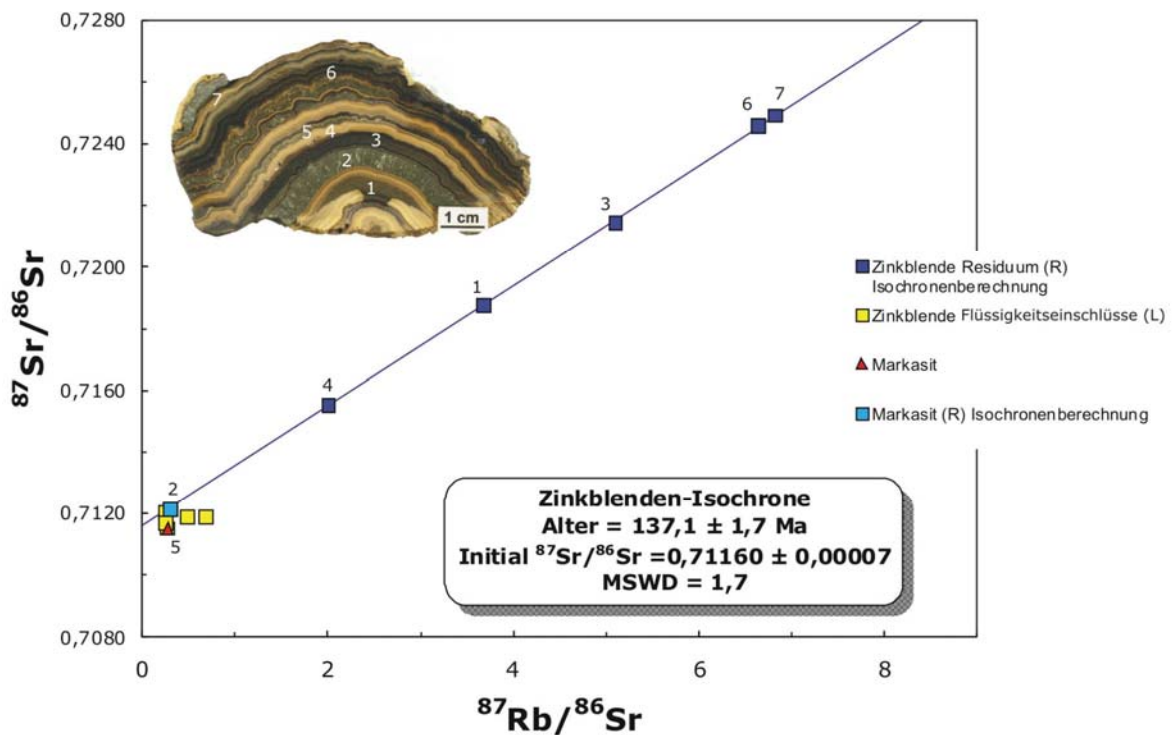


Abb.4.52: Rb-Sr Isochronendiagramm der Zinkblende-Residuum-Fractionen (R) der Probe ALT4 (Altenberg), der Eluate der Flüssigkeitseinschlüsse (L) und der Markasitfraktionen (Fraktion 2 ist eine Residuum Probe). Die ZnS Fraktionen 1, 3 und 6 sind dunkelbraun, die Fraktionen 4 und 7 hellgelb. Für die fünf Zinkblende-Residuum-Fractionen und die Markasit Residuum-Probe ergibt sich eine Isochrone, deren Steigung einem Alter von $137,1 \pm 1,7$ (2σ) Ma entspricht. Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Initialverhältniss beträgt $0,71160 \pm 0,00007$.

Eluate aus den Zinkblendefractionen (Flüssigkeitseinschlüsse (L)) liegen zum Teil auf der Isochrone, zum größten Teil aber unterhalb. Sie können daher zum Teil als primäre Einschlüsse, zum größten Teil aber als sekundäre Einschlüsse interpretiert werden. Das $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss dieser Proben liegt zwischen 0,238 und 0,676 und das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss liegt zwischen $0,71169 \pm 3$ und $0,71206 \pm 2$.

Thermae 2002

Drei Zinkblende-Residuumfraktionen (R) der Probe TH1 besitzen $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen 1,844 und 6,095 auf und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse zwischen $0,71587 \pm 2$ und $0,72284 \pm 7$. Die Elementkonzentrationen von Rb und Sr betragen 0,3057 bis 1,6570 ppm und 0,4802 bis 0,8388 ppm entsprechend. Die Daten sind im $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ gegen $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Isochronendiagramm (Abb.4.53) dargestellt und im Einzelnen im Anhang (Tabelle XII-18) aufgelistet.

Drei Zinkblendefractionen (R) wurden zur Isochronenberechnung verwendet. Die Steigung der Isochrone ergibt ein Alter von $134,5 \pm 4,1$ Ma (MSWD=1,18; $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_i = 0,71115 \pm 0,00028$). Die Zinkblendefractionen 1 und 6 liegen oberhalb der Isochrone und

wurden nicht für Isochronenberechnung berücksichtigt. Ihre Lage lässt sich mit einer unvollständigen Eluierung der jüngeren Flüssigkeitseinschlüsse erklären.

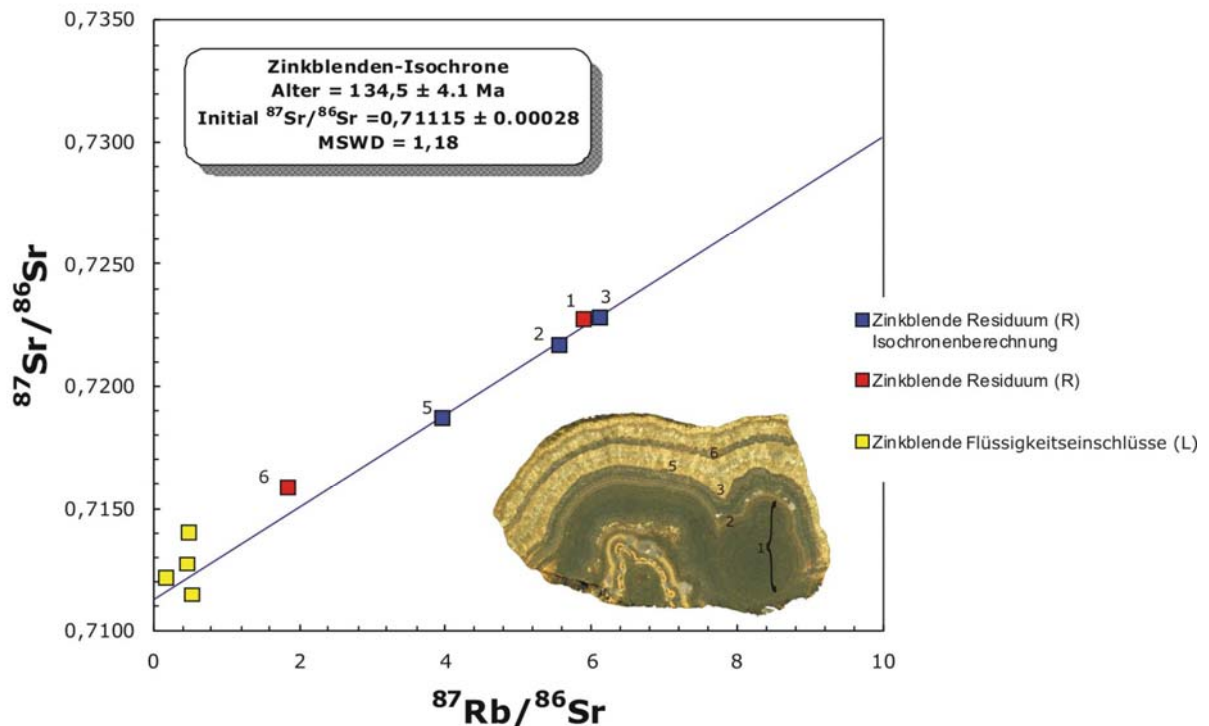


Abb.4.53: Rb-Sr Isochronendiagramm der Zinkblende-Residium-Fractionen (R) der Probe TH-1 (Thermæ 2002) und deren Eluate der Flüssigkeitseinschlüsse (L). Die Fraktion 1 ist eine Mischfraktion, 2 und 3 sind hellbraune, 5 ist eine dunkelgelbe und 6 ist eine dunkelbraune Fraktion. Es ergibt sich eine Isochronengerade aus drei Zinkblendenfraktionen, deren Steigung einem Alter von $134,5 \pm 4,1(2\sigma)$ Ma entspricht. Das ^{87}Sr - ^{86}Sr -Initialverhältniss beträgt dabei $0,71115 \pm 0,00028$.

Eluate aus den Zinkblendefractionen (Flüssigkeitseinschlüsse (L)) liegen zum größten Teil oberhalb der Isochrone. Sie können daher als sekundäre Einschlüsse interpretiert werden. Das $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss dieser Fraktionen liegt zwischen 0,177 und 0,522 und das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss liegt zwischen $0,71149 \pm 2$ und $0,71403 \pm 5$.

4.4 Thermalwässer Aachen-Burtscheid

4.4.1 Physikochemische Parameter

Die Quell-Austrittstemperaturen der Aachener und Burtscheider Thermalquellen variieren in einem weiten Bereich zwischen 46,7 und 73,7 °C. Die Temperaturspanne der in der Landesbadquelle Burtscheid gemessenen Quellaustritte variiert zwischen 69 und 73,7 °C. Die höchste Austrittstemperatur von 73,7 °C zeigt die Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A. Die Rosenquelle Burtscheid weist eine deutlich geringere Temperatur von 60,7 °C auf. Die Aachener Thermalquellen Kaiserquelle und Rosenquelle sind mit 46,7 und 53 °C im Vergleich zu den Burtscheider Quellen geringer temperiert.

Tabelle 4.3: Physikochemische Parameter der Quellwässer Aachen und Burtscheid.

Probenlokalität	Probe	pH-Wert	el. Lf [mS/cm]	T [°C]	Eh [mV]
Landesbadquelle Burtscheid Mischquelle	TW1	6,95	6,8	70	-36
Landesbadquelle Burtscheid Vorbruch A	TW2	6,67	7,13	73,7	/
Landesbadquelle Burtscheid Vorbruch D	TW3	6,92	6,38	69,1	-20
Landesbadquelle Burtscheid Tiefenquelle	TW4	6,79	6,38	69	-10
Rosenquelle Burtscheid	TW5	7,34	6,25	60,7	-155
Kaiserquelle Aachen	TW6	6,83	6,12	53	-116
Rosenquelle Aachen	TW7	6,79	5,92	46,7	-112

Die elektrische Leitfähigkeit der Quellen variiert zwischen 5,92 und 7,13 mS/cm. Die Burtscheider Quellwässer haben generell höhere Leitfähigkeiten. Zwischen der elektrischen Leitfähigkeit und der Wassertemperatur ist eine Korrelation zu erkennen. Die pH-Werte der Aachener und Burtscheider Thermalquellen liegen zwischen 6,79 und 7,34. Den höchsten pH-Wert weist die Rosenquelle Burtscheid auf.

Die Redox-Spannungen aller Quellen sind durchwegs negativ. Sie zeigen deutlich oxidierte Verhältnisse an. Die Redox-Spannungen der Landesbadquelle Burtscheid variieren von -36 bis -10 mV. Die Rosenquelle Burtscheid hingegen weicht von diesen Werten mit -155 mV ab. Die Aachener Quellwässer zeigen untereinander ähnliche Redox-Spannungen zwischen -112 und -116 mV. Alle Daten sind in Tabelle 4.3 zusammengestellt.

4.4.2 Hydrochemische Parameter

Die Aachener und Burtscheider Thermalwässer zeichnen sich durch hohe Lösungsfrachten aus, die zwischen 3800 und 4500 mg/l liegen. Die Wässer werden als schwefel- und flouridhaltige Natrium-Chlorid-Hydrogenkarbonat-Thermen bezeichnet. Die im Rahmen dieser Arbeit gewonnenen hydrochemischen Daten (Tabelle 4.4) fallen in die Messspanne der von Herch (1997) bestimmten Elementkonzentrationen mit Na-Gehalten von 1070 bis

1498 mg/l, Mg-Gehalten von 4,91 bis 11,60 mg/l, Ca-Gehalten von 36,83 bis 82,23 mg/l, K-Gehalten von 58,83 und 86, 98 mg/l, Cl-Gehalten von 1331 bis 1689 mg/l, Sr-Gehalten von 1,50 bis 3,10 mg/l und F-Gehalten von 2,39 bis 9,70 mg/l. Die Spurenelemente Ba, Pb, Zn, Cd und Tl fallen wie die Hauptelemente in die Messspanne der von Herch (1997) bestimmten Elementkonzentrationen.

Tabelle 4.4: Hydrochemische Parameter der Quellwässer Aachen und Burtscheid (mg/l).

Probenlokalität	Probe	Ba	Ca	Sr	Pb	Zn	Cd	Tl	F	Cl
Landesbadquelle Burtscheid Vorbruch A	TW2	0,117	45,8	2,82	<0,005	0,011	<0,005	<0,005	7,1	1440
Landesbadquelle Burtscheid Vorbruch D	TW3	0,117	46,4	2,74	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	7,2	1470
Landesbadquelle Burtscheid Tiefenquelle	TW4	0,117	45,8	2,72	<0,005	0,024	<0,005	<0,005	7,1	1580
Rosenquelle Burtscheid	TW5	0,109	54,7	2,72	<0,005	0,015	<0,005	<0,005	6,5	1480
Kaiserquelle Aachen	TW6	0,1	58,9	2,57	<0,005	0,005	<0,005	<0,005	6,7	1470
Rosenquelle Aachen	TW7	0,099	69,9	2,46	<0,005	0,01	<0,005	<0,005	6,1	1480

Der in den Probenwässern bestimmte Chlorgehalt variiert zwischen 1440 und 1580 mg/l, der Calciumgehalt der Proben schwankt zwischen 45,8 und 69,9 mg/l. Es ist eine negative Korrelation zwischen der Temperatur und Calciumgehalt zu erkennen (Abb.4.54).

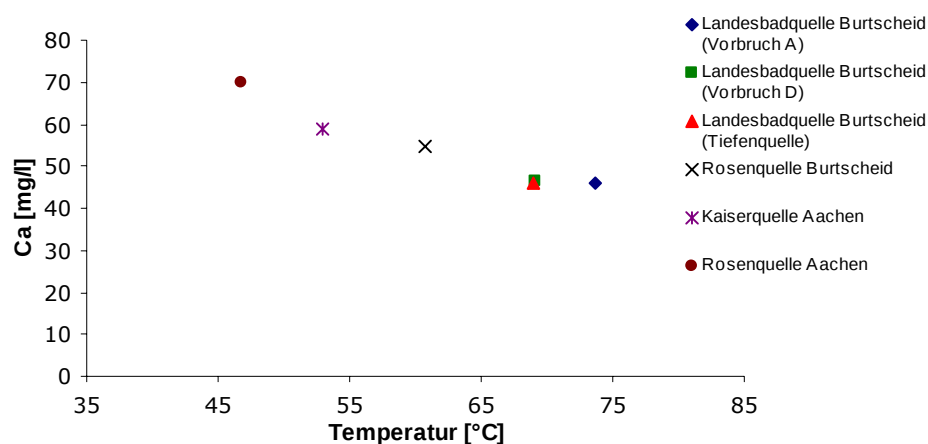


Abb.4.54: Korrelation von Temperatur [°C] und Calciumgehalt [mg/l] in den Aachener und Burtscheider Thermalwässern.

Der Strontiumgehalt in den Thermalquellen liegt zwischen 2,46 und 2,82 mg/l. Die Barium- und Zinkgehalte weisen minimale Werte auf. Unterhalb der Nachweisgrenze liegen die Blei-, Cadmium- und Thalliumgehalte. Die abfiltrierten Feststoffe erweisen sich röntgenographisch als Anhydrit (CaSO_4), Halit (NaCl), Bassanit ($\text{CaSO}_4 \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$), einem Hemihydrat und Magnesit (MgCO_3).

4.4.3 Petrographie und Mineralchemie der Rahmengesteine aus den Aachener undurtscheider Quellaustritten.

4.4.3.1 Kalksteinproben der Landesbadquelle Burtscheid

Der feinkörnige Frasne-Kalkstein der Landesbadquelle Burtscheid weist eine mikrosparitische Matrix auf (Abb.4.55a,b,c,e). Man erkennt eine unregelmäßige Korngrößenverteilung der Kristalle und eine fleckige, grobkörnige Mosaikstruktur. Dünne Säume aus Ton liegen parallel zu den Schichtflächen des Kalksteins und entlang der karbonatischen Mineralneubildungen. Stylolithen, die durch Drucklösung aufgrund tektonischen Drucks entstanden sind, sind verbreitet (Abb.4.55a,c,d). In Probe TWD2 sind auch Fossilien zu erkennen (Abb.4.55b). Nach der Klassifikation der Kalksteine von Folk (1959) ist das Gestein ein fossilführender Mikrit.

Der Frasne Kalkstein besteht hauptsächlich aus Mg-armem Calcit mit 0,1-1,2 Gew.-% MgO. Der CaO-Gehalt liegt zwischen 51,7 - 56,7 Gew.-%. Der FeO Gehalt in der Kalksteinmatrix erreicht 1,2 Gew.-%. Die Mineralchemie aller gemessenen Calcite im Frasne Kalkstein ist im Anhang in Tabelle III-4 aufgelistet.

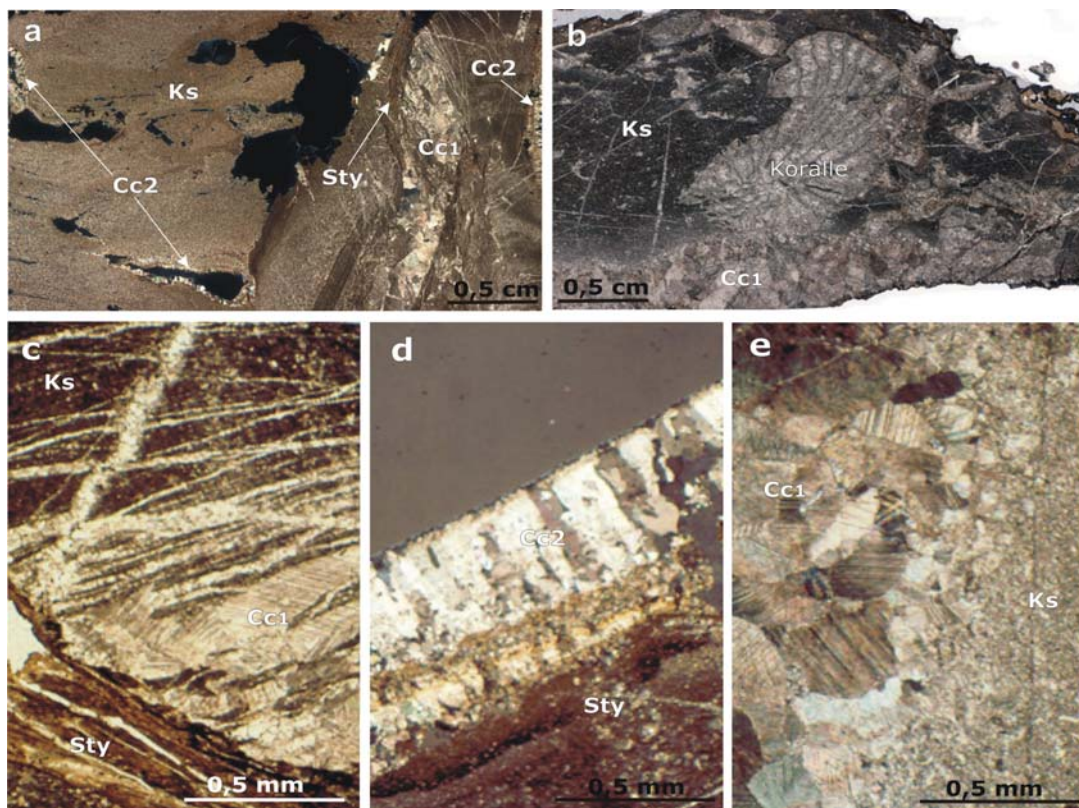


Abb.4.55: a. b. Dünnschliffbilder des Frasne-Kalksteins der Landesbadquelle Burtscheid. a. Probe TWD1, gekreuzt Polarisatoren. Mineralneubildungen (Cc1, Cc2) und Stylolith-Drucklösungssäume im Kalkstein (Ks). b. Probe TWD2, gekreuzte Polarisatoren. Feinkörniger Kalkstein (Ks) mit Mineralneubildungen aus Calcit (Cc1) und einem Anschnitt einer Koralle. c. Probe TWD1, gekreuzte Polarisatoren. Feine Calcitadern (Cc1) im Kalkstein (Ks) und senkrecht dazu Stylolithen (Sty) d. Probe TWD1, gekreuzte Polarisatoren. Sinteranwachssaum aus Calcit (Cc2). e. Probe TWD2, gekreuzte Polarisatoren. Hypidiomorpher Calcit (Cc1) mit Zwillingsbildung.

4.4.3.2 Karbonatische Mineralneubildungen der Landesbadquelle Burtscheid

Die Proben TWD1 und TWD2 der Landesbadquelle Burtscheid weisen Mineralneubildungen aus Calcit auf. Einerseits bildet Calcit Kristalle in feinen Adern oder Gängen, die durch Mehrfachverzwilligung zu erkennen sind (Cc1) (Abb.4.55b,c,e) andererseits bildeten sich subrezente Sinteranwachssäume aus Calcit in Hohlräumen und auf offenen Gesteinsflächen (Cc2) (Abb.4.55a,d). Anhand der Geometrie der deformierten Zwillingslamellen im Calcit können Temperaturentscheidungen getroffen werden (Ferri 1991; Burkhard, 1993) (Abb.4.56a). Calcit (Cc 1) zeigt überschneidende und zum Teil gebogene Lamellen, die bei Temperaturen $>200\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Typ III) entstehen (Burkhard, 1993) (Abb.4.56a,b).

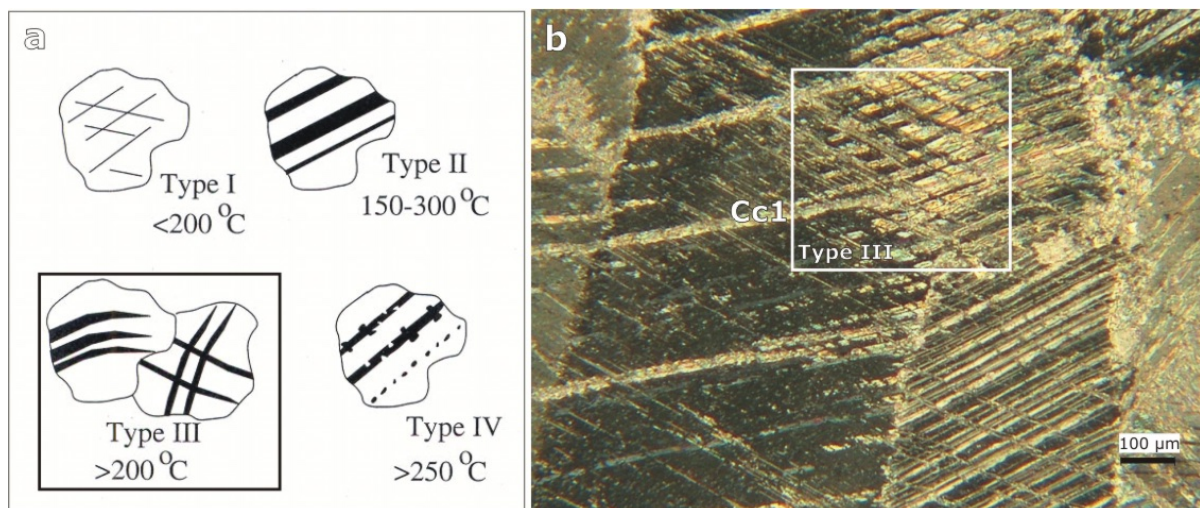


Abb.4.56: a. Geometrie von deformierten Zwillingslamellen im Calcit, entstanden durch unterschiedliche Temperaturen (nach Burkhard, 1993). b. Calcit (Cc1)-Zwillingslamellen des Typs III in Probe TWD2.

Die karbonatischen Mineralneubildungen Calcit(Cc1) und Calcit(Cc2) unterscheidet sich chemisch voneinander. Calcit(Cc1) der Gänge bestehen aus subhedralen Calcitkristallen mit Fe-armen Kernen und Fe-reichen Säumen einerseits (Abb.4.57a) und feinen felderzonierten Calcit-Adern (Abb.4.57b) andererseits. Die FeO-Gehalte in den Säumen erreichen Werte bis zu 0,7 Gew.-%. Der SrO-Gehalt dieser Gänge beträgt maximal 0,09 Gew.-% und der MgO-Gehalt bis zu 0,9 Gew.-%. Im Vergleich zu diesen SrO-armen Calcit(Cc1)-Gängen weisen die Calcit(Cc2)-Sinteranwachssäume (Abb.4.57c) SrO-Gehalte mit bis zu 0,9 Gew.-% auf. Auch die MgO-Gehalte mit bis zu 1,9 Gew.-% MgO sind deutlich höher als in den Calcit(Cc1) Gängen. Etwas geringer fällt dadurch der CaO-Gehalt mit 52,1 bis 54,6 Gew.-% aus. In Tabelle 4.5 ist die Zusammensetzung der Calcit(Cc1)-Gänge und der subrezenten Calcit(Cc2)-Sinteranwachssäume aufgeführt.

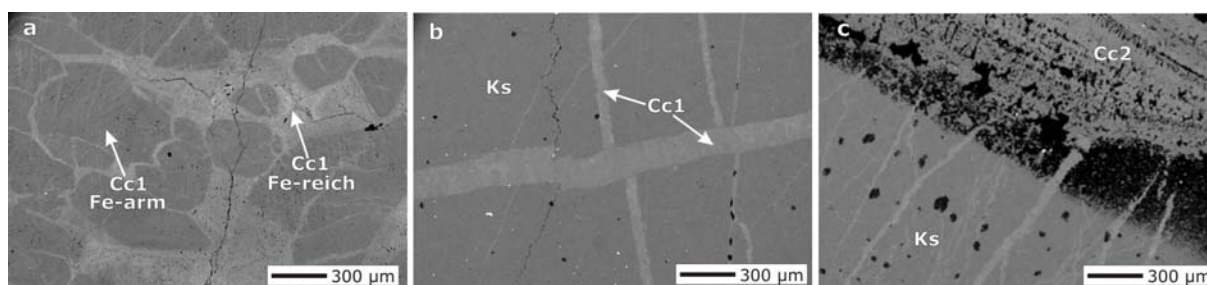


Abb.4.57: Elektronenrückstreubilder der Proben TWD1 und TWD2 der Landesbadquelle Burtscheid.
a. Probe TWD2. Große unregelmäßig zonierte Calcitkristalle (Cc1) mit Fe-armen Kernen und Fe-reichen Säumen. b. Probe TWD2. Fleckig zonierte Calcitadern (Cc1) mit Versatz im Kalkstein (Ks). c. Probe TWD1. Sr-reiche subrezente Sinteranwachssäume aus Calcit (Cc2).

Der Unterschied in der Mineralchemie zwischen den beiden Calcit-Mineralneubildungen ist ein Anzeichen unterschiedlicher Genesestadien. Der erhöhte SrO-Gehalt in den Sinteranwachssäumen ist ein Ausdruck der chemischen Ausfällung durch die Thermalwässer. Die Mineralchemie des Calcits (Cc1) im Gang und des Sintercalcits (Cc2) sind jeweils im Anhang in Tabelle III-5 und Tabelle III-6 aufgeführt.

Tabelle 4.5: Chemische Zusammensetzung der Calcitgänge (Cc1) und der subrezenten Sinteranwachssäume (Cc2) aus Calcit. Mittelwerte (MW, n=56).

Gew.-%	Cc1 (Mw)	Cc2 (Mw)
CaO	54,82	53,05
MgO	0,21	1,45
FeO	0,29	0,23
MnO	0,14	0,07
SrO	0,04	0,64
CO ₂	43,53	43,68
Total	99,03	99,13

Aus der Landesbadquelle (Vorbruch A) wurden weitere Sinterproben (TWS1-TWS7) entnommen, die in Form von feinkörnigen Krusten die anstehenden Frasne Kalksteine auskleiden. Röntgenographische Untersuchungen zeigen das diese Sinter aus einem Mineralgemenge von Anhydrit (CaSO₄), Gips (CaSO₄ x 2H₂O), Dolomit (CaMg(CO₃)₂), Quarz (SiO₂), Hematit (Fe₂O₃), Baryt (BaSO₄), Calcit (CaCO₃), Aragonit (CaCO₃) und Illit (K(Al, Fe)₂AlSi₃O₁₀(OH)₂H₂O) (Tabelle II-1, Anhang) bestehen.

4.4.3.2.1 Seltene Erdelemente (SEE)

Die SEE-Konzentrationen wurden in den Proben TDW1 (Cc2), TWD2(Cc1) und TW10 (Cc) untersucht. Die Gehalte sind im Anhang in Tabelle V-3 zusammengestellt. Für die graphische Darstellung werden die Seltenen Erdelemente auf C-1 nach McDonough und Sun (1995) normiert (Abb.4.58).

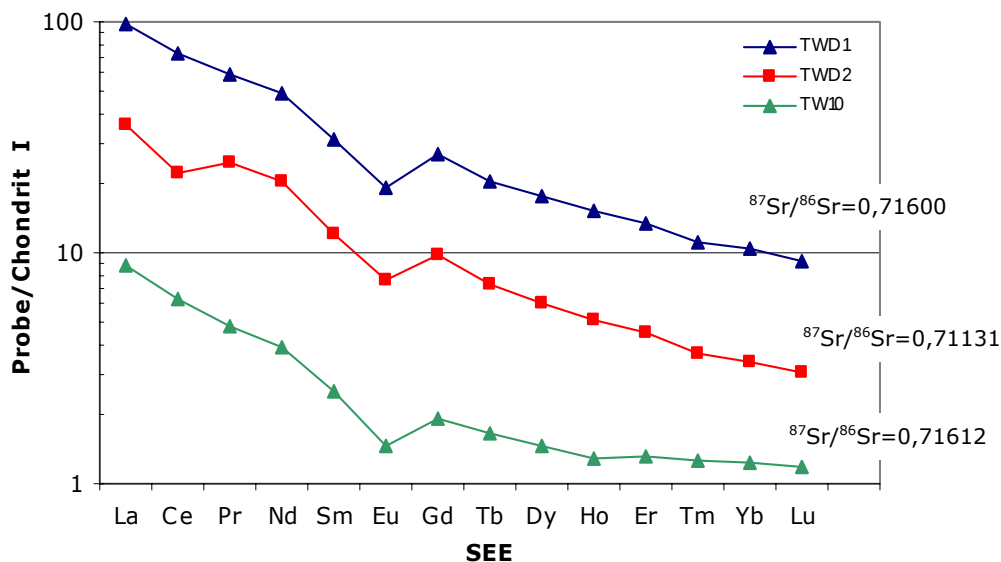


Abb.4.58: Normierte Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in Calcit Cc1 (TWD2) und Sinteranwachssaum Cc2 (TWD1) aus der Landesbadquelle sowie Quellsinter (TW10) aus Aachen. Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Isotopenverhältniss der jeweiligen Probe ist ebenfalls indiziert.

In Abbildung 4.58 ist zu erkennen, dass die Verteilungsmuster der Seltenerdelemente in den Proben ähnlich sind. Die Sinterprobe TWD1 (Cc2) ist im Vergleich zum Calcit der Proben TWD2 (Cc1) und besonders dem Quellsinter der Probe TW10 (Cc) bezüglich seiner Konzentrationen stärker angereichert. Die leichten Seltenerdelemente ($\text{La}_\text{N}/\text{Sm}_\text{N}=2,94\text{-}3,49$) sind gegenüber den schweren ($\text{Gd}_\text{N}/\text{Yb}_\text{N}=1,53\text{-}2,52$) Seltenerdelementen stärker angereichert. In allen Proben ist eine leicht negative Europium-Anomalie zu erkennen ($\text{Eu}/\text{Eu}^*=0,66\text{-}0,70$). Europium tritt in der Natur als Eu^{2+} und Eu^{3+} auf. Bei hohen Temperaturen überwiegt Eu^{2+} gegenüber Eu^{3+} (Bau & Möller, 1991). Dies ist auch der Fall, wenn die Sauerstoffugazität nahe dem Hämatit/Magnetit-Puffer liegt (Bau & Möller, 1991).

4.4.4 Radiogene Isotope

4.4.4.1 Sr-Isotopensignaturen der rezenten Aachen-Burtscheider Thermalwässer und deren Präzipitate

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Thermalwässer liegen im Bereich von $0,71602 \pm 6$ bis $0,71618 \pm 6$ (Abb.4.59). Die Sr-Konzentration der verschiedenen Proben variiert nicht stark (2,46 bis 2,82 mg/l). Die Burtscheider Thermalwässer zeichnen sich durch leicht höhere Konzentrationen und leicht höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnissen ($0,71613 \pm 1$ bis $0,71618 \pm 1$.) als die Aachener Thermalwässer ($0,71602 \pm 1$ bis $0,71607 \pm 1$) aus (Abb.4.59).

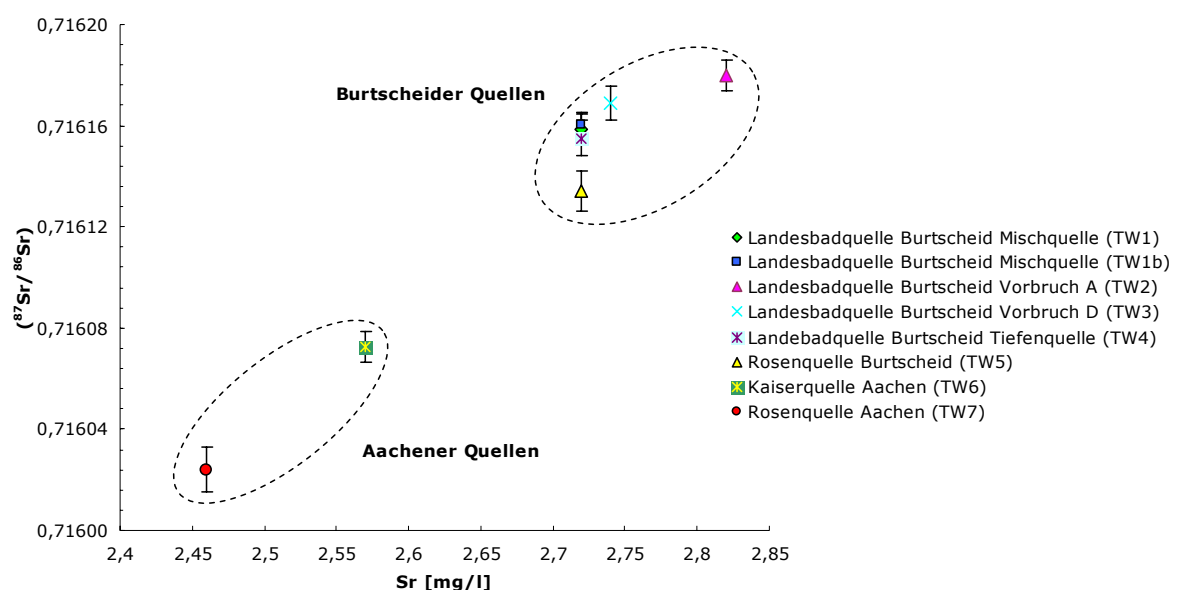


Abb.4.59: Variation der ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)- Verhältnisse in Abhängigkeit von der Sr-Konzentration für die rezenten Aachener und Burtscheider Thermalwässer.

Die Signaturen der Quellsinter in den Römischen Quellbädern (TW10) liegen zwischen $0,71612 \pm 1$ und $0,71615 \pm 1$ (Abb.4.60). Diese Proben weisen Sr-Konzentration von 6000 ppm Sr auf. Auffällig ist, dass die Sr-Signaturen dieser Quellsinter, die durch Aachener Thermalwässer ausgeschieden wurden, Sr-Siganturen aufweisen, die eher den Burtscheider Thermalwässern entsprechen.

Für die beiden Karbonatproben der Frasne-Kalksteine der Landesbadquelle Burtscheid (TWD1 und TWD2) zeigen sich deutlich unterschiedliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse. Der Sinteranwachssaum der Probe TWD1 (Cc2) zeigt mit $0,71600 \pm 1$ ähnliche Sr-Signaturen wie die Burtscheider Thermalwässer. Auffällig in dieser Probe ist der hohe Sr-Gehalt von 7000 ppm.

Calcit der Probe TWD2 (Cc1) unterscheidet sich in seinem $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss von den Sinteranwachssäumen der Landesbadquelle, den Quellsintern aus den Römischen Quellbädern und den Wässern deutlich. Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältniss liegt bei $0,71131 \pm 1$. Probe TWD-1 weist auch höhere Sr-Konzentrationen als Probe TWD2 auf (Abb.4.60).

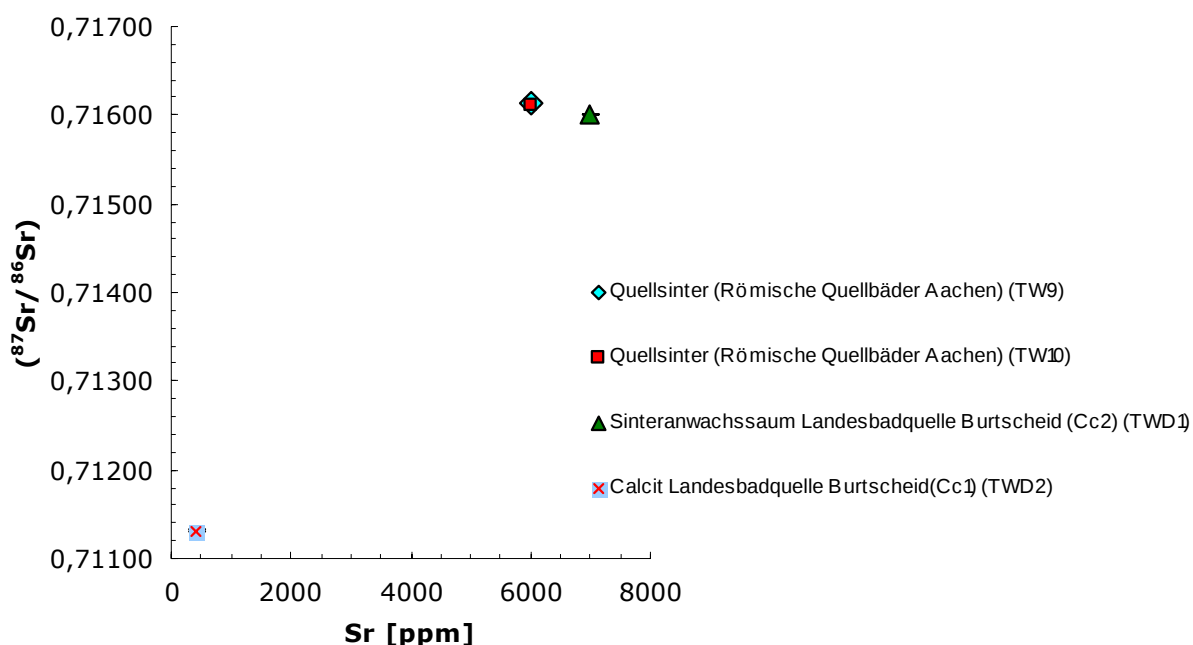


Abb.4.60: ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)-Signaturen aufgetragen gegen die Sr-Konzentrationen in den Quellsintern von Aachen, den Sinteranwachssäumen der Landesbadquelle Burtscheid und den Calcitgängen aus der Landesbadquelle Burtscheid. Die Symbolgrößen übertreffen deutlich die analytischen Fehlerbreiten.

Zusätzlich zu den $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen der Mineralneubildungen in den Frasn-Kalksteinen wurden auch die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen des HCl-löslichen Anteils der Frasn-Kalksteine aus den Quellzügen der Landesbadquelle Burtscheid untersucht (Tabelle 4.6). Diese Signaturen geben Aufschluss auf die Herkunft der Fluiden Phase und die mögliche Verwandtschaft mit den benachbarten Mineralneubildungen und damit Aufschluss auf eine mögliche Mobilisation der Lösungsinhalte von fluiden aus dem Frasn-Kalkstein in die Mineralneubildungen des Calcitgangs TWD2 (Cc1).

Tabelle 4.6: Rb- und Sr- Konzentrationen, $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ - und $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse des HCl-löslichen Anteils der Frasn-Kalksteine aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

Probe	Gestein	Rb [ppm]	Sr [ppm]	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$[^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}]_{300}$	$\pm 2\sigma$
TWD1-2	Kalkstein	0,312	16,380	0,05511	0,00078	0,71025	0,00001	0,71105	0,00001
TWD2-1	Kalkstein	0,023	13,068	0,00514	0,00001	0,71023	0,00001	0,71020	0,00001

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen der Mineralneubildungen (TWD1, TWD2) weisen höher radiogene Signaturen auf als der HCl-lösliche Anteil des umgebenden Frasn-Kalksteins,

sowohl heute ($0,71023 \pm 1$ und $0,71025 \pm 1$) als auch vor 300 Ma ($0,71105 \pm 1$, TWD1 und $0,71020 \pm 1$, TWD2) (Tabelle 4.6). Auch die Sr-Konzentrationen der Mineralneubildungen im Frasne-Kalkstein sind deutlich höher. Die Rb und Sr Konzentrationen des leicht löslichen Anteils des Frasne-Kalksteins sind in beiden Proben mit 0,023 bzw. 0,312 ppm Rb und 13,068 bzw. 16,380 ppm Sr sehr gering. Somit kann man ausschließen, dass die Genese der Mineralneubildungen (TWD1, TWD2) ein Produkt aus dem Nebengestein ist (TWD1-2, TWD2-1), etwa durch Kompaktion und Auspressung von Porenwässern entstanden ist. Bei den Mineralneubildungen in den Gängen handelt es sich um einen differenzierten Fluidfluss. Die Analysenergebnisse der Sr-Signaturen sind in Tabelle XII-1 im Anhang aufgelistet.

4.4.4.2 Pb-Isotopensignaturen der rezenten Thermalwässer und deren Präzipitate

Es wurden 8 Thermalwasserproben aus Aachen-Burtscheid und 2 Quellsinterproben aus Aachen hinsichtlich ihrer Pb-Isotopenzusammensetzung untersucht. Abb.4.61 zeigt die Isotopenverhältnisse $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ der untersuchten Proben. Die Daten variieren von 15,529 bis 15,626 für $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ und von 17,652 bis 18,377 für $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$.

Als Referenzkurven sind in Abbildung 4.61 die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen. Die Pb-Isotopenverhältnisse der Wässer und Sinterproben liegen größtenteils zwischen den beiden Entwicklungslinien, zumindest aber in ihrer unmittelbaren Nähe. Das spricht für eine krustale Herkunft des Bleis aller untersuchten Wässer und Sinterproben.

Die Sinterproben aus den Römischen Quellbädern in Aachen zeigen ähnliche Pb-Isotopien wie die Thermalwässer. Bei den Aachener Thermalwässern erkennt man eine große Streuung in den Pb-Isotopien. Die Burtscheider Thermalwasserproben zeigen ebenfalls eine große Inhomogenität der Werte. Auffällig ist die große Varianz der Pb-Isotopien innerhalb der Landesbadquelle (TW1, TW1b, TW2, TW3, TW4). Durch die starke Streuung der Proben kann man eventuell auf eine Mischung unterschiedlicher Bleiquellen schließen. Die Analysenergebnisse der Pb-Signaturen sind in Tabelle XII-2 im Anhang zusammengestellt.

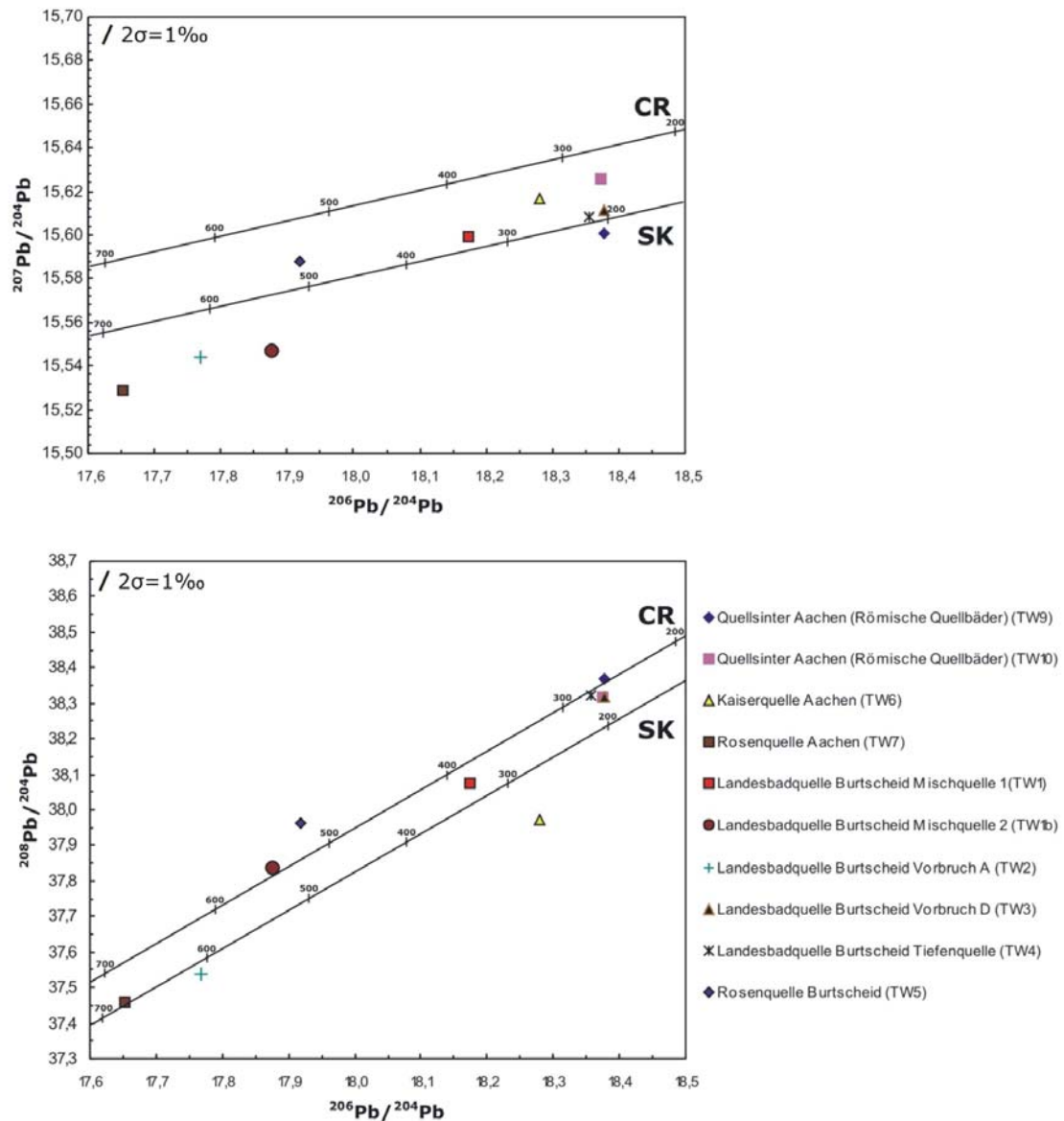


Abb.4.61: Pb-Isotopie der untersuchten Thermalwässer und Sinterproben aus Aachen und Burtscheid. Als Referenzkurven sind die Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975) (SK) und Cumming & Richards (1975) (CR) eingetragen.

5. DISKUSSION

5.1 Zeitliche Einordnung der Fluidfluss-Ereignisse im NW Rhenoharzynikum

Mineralisierende Fluidfluss-Ereignisse werden im NW Rhenoharzynischen Gürtel der mitteleuropäischen Varisziden über eine Zeitspanne von ca. 380 Ma bis zum heutigen Zeitpunkt beobachtet. Sie erstrecken sich damit von der frühdevonischen trogartigen Versenkung und Aufheizung altpaläozoischer Sedimentgesteine und deren unterdevonischem Auflager über die Phase der variszischen Orogenese, dem Ausklingen der variszischen Metamorphose, der postvariszischen Zerblockung des Rheinischen Schildes während der mesozoischen Bruchtektonik, die man im Rahmen der Atlantik-Öffnung sehen kann, bis zu den heutigen Thermalwasseraustritten entlang der Nordgrenze der variszischen Front.

Mitteldevonische, früher häufig als kaledonisch bezeichnete, hydrothermale Aktivitäten, im prädevonischen Grundgebirge des Stavelot-Venn-Massivs (Geukens, 1957) wurden von Kramm (pers. Mitt.) in mineralreichen Quarzgängen mit Rb-Sr-Untersuchungen an Muskovit-Quarz-Paaren dokumentiert (384 ± 2 Ma). Sie stehen im Zusammenhang mit versenkungsmetamorphen Entwässerungsvorgängen. Variszische Alter in der Zeitspanne der ausklingenden variszischen orogenen Metamorphose wurden von Kramm et al. (1985a) (318 ± 16 Ma, K-Ar), Nierhoff (1994) ($320\text{--}336$ Ma, K-Ar), Glasmacher et al. (1995) (313.6 ± 7.2 Ma, K-Ar), Tschernoster et al. (1997) (326 ± 4 Ma, K-Ar) und vielen anderen Autoren veröffentlicht. Von Bonhomme et al. (1983) und Ahrendt et al. (1983) stammen K-Ar-Alter der Deformation zwischen 327–305 Ma. Glasmacher et al. (2001) bestimmten ein K-Ar Alter von 314 Ma für die Ausbildung der variszischen Schieferung und ein Ar-Ar Alter von 300 Ma als Minimumalter einer hydrothermalen Fluidmigration.

Auch in der Bohrung RWTH-1 wurden Gangmineralisationen beobachtet (Sindern et al., 2007; Sindern et al., 2008; Beiss, 2008; Lögering, 2008). Sie zeigen häufig die Mineralisation Karbonat-Chlorit-Quarz. Isotopenuntersuchungen des Rb-Sr-Systems zeigen Heterogenitäten, so dass eine Rb-Sr-Isochrone nicht zu erstellen ist (Beiss, 2008). Eine mögliche Interpretation der isotopischen Heterogenitäten zwischen den Kluftmineralen ist eine Überprägung durch spätere fluide Phasen. Da der Chlorit syndeformativ gebildet wurde, muss das Ereignis der Chloritbildung vor mindestens 300 Ma stattgefunden haben und spiegelt damit eine variszische hydrothermale Aktivität wieder. Eine nachträgliche Illitisierung der Chlorite entlang von Grenzflächen wird von Beiss (2008) anhand von Elementkartierungen mit der Mikrosonde beschrieben. Die Bildung von Illit im Rahmen variszischer hydrothermalen Aktivität wurde von Sindern et al. (2007) und Sindern et al. (2008) beschrieben. Mikrothermometrische Untersuchungen an Gangmineralisationen der RWTH-1 Bohrung bestätigt über die beobachteten Homogenisierungstemperatur das variszische Alter (Lögering, 2008). Ähnliche Gangmineralisationen aus Karbonat-Chlorit-Quarz Gängen im östlichen Rheinischen

Massiv spiegeln ein variszisches Sm-Nd-Bildungsalter von 313 Ma (Schneider et al., 2004).

Die vorgelegte Arbeit befasst sich vornehmlich mit dem postvariszischen hydrothermalen Fluidfluss, der zu zahlreichen gangförmigen Bleiglanz-Zinkblende-Vererzungen im Raum Aachen-Stolberg-Kelmis geführt hat. Durch eine verfeinerte und sorgfältig durchgeführte Rb-Sr-Analyse lässt sich die Kristallisation von Zinkblende erfolgreich datieren, da dieses Mineral in der Lage ist, geringe Konzentrationen von Rb in das Kristallgitter aufzunehmen.

Datierungen von Zinkblendekristallisationen mittels des Rb-Sr Verfahrens sind mehrfach erfolgreich an Mississippi Valley-Typ (MVT) Mineralisationen durchgeführt worden (Nakai et al., 1990; Brannon et al., 1991; Brannon et al., 1992; Nakai et al., 1993; Christensen et al., 1995a; Christensen et al., 1995b; Brannon et al., 1996; Walshaw & Menuge, 1998; Schneider et al., 1999).

Die in dieser Arbeit mit Hilfe des Rb-Sr-Isochronensystems datierten Zinkblendemineralisationen aus dem Raum Aachen-Stolberg-Kelmis (Vorkommen: Hastenrath, Diepenlienchen, Thermae 2002 und Altenberg) in der Nordeifel zeigen innerhalb der Fehlerspanne ein einheitliches Altersbild um $133,5 \pm 4,2$ Ma (Mittelwert) (Hastenrath: $134,3 \pm 1,3$ Ma; Diepenlienchen: $129,9 \pm 9,7$ Ma; Altenberg: $137,1 \pm 1,7$ Ma; Thermae 2002: $134,5 \pm 4,1$ Ma). Nach der Geologischen Zeitskala von Odin (1994) sind diese Kristallisationen und damit die Gangvererzungen an der Grenze von Jura zu Kreide (135 Ma) einzustufen. Damit präzisiert sich der von Gussone (1964) abgeschätzte Zeitraum der Mineralisation aus dem Aachener-Stolberger Raum zwischen Post-Westfal C und Prä-Oberkreide. Die Vererzungen sind überwiegend an NW-SE verlaufende Quer- bzw. Diagonalstörungen gebunden und kennzeichnen die postvariszische Bruchtektonik, während der das Gebiet am Rande der Niederrheinischen Bucht in Schollen zerteilt wurde. Die Datierung erfolgte an Zinkblendenfraktionen unterschiedlicher Wachstumsschalen der für den Stolberg-Aachen-Kelmis-Bereich typischen Schalenblenden.

Durch die angewendete "crush-leach"-Prozedur wurden die untersuchten Zinkblende-Fraktionen vom Lösungsinhalt der Flüssigkeitseinschlüsse befreit. Die $^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ - $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Paare des Lösungsinhalts der Flüssigkeitseinschlüsse liegen zum Teil oberhalb der Zinkblende-Isochrone (Vorkommen Hastenrath und Thermae 2002), zum Teil unterhalb der entsprechenden Isochronen (Diepenlienchen, Altenberg). Die Eluate repräsentieren damit eindeutig sekundäre Fluidaktivitäten. Die große Varianz der Sr-Signaturen der zu den Zinkblenden kogenetischen Phasen Calcit und Dolomit in den jeweiligen Vorkommen bestätigt ebenfalls wiederholende Fluide Fluss-Ereignisse.

Pb-Pb-Modellalter von Ganggebundenen hydrothermalen postvariszischen Bleiglanz-Zinkblende Mineralisationen aus dem linksrheinischen Schiefergebirge spiegeln nach

Krahn (1988) 280-210 Ma. Bielicki und Tischendorf (1991) geben ein Pb-Pb-Modelalter für die Vererzung im Aachener Raum von 260 Ma (Rotliegendes) an. Ein Vergleich mit den hier vorgelegten Isotopenaltern entfällt natürlich.

Die PbS-ZnS-Imprägnationsvererzungen in den Sandsteinen des Triasdreiecks bei Mechernich und Maubach in der Nordeifel sind petrographisch und mineralchemisch mehrfach von Friedrich & Kulms (1974), Jochum et al. (1994), Germann et al. (1995), German & Friedrich (1999) untersucht worden. Die schichtgebundenen Zinkblenden aus diesem Vorkommen wurden von Schneider et al. (1999) mit dem gleichen Verfahren, wie in dieser Arbeit angewendet, untersucht. Die Datierungen ergaben ein Alter von 168 ± 6 Ma. Die Kristallisation der Zinkblenden in den Bundsandstein-Sedimenten erweisen sich daher um etwa 40 Ma älter. Diese enorme Zeitdifferenz für die Bildung der Pb-Zn-Mineralisationen in der Nordeifel spricht für multiple Fluidmobilisationen, möglicherweise auch räumlich-zeitliche Variationen zu der tektonischen Beanspruchung und Fluidbereitstellung.

Aus dem Rechtsrheinischen Schiefergebirge liegen derzeit nur wenige radiometrische Datierungen hydrothermalen Mineralisationen vor. Es finden sich aber vergleichbare Mineralisationen wie in der Nordeifel im mitteldevonischen „Massenkalk“ und unterkarbonischen „Kohlenkalk“ sowie im Ruhrkarbon wieder (Schriell, 1952; Pilger, 1961; Schaffer, 1984, 1986). Altersbestimmungen dieser postorogene Buntmetallvererzungen fehlen bislang.

Mesozoische Bleiglanz-Zinkblende-Vererzungen sind auch aus dem weiteren Rhenoharzynikum bekannt. Für die Pb-Zn-Vererzung von Bad Grund im Harz wird mittels des hydrothermal überprägten Nebengesteins ein Bildungsalter von 238 ± 20 Ma (Rb-Sr-Isochrone) für den 2M-Illitpolytyp präsentiert. Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Initial der entsprechenden Isochronen stimmt überein mit der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Zusammensetzung mehrerer Karbonate, Sulfate eines Quarzes und eines Bleiglanzes aus den Lagerstätte (Boness, 1990). Schneider et al. (2003) beschreibt aus dem östlichen Harz Quarz-Sulfid Alterationen mit einem Modellalter von 226 Ma und Calcit-Fluorit-Quarz Alterationen mit einem Modellalter von 209 Ma.

Über die bisherige Dauer der Thermalwasseraustritte von Aachen und Burtscheid gibt es keine eindeutigen Vorstellungen. Die Quellen wurden sicher bereits zu vorrömischer Zeit genutzt (Pommerening, 1993). Die Zirkulationsdauer der Thermalwässer wurde mittels ^{14}C -Isotopie auf 20000 Jahre bestimmt (Herch, 1997).

Dieser Ausschnitt aus dem NW Rhenoharzynikum der hier präsentierten und gegenübergestellten Altersdaten zeigt deutlich, dass der Fluidfluss von episodischen Ereignissen gekennzeichnet ist. Die Alter der postvariszischen Pb-Zn Mineralisationen können mit der beginnenden Öffnung des Nordatlantiks und der Prototethys (Mittelmeer) in Verbindung gebracht werden, die in Mitteleuropa durch eine extensive

Hydrothermalaktivität mit einer verstärkten Lagerstättenbildung gekennzeichnet ist (Mitchell & Halliday, 1976; Lancelot, 1980, Bernoulli & Lemon, 1980). Mineralisationen dieser Epoche sind europaweit durch Altersdatierungen belegt.

Hydrothermale Fluidflüsse des Variszikums, hier verknüpft mit Deformation und Metamorphoseentwicklung des Rheinischen Schiefergebirges, charakterisieren einen differenzierten Prozess im Gegensatz zu den postvariszischen Pb-Zn Gangmineralisationen, die mit der Bruchtektonik in einem engeren Zusammenhang stehen. Man kann daher trotz der unterschiedlichen Impulse, die für die Fluidflussaktivität verantwortlich sind, über einen Zeitraum von heute bis hin zu 380 Ma im Rheinischen Schiefergebirge episodische Fluidflussaktivitäten erkennen.

5.2 Variszischer Fluidfluss in Gesteinen der Bohrung RWTH-1

Oberkarbonische, oberdevonische und unterdevonische siliziklastische und karbonatische Gesteinsschichten zeigen in den drei gekernten Teufenbereichen der RWTH-1 Bohrung eine intensive Durchaderung mit millimeter- bis zentimeterbreiten Gängen. Sie sind soweit dies in den Bohrkernen erkennbar ist, häufig unterschiedlich orientiert, jedoch lassen sich teilweise auch konjugierte Gangsysteme beschreiben. Becker (2008) beschreibt darüber hinaus über die gesamte Bohrstrecke sieben größere listrische Überschiebungsbahnen, die sich bevorzugt an lithologischen Kontakten ausgebildet haben. Die Gang- und Aderfüllungen, die aus Karbonatmineralen (Calcit, Dolomit, Ankerit), Quarz, Chlorit und gelegentlich auch Pyrit bestehen, belegen ebenso wie die Extrema der Spurenelementkonzentrationen von Ba und Cu im Bereich der Überschiebungsbahnen (besonders in der ersten Kernstrecke und im Bereich zwischen 1900 und 2000 m) einen Fluidfluss innerhalb der Störungszonen. Die Unterschiede in den Spurenelementgehalten in diesen Abschnitten gehen eventuell mit dem Transport eines metallreicheren Fluids einher.

Die meisten Gänge stellen Extensionsstrukturen dar, die Schichtung und Schieferung durchschlagen. Ihr mineralischer Inhalt weist jedoch häufig eine deformative Komponente auf. Calcit ist durch Translationslamellen gekennzeichnet, gebogene Chloritfasern der Gänge mit undulöser Auslöschung geben ebenfalls einen Hinweis auf Deformationsvorgänge (Sindern et al., 2007), so dass die Mineralbildungen als syndeformativ angesehen werden können. Calcit, Dolomit, Ankerit, Quarz und Chlorit können Rekristallisationseffekte, verbunden mit einer Kornverkleinerung zeigen. An einigen Gängen erkennt man einen wiederholten crack-seal-Mechanismus. Die braune Lumineszenz der Quarze aus den Gängen deutet nach Barker & Kopp (1991) eher auf metamorphe Bedingungen hin.

Homogenisierungstemperaturen von Flüssigkeitseinschlüssen in den Gangmineralen Calcit, Dolomit, Quarz und Chlorit und Temperaturen die durch Isotopen-

Geothermometer angezeigt werden liegen für verschiedene Teufen der Bohrstrecke immer bei $<390^{\circ}\text{C}$ (Lögering, 2008). Die in der Chloritzzusammensetzung aus der ersten und zweiten Kernstrecke gespiegelten Temperaturen ergeben ein einheitliches Bild mit Temperaturen von 290 bis 370°C . Sie sind typisch für variszische Metamorphosetemperaturen am Nordrand des Rhenoharzynikums im Aachener Raum (Kramm et al., 1985a, 1985b; Behr et al., 1993). Der syndeformative Charakter der Chlorite in den Gängen und die Homogenisierungstemperaturen der Flüssigkeitseinschlüsse belegen für die Gangfüllung damit auch ein variszisches Alter. Ergebnisse von Schroyen & Muchez (2000) und Muchez et al. (2000) an Flüssigkeitseinschlüssen im Falten- und Überschiebungsgürtel von Ostbelgien zeigen ähnliche Temperaturen.

Die Illitkristallinität der Nebengesteine der Gänge ist gering (Etoundi, 2005) und steht mit einer suggerierten Bildungstemperatur von etwa 200°C (Sindern et al., 2007) in deutlichem Gegensatz zu den Homogenisierungstemperaturen der Flüssigkeitseinschlüsse der Gangmineralisationen. Dieser Temperaturkontrast auf engem Raum verlangt entweder einen sehr kurzfristigen Gangfüllungsprozess aus einer hochthermalen Lösung heraus ($< 10000\text{a}$, Sindern et al., 2007), so dass eine Erwärmung des Nebengesteins keine Kristallinitätsverbesserung des Illits bewirkte, oder, dass Illit in einer späteren Phase als die Gangfüllung, bei niedrigeren Temperaturen, pervasiv gebildet wurde (Beiss, 2008). Beide Ansätze erscheinen problematisch.

Das C1-normierte Seltenerdelement-Verteilungsmuster der untersuchten Gangkarbonate zeigen bis auf die Gangkarbonate MC3, MC10 und MC32 einen einheitlichen Verlauf mit einer geringen Anreicherung der schweren Seltenerdelemente und einer signifikanten positiven Eu-Anomalie. Die Gangkarbonatproben MC3, MC10 und MC32, die aus dem oberdevonischen Cheiloceras-Kalkstein stammen zeigen im Vergleich zu allen anderen Proben eine geringe Anreicherung der leichten Seltenerdelemente. Dies spiegelt eine Wechselwirkung der Lösung mit dem karbonatischen Nebengestein, welches stärker an leichten Seltenerdelementen angereichert ist als die Nebengesteine der anderen Karbonatgänge. Unabhängig von der stratigraphischen Einheit, in der die Gangkarbonate gebildet wurden, zeigen alle Proben eine ausgeprägte positive Eu-Anomalie. Folgt man Bau und Möller (1992), so kann man diese Anomalie als Hinweis auf eine Karbonatbildung bei erhöhter Temperatur interpretieren. Es können sich in dieser Anomalie aber auch SEE-Muster der Quellen der SEE spiegeln, etwa wenn diese aus Plagioklas mobilisiert wurden. Im Plagioklas wird Europium angereichert, ebenso verhält sich auch der Calcit. Der Absatz der Gangkarbonate kann nach Bau & Möller (1992) auf das Abkühlen der Lösung und die pH-Änderung durch die Reaktion mit dem karbonatischen Nebengestein beim Aufstieg in das Störungssystem zurückgeführt werden. Eine solche Interpretation entspricht der von Lögering (2008) dass es sich um Bildungen aus einer abkühlenden metamorphen Lösung handelt. Die deutliche

Fraktionierung zwischen den leichten und schweren SEE zeigt dass die mineralisierende Lösung nicht aus dem unmittelbaren Nebengestein mobilisiert wurde, sondern längere Transportwege durchlaufen hat. Diese Aussage wird durch die Sr-Isotopien klar.

Chlorit und Calcit der Gänge in den Kernstrecken der RWTH-1 Bohrung zeigen sehr unterschiedliche Sr-Isotopenzusammensetzungen, die auch durch Rückrechnung in die geologische Vergangenheit zu keinem Zeitpunkt identisch werden. Daher ist keine Altersbestimmung mittels einer Rb-Sr Isochrone möglich. Eine Modellrechnung mit Hilfe einer Paläomischungsline (Schneider et al., 2003) könnte ein Alter von 218 ± 15 Ma nahelegen (Beiss, 2008). Ein solches Alter ähnelt $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ -Altern an Chloriten von 182 ± 18 Ma (Sindern et al., 2008). Die erwarteten variszischen Alter spiegeln sich hier nicht.

Der Vergleich von Sr-Signaturen der Karbonate und Chlorite aus den Gängen und des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins zeigt eine große Varianz als Ausdruck isotopischer Ungleichgewichte. Es fand somit weder eine isotopische Equilibrierung zwischen den jeweiligen Gangmineralen, noch zwischen Gangmineralisationen und dem jeweiligen Nebengestein statt. Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Karbonate in den Gängen zeigen in den Gesteinseinheiten unterschiedliche Werte. In den oberkarbonischen Siltsteinen liegen die Signaturen einheitlich zwischen $0,71107 \pm 1$ und $0,71145 \pm 1$. Auch in den oberdevonischen dolomitisierten Kalksteinen schwanken die Sr-Signaturen nur zwischen $0,71647 \pm 1$ und $0,71682 \pm 1$. Die Sr-Signaturen der Gangkarbonate aus den unterdevonischen Gesteinsschichten zeigen dagegen eine große Varianz in den Sr-Signaturen von $0,70952 \pm 1$ bis $0,72119 \pm 1$. Dies kann einerseits eine intensive Interaktion mit dem höher radiogenen Nebengestein (HCl-löslicher Anteil: $0,72033 \pm 1$ bis $0,72137 \pm 1$) spiegeln andererseits durch differenzierte Fluidimpulse mit unterschiedlichen Sr-Signaturen erklärt werden. Mineralbildungen aus Fluiden, die im isotopischen Gleichgewicht mit dem Nebengestein standen, müssen die isotopische Zusammensetzung des Nebengesteins haben. Bei Ereignissen, die keine Equilibrierung zwischen Fluid und Nebengestein zuließen, tragen die Minerale im Extremfall die Signatur der ursprünglichen Fluidquelle (Cartwright & Buick, 2000), oder Mischsignaturen. Chlorite aus den Gängen in unterdevonischen Gesteinsschichten zeigt Sr-Signaturen, die immer höher radiogen sind als die der jeweiligen koexistierenden Karbonate. Der Unterschied in den $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{300}$ -Verhältnissen bestätigt dass Chlorit nicht zeitgleich mit Karbonat ausgefällt wurde. Die variierenden höheren Sr-Initialsignaturen des Chlorits kennzeichnen eventuell die Interaktion mit dem Nebengestein und den schon ausgefallten Karbonaten, hier ergibt sich aber unter Umständen ein Problem mit der Zeitlichkeit der Gangfüllungen, oder sie repräsentieren die überprägten und alterierten Chlorite, wie sie von Beiss (2008) beschrieben wurden. Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse der Karbonatgänge liegen überwiegend über den Initialverhältnissen des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins aus der unmittelbaren Umgebung. Dies legt nahe, dass das Strontium der Karbonate nicht bzw.

nicht ausschließlich aus dem Nebengestein mobilisiert worden ist. Die Heterogenität der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse von HCl-löslichem Anteil des Nebengesteins und Gangkarbonat zu jeder Zeit in der geologischen Vergangenheit bestätigt dass die Fluide einen komplexen hydrothermalen Fluidfluss kennzeichnen, der durch viele Faktoren beeinflusst worden ist. Pyrit in den Gängen zeigt Pb-Isotopenverhältnisse, die typisch sind für variszische Vererzungen. Die Messergebnisse fallen alle in das von Krahn (1988) charakterisierte Feld der variszischen Mineralisationen (Abb.5.6). Die Isotopensignaturen liefern damit ein indirekten Beweis, dass die Gangmineralisationen synorogen gebildet wurden.

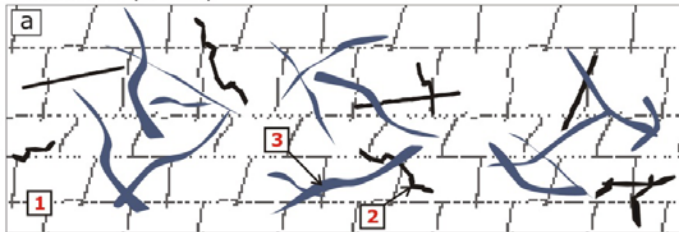
5.3 Genetisches Modell der postvariszischen Gangbildungen im Steinbruch Hastenrath

Auf der Basis der strukturellen, mineralogischen, geochemischen und isotopengeochemischen Informationen wird ein genetisches Modell für die postvariszische Mineralisation im Hastenrather Steinbruch entworfen (Abb.5.1).

Visé-Kalkstein der Vaughanites-Oolith-Einheit weisen im Steinbruch Hastenrath Anzeichen einer Dolomitisierung auf (Abb.5.1a). Diese ist gekennzeichnet durch lokal konzentrierte Verästelungsstrukturen aus Dolomit, in denen die Kristalle Calcit ersetzen und in primär gebildeten Calcit hineinwachsen (Abb.5.1a). Die Tatsache, dass der Übergang von Dolomit zu Calcit in Karbonatgesteinen bisweilen nicht schichtparallel, sondern quer durch das Gestein verläuft, weist auf eine Imprägnierung entlang von Bereichen höherer Permeabilität hin (s. auch McKenzie, 1991; Moore, 2001). Rottke (1994) beschreibt für die unterkarbonischen Karbonatgesteine des Aachener Raums diagenetische Phasen, in die die hier beschriebene Dolomitisierung (Phase E-F nach Rottke, 1994) eingeordnet werden kann. Diese diagenetischen Phasen gehören in das Stadium der Versenkungsdiagenese. Eine Gruppe von richtungslos orientierten calcitischen Karbonatgängen (Abb.5.1a) durchschlagen die dolomitisierten Verästelungen des Kalksteins und kennzeichnen nach Rottke (1994) das Stadium der Spätdiagenese. Die blockigen Kristalle der Calcitgänge zeigen unter Kathodenstrahlung Wachstumszonierungen (Abb.4.26b,f) und deuten damit eine homogene Versiegelung an (Hilgers & Urai, 2002).

Der hohe Wert von bis zu 1,2 Gew.-% MnO in den Calcitgängen auf ein reduzierendes Milieu, während der Gangfüllung schließen. Eine hohe Fluidflussgeschwindigkeit und eine geringe Übersättigung der Fluide fördern den Prozess der homogenen Versiegelung der Gänge (Hilgers & Urai, 2002).

Unterkarbon (Visèum)



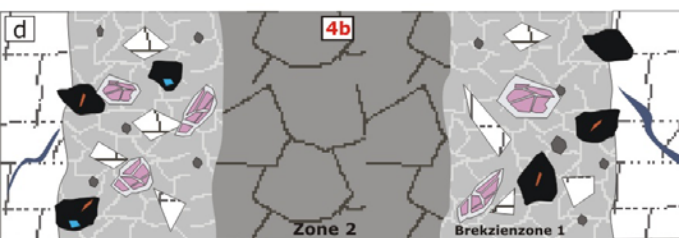
1. Sedimentation
2. Anzeichen einer Dolomitisierung die syndimetär oder frühdiagenetisch/spätdiagenetisch erfolgte
3. Bildung von richtungslos orientierten Karbonatgängen



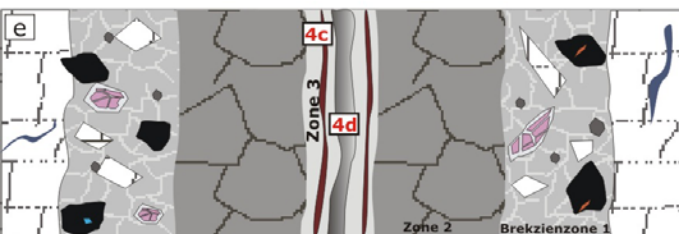
4. Bildung von NNW-SSE verlaufende Quer- bzw. Diagonalstörungen bestehend aus 3 mineralisierten Zonen



- 4a. Erste Bruchversiegelungsphase
Brekziierte Zone 1



- 4b. Zweite Bruchversiegelungsphase
Grobspätiger Calcit (Zone 2)



- 4c. Dritte Bruchversiegelungsphase
Zinkblendemineralisation in Calcit (Zone 3)

- 4d. Bruch verfüllt mit Kohlepartikeln.



Abb.5.1: Schematische Darstellung des Genesemodells für die NNW-SSE verlaufenden subvertikalen Gänge des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke.

Das $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ Verhältnis der unterkarbonischen Visè-Kalksteine von Hastenrath liegt zwischen $0,70812 \pm 1$ und $0,70817 \pm 1$ und ist damit für marine Karbonate des Karbons typisch (Burke et al., 1982). Die Sauerstoffisotopie ($\delta^{18}\text{O}$) und die Kohlenstoffisotopie ($\delta^{13}\text{C}$), die verglichen mit Karbonaten aus unterschiedlichen Reservoirs für Hastenrath, in das Feld der Kalksteine und Marmore fallen, bestätigen dies (Abb.5.2). Redecke (1992) und Rottke (1994) finden ähnliche $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte für unterkarbonischen Kalkstein aus dem Raum Aachen-Stolberg. Dabei zeigt der unterkarbonische Kalkstein eine große Varianz der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte. Dies kann im Sinne von Land (1980) als temperaturabhängiger Fraktionierungseffekt zwischen Calcit und Dolomit gedeutet werden. Er führt zu einer Anreicherung von $\delta^{18}\text{O}$ im Calcit. Die $\delta^{13}\text{C}$ -Werte deuten auf eine Herkunft der mineralisierenden Lösungen aus Formationswässern hin. Die nach der Dolomitisierung entstandenen richtungslos orientierten Karbonatgänge weisen höhere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Werte ($0,70922 \pm 1$ bis $0,70983 \pm 1$) als das Nebengestein ($0,70812 \pm 1$ bis $0,70817 \pm 2$) auf. Dies muss als Hinweis interpretiert werden, dass das Strontium der Calcitgänge aus anderen Lieferquellen mobilisiert worden ist als aus dem direkten Nebengestein. Die Sr-Isotopensignaturen des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins ($0,70851 \pm 1$) bestätigt diese Aussage. Sauerstoff und Kohlenstoff zeigen für die Calcitgänge ähnliche Isotopien wie der unterkarbonische Kalkstein (Abb.5.2).

Die NNW-SSE verlaufenden Quer- oder Diagonalstörungen, die die variszisch gefalteten NE-SW streichenden unterkarbonischen Kalksteine im Steinbruch Hastenrath durchschlagen, zeigen eine komplexe Pb-Zn-Gangmineralisation (Abb.5.1b-e). Die untersuchten Gänge weisen unterschiedlich mineralisierte Zonen auf (Zone 1-3), die auf mehrere Bruch-Versiegelungs-Prozesse und somit auf wiederholten Fluidtransport hindeuten.

Die brekziierte Zone (Bruch-Versiegelungsphase 1, Abb.5.1c) weist eine komplexe Mineralisation auf, in der neben calcitischen Ausfüllungs- und Verkittungsprodukten auch Fragmente des Nebengesteins und einer älteren Bleiglanzvererzung auftreten. Mineralisch beachtenswert ist in dieser Zone das gemeinsame Auftreten von Chalkopyrit und Bornit.

Chalkopyrit bildet sich in hydrothermalen Lagerstätten bei Temperaturen $\geq 228^\circ\text{C}$ (Barton et al. 1969). Eine Koexistenz der Phasen Chalkopyrit und Bornit im System Cu-Fe-S ist nach Brett (1963) jedoch auch bei Temperaturen von $< 200^\circ\text{C}$ möglich, wenn das Fe/Fe+Cu Verhältnis wie in dem hier untersuchten Chalkopyrit zwischen 0,17 und 0,5 liegt (Abb.5.3).

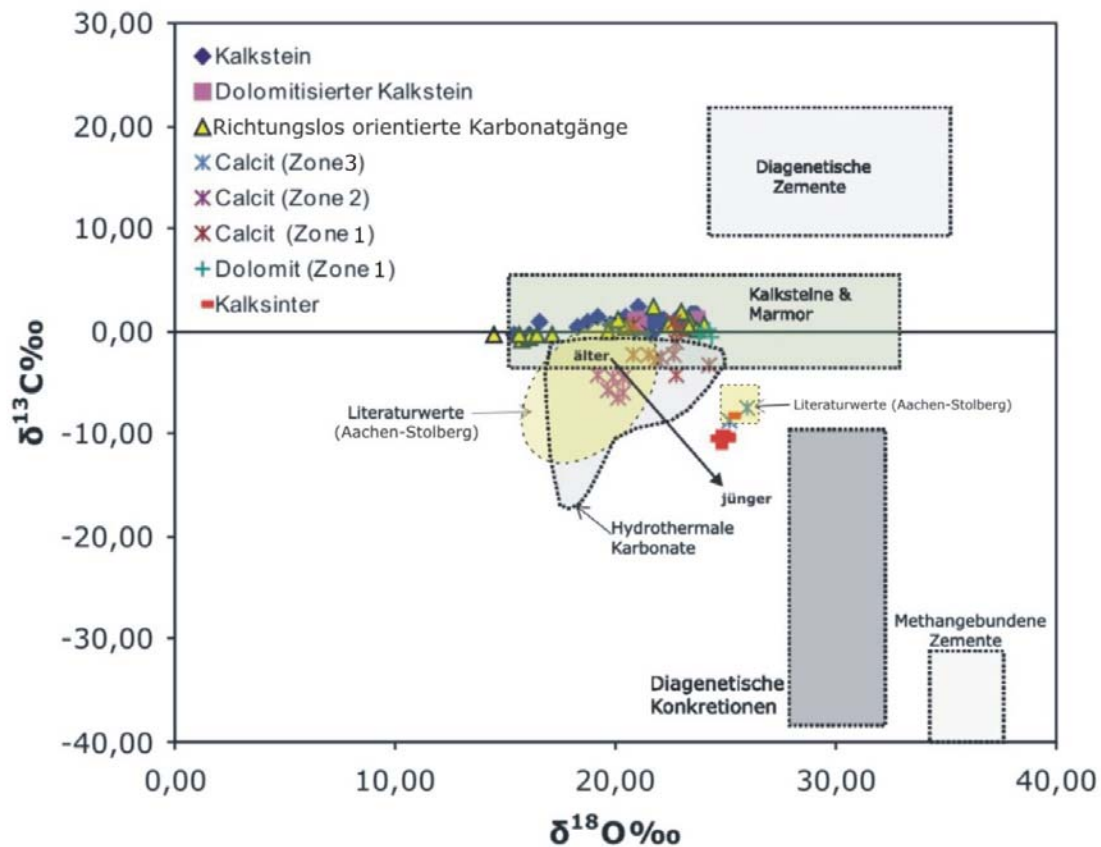
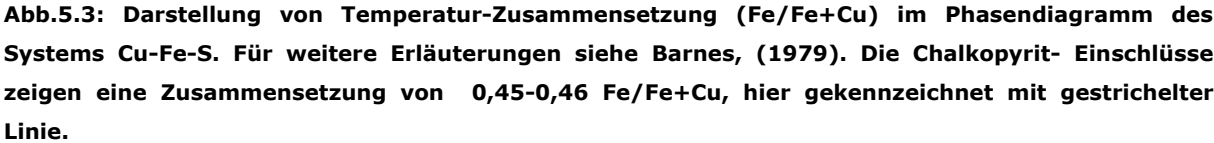


Abb.5.2: $\delta^{18}\text{O}$ (SMOW) - $\delta^{13}\text{C}$ (PDB) Diagramm mit der isotopischen Zusammensetzung unterschiedlicher Karbonate aus unterschiedlichen Reservoirs. Die Werte für sedimentäre Karbonate sind von Hudson (1977) und Baker und Fallick (1989), für hydrothermale Karbonate des Mississippi Valley-Typs von Richardson et al. (1988). Die als Literaturwerte gekennzeichneten Felder stellen Daten von variszischen und postvariszischen hydrothermalen Mineralisationen aus dem Raum Aachen-Stolberg (Redecke, 1992; Rottke, 1994; Lögering, 2008) dar. Eigene Werte sind mit den jeweiligen Signaturen gekennzeichnet.

Ähnliche Dolomitfragmente wie sie in Zone 1 gefunden werden, wurden bezüglich ihrer Herkunft von Rottke (1994) als Fragmente des Mittleren Kohlenkalks beschrieben. Die $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werte der hier beschriebenen Hastenrather Dolomitfragmente fallen in das Feld der marinen Kalksteine und zeigen gleiche Signaturen wie der Vaughanites-Oolith. Dolomit ist also hier nicht hydrothermal gebildet worden. Der idiomorphe Ankeritsaum um die Dolomitfragmente muss jedoch als eine nachträgliche Ausfällung, die in Zusammenhang mit einem Fe-reichen Fluidfluss steht, interpretiert werden.

Die zweite Bruchversiegelungsphase (Zone 2) besteht nur aus grobspätigen Calcitkristallen und weist keine Vererzung auf (Abb.5.1d).



In einem der untersuchten Gänge (Gang 1) erkennt man in Zone 3 beidseitig eine Ausfällung von Zinkblende entlang der Kluftwände. Daraus lässt sich der Schluss ziehen, dass die Kluft bei Ausfällung der Zinkblende nicht gänzlich versiegelt war. Die kolloidale Ausbildung der Zinkblende deutet auf ihre rasche Ausfällung aus einer stark übersättigten Lösung hin (Gussone, 1964).

Im Gegensatz zu den hier vorgestellten Zinkblenden von Hastenrath, weisen die von Redecke (1992) untersuchten Zinkblenden aus dem Raum Aachen-Stolberg eher hohe Fe-Gehalte von bis zu 6,4 Gew.-% auf. Nach Kullerud (1961) wird mit zunehmender

Temperatur mehr Eisen in das Zinkblendengitter eingebaut. Die Ausfällung der Zinkblende in Zone 3, Gang 1 geschah demnach zumindest in der Schlussphase der Gangaktivität, bei relativ niedrigen Temperaturen. Die Homogenisierungstemperaturen von Flüssigkeitseinschlüssen in Zone 3 (85°C-145°C) sprechen für ein epithermales Ereignis. Oberhalb von 300°C kann der FeS-Gehalt in der Zinkblende als Geobarometer genutzt werden (Scott & Barnes, 1971; Hutchinson & Scott, 1980; Bryndzia et al., 1988). Die aufgrund von Flüssigkeitseinschlüssen im Calcit bestimmten niedrigen Bildungstemperaturen lassen jedoch dieses Geobarometer hier als nicht geeignet erscheinen.

Die Mitte des Ganges 1 ist mit einem feinkörnigen Bändchen aus Kohle verfüllt (Abb.5.1e), die einen Reifegrad kennzeichnend für Braunkohle (Vassoevich et al. 1969) aufweist. Der Inkohlungsgrad von verfüllten Karsttaschen im unterkarbonischen Kalkstein des Steinbruchs deutet auf eine Mischung aus Braun- und Steinkohle hin. Die Quelle dieser Kohlevorkommen, Oberkarbon oder Tertiär, ist unklar. Der niedrige Inkohlungsgrad der Gangfüllung spricht eher für eine tertiäre Quelle. Nach Kasig (1980), der bereits diese Kohle beschreibt, ist sie in einer feinen Suspension ungelöst durch Klüfte und andere Hohlräume in die Karsttaschen transportiert worden. Der Transport dieses Materials in die Mitte des Ganges ist eventuell mit tektonischen Scherbewegungen entlang des Klufthohlraums zu erklären. Wenn Kohlen in Bereichen vorkommen, die durch Faltungs- und Verwerfungstektonik stark beeinflusst sind, besitzen sie häufig einen höheren Inkohlungsgrad. Tektonischer Druck oder Reibungshitze kann zur Erklärung angenommen werden.

Die Karbonate im Untersuchungsgebiet wurden von drei Verkarstungsphasen beeinflusst, welche in das obere Tournais, in das obere Visé und in das Postvariszikum gestellt werden können (Kasig, 1980). Die Verkarstungen entstanden durch Fließ- und Sickerwasser, die sich im Untergrund meist entlang von Kluftflächen Wegsamkeiten schafften und diese durch ständige Karbonatlösung erweiterten. Teile der durch Verkarstung entstandenen Hohlräume weisen wie beschrieben Füllungen auf, die aus Sedimenteinträgen oder Sinterbildungen bestehen. Es wird angenommen, dass die hier untersuchten Kalksinter und angewachsenen Sinternadeln das jüngste Bildungsereignis darstellen.

Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen im Calcit der drei Bruchversiegelungszonen ergeben Homogenisierungstemperaturen zwischen 80,7 und 179,7 °C. Für die einzelnen Zonen ist eine Differenzierung der Temperaturen zu erkennen. Dies wird als unterschiedliche Fluidimpulse interpretiert. Die Zonen 1 und 3, die eine Vererzung aufweisen, zeigen deutlich höhere Homogenisierungstemperaturen der Fluideinschlüsse als Zone 2, die nur aus grobspätigem Calcit besteht.

Die Salinitäten (NaCl-Äquivalent) von 10,24 bis 23,08 Gew.-% in allen drei Zonen sind charakteristisch für postvariszische Fluide (Redecke, 1992; Muchez et al., 1994; Stroink, 1994; Glasmacher et al., 1995).

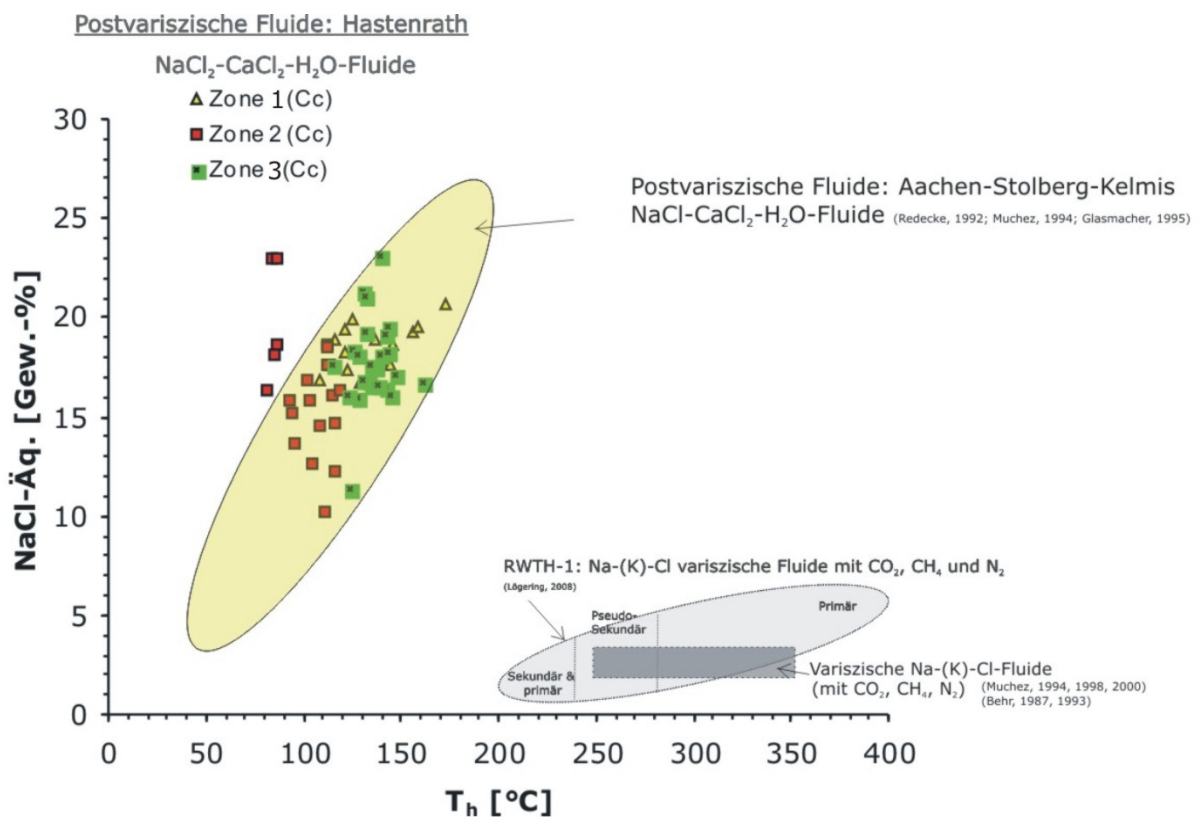


Abb.5.4: Diagramm der Salinitäten (NaCl-Äq. in Gew.-%) variszischen und postvariszischer Fluide aufgetragen gegen die Homogenisierungstemperatur (T_h) von Flüssigkeitseinschlüssen. Dargestellt sind die eigenen Ergebnisse aus den Zonen 1-3 (Hastenrather Steinbruch) und vergleichende Literaturwerte von variszischen und postvariszischen Vorkommen aus der Nordeifel (Behr et al., 1987; Redecke, 1992; Behr et al., 1993; Muchez et al., 1994; Glasmacher et al., 1995; Muchez et al., 1998; Muchez et al., 2000; Lögering, 2008).

Die eutektische Temperatur zwischen -33,8 und -62,4 °C signalisiert das Vorhandensein von NaCl-CaCl₂-H₂O-Fluiden. Der Unterschied zu variszischen Fluiden der Nordeifel/Nordardennen (Muchez et al., 1994; 1998, 2000; Behr et al., 1987, 1993; Lögering, 2008) ist deutlich zu erkennen (Abb.5.4). Diese Fluide weisen deutlich höhere Homogenisierungstemperaturen und geringere Salinitäten auf.

Die SEE- Verteilungsmuster von Calcit innerhalb der Zonen 1-3 sind ähnlich. Generell zeigt aber hydrothermaler Calcit keine Tendenz zur Bildung unterschiedlicher SEE-Verteilungsmustern in einem Gang oder einem Gangsystem (Möller et al., 1982; Möller, 1983). Dolomit aus Zone 1 zeigt eine identische Fraktionierung der leichten und schweren Seltenen Erden wie Calcit aus den Zonen 1-3 der Gangprofile, die SEE sind aber deutlich höher konzentriert. Möglicherweise spiegelt der Dolomit, der als Fragment in der brekzierten Zone 1 vorkommt, die SEE-Gehalte des mittleren Kohlenkalks. Auch

die Kalksinter in Hastenrath zeigen im Verlauf identische SEE-Muster mit den Gangkarbonaten, allerdings mit deutlich geringeren Konzentrationen.

Alle Karbonatphasen weisen eine leicht negative Europiumanomalie auf. Dies spiegelt einen Mangel an Europium in der fluiden Phase oder verweist auf den stark reduzierenden Charakter dieser Lösung. Aus den Verteilungsmustern, die alle einen geringen Fraktionierungsgrad aufweisen, kann weiterhin abgeleitet werden, dass die CO_3^{2-} -Konzentration gering und Karbonat als HCO_3^- beim Absatz vorlag ($\text{Ca}/\text{HCO}_3^- > 1$) (Möller, 1991).

Die O- und C- Isotopenverhältnisse der Karbonatminerale weisen von Zone 1 (älter) nach Zone 3 (jünger) steigende $\delta^{18}\text{O}$ - und fallende $\delta^{13}\text{C}$ -Werte auf (Abb.5.2). Calcit aus den Zonen 2 und 3 fällt in das Feld der hydrothermalen Karbonate (s. auch: Redecke, 1992; Rottke, 1994). Calcit aus Zone 3 weist $\delta^{13}\text{C}$ - Werte von -7,53 bis -8,70 ‰. Diese Werte können als Mischwerte von Kohlenstoff aus dem Nebengestein (Formationswasser) und Kohlenstoff aus einer anderen, höhertemperierten hydrothermalen Quelle verstanden werden. Eventuell stellt die Kohlenstoffisotopie der Zone 3 eine Mischung der Isotopie der Calcite und des mittig verfüllten Kohlenmaterials dar. Die die Isotopenverteilung beeinflussenden Faktoren sind unter anderem die Salinität der Lösung und die biologische Aktivität im ehemaligen Ablagerungsbereich der karbonatischen Sedimente (Friedman & O'Neil, 1977).

Ähnliche C- und O-Isotopien wie die der Karbonate der hydrothermalen Gangvererzung weisen die Kalksinter aus dem Steinbruch Hastenrath auf.

Aus den Isotopien erkennt man eine Varianz der unterschiedlichen Karbonate und somit auch eine zeitliche Abfolge unterschiedlicher fluiden Ereignisse.

Die große Variationsbreite der $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen ($0,70857 \pm 2$ bis $0,71417 \pm 1$) von Calciten selbst innerhalb der einzelnen Zonen 1, 2 und 3 muß im Sinne komplexer Bildungsbedingungen gedeutet werden. Wiederholte Fluidschübe waren an den Gangfüllungen beteiligt und können somit die einzelnen Zonen auch überprägt haben. Die Signaturen der Dolomitfragmente in Zone 1 ($0,70972 \pm 1$ und $0,71219 \pm 1$) zeigen ebenfalls durch die Wechselwirkung mit dem Fluid eine große Varianz in den Sr-Signaturen.

Postvariszischer Calcit aus den Zonen 1, 2 und 3, Bleiglanz aus Zone 1 und Zinkblende aus Zone 3 zeigen Pb-Isotopenverhältnisse, die sehr ähnlich mit anderen postvariszischen Vorkommen (Krahn, 1988; Redecke, 1992; Schneider, 1994) aus dem Raum Aachen-Stolberg sind (Abb.5.6). Vergleicht man diese Werte mit Isotopenverhältnissen der umgebenden devonischen und karbonischen Sedimentgesteine der Nordeifel für mesozoische Zeiten (Schneider, 1994), so decken sich diese nur zum Teil. Das Streuen der Werte deutet entweder auf eine inhomogene Isotopenzusammensetzung, die auf eine variable Mischung unterschiedlicher Bleiquellen zurückzuführen ist oder auf eine Remobilisierung von Blei durch wiederholte

hydrothermale Schübe hin. Die Pb-Signaturen aller Phasen sprechen für eine krustale Herkunft des Bleis. Die Zinkblende aus Zone 3 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18,357$ bis $18,448$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15,619$ bis $15,632$) weist leicht höher radiogene Signaturen als der Bleiglanz aus Zone 1 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=18,314$ bis $18,323$; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15,575$ bis $15,605$) auf. Vorsichtig kann man hieraus ableiten, dass die Ausfällung der Zinkblende ein jüngerer Ereignis repräsentiert als die Kristallisation des Bleiglanzes.

5.4 Geochemischer Vergleich des Bleiglanz-Zinkblende Vorkommens Hastenrath mit anderen postvariszischen Pb-Zn-Mineralisationen des Raums Stolberg-Aachen-Kelmis

Zum Vergleich mit der Pb-Zn Mineralisation im Steinbruch Hastenrath wurden die postvariszischen Pb-Zn Vorkommen Diepenlieden, Albertsgrube, Bleiberg, Altenberg und Thierbach 2002 untersucht. Unter verschiedenen Aspekten wurden diese Vorkommen bereits von Gussone, 1964; Krahn, 1988; Friedrich et al., 1987; Redecke, 1992; Muchez et al., 1994 und anderen betrachtet.

Die untersuchten Zinkblenden aller Vorkommen weisen eine kolloidale Textur auf. Roedder (1968) erklärt die Entstehung dieser Texturen durch direkte Ausfällungen der Minerale aus stark übersättigten Lösungen. Der unterschiedliche Chemismus der einzelnen Lagen ist nach Roedder (1968) auf periodisch auftretende Änderungen im Chemismus der Lösung zurückzuführen. Die wechselnden Lagen aus Zinkblende, Pyrit, Bleiglanz und Markasit in diesen Vorkommen kann nach Taylor & Fryer (1980) als Abnahme des pH-Wertes oder Anstieg der Sauerstoffugazität in der mineralisierenden Lösung interpretiert werden. Auffallend sind in den Proben Bereiche mit intensiver Brekzierung der Schalenblende. Dies deutet auf wiederholt auftretende tektonische Bewegungen im Zusammenhang mit der Bildung der Mineralisation hin.

Die Mineralchemie der untersuchten Zinkblenden (Schalenblenden) aus diesen Vorkommen zeigt hohe Fe-Gehalte bis 5,81 Gew.-%. Derartig hohe Gehalte sind auf die dunklen Lagen der Schalenblende beschränkt. Nach Kullerød (1961) wird mit zunehmender Temperatur mehr Eisen in die ZnS-Struktur eingebaut. Der Cd-Gehalt ist in den hellen Lagen des öfteren erhöht, erreicht aber nur bis zu 1,3 Gew.-%. Die Zinkblende aus den hydrothermalen Gängen im Steinbruch Hastenrath weist vergleichsweise hohe Cd-Gehalte mit bis zu 6,2 Gew.-% auf. Experimentelle Untersuchungen (Mokherjee, 1964) zeigen, dass der Cd-Einbau in Zinkblende mit steigenden Temperaturen sinkt.

Im Gegensatz zu Karbonaten der Mineralisationen in Bleiberg, die eine signifikant positive Europium-Anomalie aufweist (s. auch: Redecke, 1992), fehlt diese bei den anderen postvariszischen Vorkommen. Anhand der SEE-Verteilung unterscheiden sich die Mineralisationen von Hastenrath, Diepenlieden und Albertsgrube von Bleiberg so

signifikant, dass man von zwei unterschiedlichen Quellen für die Mineralisation ausgehen kann. Die von Muchez et al. (1994) präsentierten $\delta^{13}\text{C}$ - und $\delta^{18}\text{O}$ -Werte von Gangcalcit (fünf Generationen eisenreicher Calcite) der Mineralisation Bleiberg sind aber vergleichbar mit $\delta^{18}\text{O}$ - und $\delta^{13}\text{C}$ -Werten aus Gangcalcit der Zonen 1, 2 und 3 der Mineralisationen des Hastenrather Steinbruchs. Nach der Auffassung von Muchez et al. (1994) wird der Gangcalcit aus meteorischen Wässern ausgefällt, die mit dem Nebengestein interagieren.

Die $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen des Gangcalcits von Bleiberg zeigen eine breite Variation von $0,70923 \pm 1$ bis $0,71418 \pm 1$. Sie kann im Sinne von Muchez et al. (1994) durch unterschiedliche Bruchversiegelungsgenerationen mit Calcit (Muchez et al., 1994) interpretiert werden. Ähnliche Variationen in den Sr-Signaturen sind sowohl für die Calcit-Ganggenerationen 1, 2 und 3 des Hastenrather Steinbruchs als auch für Calcit und Dolomit aus den Vorkommen Albertsgrube und Diepenlienchen zu erkennen. Die Variationsbreite der Sr-Signaturen von Calcit und Dolomit deutet wie im Steinbruch Hastenrath auf wiederholte Fluidereignisse und eine komplexe Ganggenese.

Die $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Signaturen von Bleiglanz, Pyrit und Zinkblende aus den Vergleichsvorkommen weisen ähnliche Signaturen auf wie die der Minerale von Hastenrath (Abb.5.6). Sie fallen alle in das von Krahn (1988) definierte Feld der postvariszischen Mineralisation. Auch mit den von Schneider (1994) bestimmten Pb-Signaturen der Pb-Zn Mineralisation aus dem Vorkommen Maubach-Mechernich stimmen diese Werte überein. Die einheitliche Pb-Isotopie der verschiedenen Vererzungen der untersuchten Vorkommen widersprechen nicht einer These ähnlicher Quellen für das Blei. Es wurde wahrscheinlich aus verschiedenen Quellen gemischt und homogenisiert. Dies lässt während der postvariszischen Mineralisationen auf ein großes Hydrothermalsystem schließen.

Für die metallogenetische Betrachtung von potentiellen Liefergesteinen in der Nordeifel kommen klastische Gesteine in Frage, da Blei, Zink, Kupfer, Nickel, und Barium in der Regel an Feldspäte, Glimmer, Tonminerale etc. gebunden ist. Die Karbonatgesteine können keinen nennenswerten Beitrag zu diesen Elementen liefern. In den unter- und mitteldevonischen Sedimenten konnten intensive Stoffumsetzungen im Zuge der Diagenese und der variszischen Orogenese aufgrund der höheren Permeabilität der Gesteine von Redecke & Friedrich (1991) nachgewiesen werden, was möglicherweise zur Mobilisation von Metallen führen konnte. Die Blei- und Zink- Konzentrationen sind in den Sandsteinen des Unterkarbons um den Faktor 2 bis 3 höher als in devonischen Sedimenten.

5.5 Geochemie der rezenten Thermalwässer von Aachen-Burtscheid und ihrer Subrezenten Sinterbildungen

Die Thermalwasserquellen von Aachen und Burtscheid dokumentieren einen rezenten hydrothermalen Fluidfluss im Bereich der Aachener Überschiebung. Sie bieten einen direkten Zugang zu hydrothermalen Lösungen und eignen sich hervorragend zum Vergleich mit den paläozoischen und mesozoisch-tertiären Fluidflüssen. Die hohe Mineralisation der Aachener und Burtscheider Thermalwässer ist das Ergebnis geochemischer Prozesse, die im Aachener/Burtscheider Thermalwassersystem zum Teil gleichzeitig ablaufen. Die Auswirkung dieser Prozesse auf die Konzentration der Neben- und Spurenelemente konnte durch umfangreiche Untersuchungen von Pommerening (1993) und Herch (1997) nachgewiesen werden. Die mit der vorgelegten Arbeit ermittelten Messwerte fallen bis auf den Fluorgehalt in die Messspanne der von Herch (1997) bestimmten Haupt- und Spurenelemente.

Die filtrierte Wasserproben weisen geringere Zink- und Fluorgehalte auf, als die von Herch (1997) bestimmten Werte. Dies lässt vermuten, dass beide Elemente als partikularer Anteil in den Wässern vorhanden sind. Aus der Lösung von Frasn-Kalkstein, entlang derer die Thermalwässer aufsteigen, kann unter anderem auch das Calcium abgeleitet werden.

Die aufgeschlossenen Frasn-Kalksteine in der Landesbadquelle, entlang derer die Thermalwässer aufsteigen, weisen Calcitgänge und subrezente Sinteranwachssäume auf, die unterschiedlichen Fluidflussgenerationen angehören und durch unterschiedliche Prozessen gebildet wurden. Die Calcitgänge in den Frasn-Kalksteinen sind keine Präzipitate, die durch rezente Fluide ausgeschieden wurden. Ihre Genese ist nicht mit den subrezenten Quellsintern und den Thermalwässern von Aachen und Burtscheid vergleichbar. Anhand der Geometrie der deformierten Zwillinglamellen im Calcit der Gänge können Temperaturaussagen getroffen werden (Ferril, 1991; Burkhard, 1993) (Abb.4.56). Die sich überschneidenden und zum Teil gebogenen Lamellen deuten auf Temperaturen $>200^{\circ}\text{C}$ (Typ III) (Burkhard, 1993). Die subrezenten Sinteranwachssäume (Probe Cc2 (TWD1)) hingegen sind ein Ausscheidungsprodukt der Thermalwässer, die in der Landesbadquelle bei einer Temperatur zwischen $60,7\text{--}73,7^{\circ}\text{C}$ austreten. Diese Temperatur ist somit auch wahrscheinlich die Bildungstemperatur der Sinter. Der erhöhte SrO-Gehalt in den subrezenten Sinteranwachssäumen ist durch chemische Ausfällung aus den Thermalwässern zu erklären.

Die Verteilungsmuster der SEE der subrezenten Sinteranwachssäume aus Burtscheid (Landesbadquelle) und aus Aachen (Römische Quelfassung) sind ähnlich denen der Calcitgänge in den Frasn-Kalksteinen. Diese wiederum spiegeln das SEE-Muster des Frasn-Kalksteins. Man kann damit auf ähnliche Transportwege der hydrothermalen

Lösungen schließen (Bau & Möller, 1991). Alle Proben weisen eine negative Europium-Anomalie auf. Es liegt daher die Interpretation nahe, dass sich die SEE-Verteilungsmuster konsequent aus dem Kalkstein über Lösungen in Ausfällungsprodukte, sowohl Calcitgänge als auch subrezente bis rezente Sinter fortsetzen.

Die Sr-Isotopien der subrezentten Sinterbildungen ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,71600\pm 1$ bis $0,71615\pm 1$) fallen in den Bereich der Sr-Signaturen der Aachener und Burtscheider Thermalwässer ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}=0,71602\pm 1$ bis $0,71618\pm 1$). Die Gangcalcite im Frasn-Kalkstein weisen niedrigere $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisse auf. Sie sind allerdings ähnlich denen des HCl-löslichen Anteils des Nebengesteins. Während demnach die Calcitgänge in den Frasn-Kalksteinen als lokales Produkt aus dem Nebengestein interpretiert werden müssen, rekrutieren sich die Lösungsinhalte der rezenten Wässer aus anderen Quellen oder stellen eine Mischisotopie dar. Hier ist die Sr-Isotopeninformation sicher aussagekräftiger als die SEE-Muster.

Isotopensignaturen erlauben die Rekonstruktion verschiedener Interaktionsvorgänge zwischen Festkörpern und fluiden Phasen unter der Voraussetzung, dass die interagierenden Stoffe primär unterschiedliche Signaturen aufweisen. Die Sr- und Pb-Isotopenverhältnisse der Aachener und Burtscheider Thermalwässer ermöglichen es eventuelle Einzugsgebiete, Transportwege und geochemische Prozesse zu verstehen. Somit kann das bestehende Bild (Pommerening, 1993; Herch, 1997) der Herkunft und der Laufwege der Thermalwässer ergänzt werden zu Abbildung.5.5.

Die Geochemie der Wässer spiegelt unter Einbeziehung der neuen Isotopenuntersuchungen eine Mischung von unterschiedlichen Grundwässern wider, die sich an Lösungs- und Ausfällungsprozessen im Rahmen von Wasser-Gestein-Reaktionen beteiligt haben. Beiträge zur Geochemie der Thermalwässer aus verschiedenen lithologischen Einheiten und geochemischen Prozessen, die die Laufwege der rezenten Thermalwässer widerspiegeln, werden im Folgenden diskutiert. Hierbei sollen die Isotopenzusammensetzungen von Sr und Pb in den Vordergrund gestellt werden.

Als Quelle für die Sr-Gehalte der Thermalwässer kommen prinzipiell paläozoische Evaporite, Karbonatgesteine und Siliziklastite in Betracht. Evaporite waren im Untergrund des Aachener Raumes bisher unbekannt, obwohl es Hinweise auf Halit durch Pseudomorphosen im Aachener Kohlenkalk gibt (Krahn et al., 1986). Westlich von Aachen wird der evaporitische Charakter der Sedimente des Unterkarbon deutlicher.

Kramm & Bless (1986) haben Anhydrit, Calcit und Coelestin aus dem Visé (Unterkarbon) von St.-Ghislain/Belgien untersucht. Das ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)-Verhältnis liegt für diesen Anhydrit bei 0,70752 bis 0,70796, für Calcit bei 0,70764 bis 0,70773 und für Coelestin bei 0,07076. Diese Werte deuten auf die Bildung von Karbon-Evaporiten aus Meerwasser (Burke et al., 1992) östlich der Brabanter Massivs hin (Kramm & Bless, 1986).

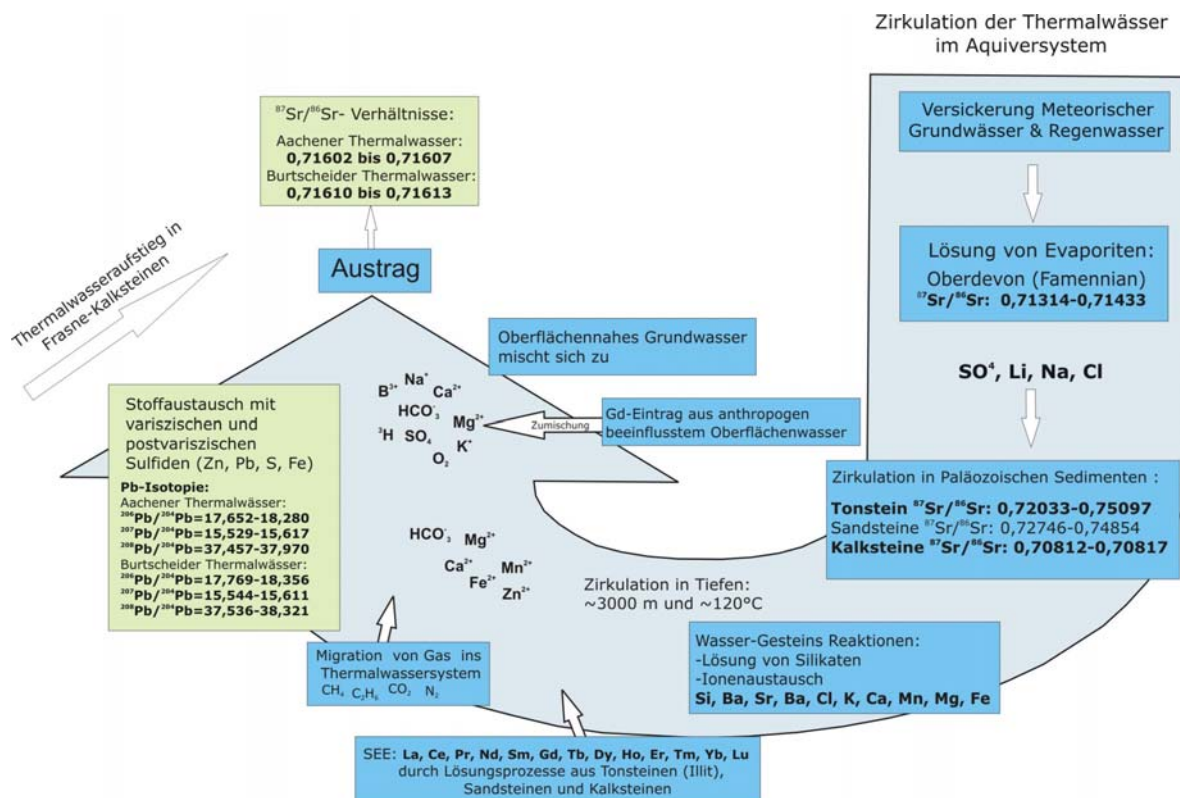


Abb.5.5: Schematische Darstellung der Beiträge aus verschiedenen lithologischen Einheiten und geochemischen Prozessen, die zur Zusammensetzung der Aachener und Burtscheider Thermalwässer führen. Das genetische Modell von Pommerening (1993) und Herch (1997) wurde mit eigenen Daten im Rahmen dieser Arbeit erweitert (gekennzeichnet mit hervorgehobener Schrift).

In Kernproben der RWTH-1 Bohrung wurden Anhydrit/Coelestin/Baryt-Konkretionen in oberdevonischen Kalksteinen (Famennian) erbohrt. Diese weisen Sr-Signaturen von $0,71314 \pm 1$ und $0,71433 \pm 1$ auf. Ähnliche $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Signaturen haben Calcitgänge ($0,71318 \pm 1$) in devonischen Gesteinsschichten der Bohrung. ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)-Verhältnisse von Anhydrit aus dem Zechstein (Perm) variieren von 0,70691 bis 0,70776 (Kramm & Wedepohl, 1990), sind demnach also deutlich geringer radiogen als die "Evaporit-Zeugnisse" der RWTH-1 Bohrung und die Aachener und Burtscheider Thermalquellen ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} = 0,71602 \pm 1$ bis $0,71618 \pm 1$). Die Aachener Thermalwasser- Sr- Signaturen sind deutlich höher radiogen als Meerwasserstrontium für den gesamten Verlauf des Phanerozoikums.

Von den paläozoischen Sedimentgesteinen in der Nordeifel weisen Ton- Silt- und Sandsteine hohe Strontium/Kalzium-Verhältnisse auf. Es ist daher wahrscheinlich, dass das Strontium während der Untergrundpassage des Thermalwassers auch aus Ton-Siltgesteinen ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis: 0,72033 bis 0,75097) und Sandsteinen ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis: 0,72746-0,74854) gelöst wird. Diese ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$)-Verhältnisse stammen zum Teil aus eigener Arbeit, zum Teil aus den Arbeiten von Brauns (1995) und Beiss (2008).

Untersuchungen der Pb-Isotopien der rezenten Thermalwässer und subrezenten Sinterbildungen von Aachen und Burtscheid zeigen ein starkes Streuen der Signaturen (Abb.5.5; Abb.5.6). Das weite Spektrum kann als Komponenten-Mischung unterschiedlicher Pb-Quellen erklärt werden. Vergleicht man die Signaturen der Thermalwässer und Sinterbildungen mit Signaturen von variszischen und postvariszischen Sulfiden aus dem Raum Aachen-Stolberg-Kelmis, so ist es wahrscheinlich, dass das Pb aus der Reaktion mit variszischen und postvariszischen Sulfidvorkommen stammt. Die in Abbildung 5.6 eingezeichneten Felder A und B kennzeichnen Pb-Signaturen von postvariszischen und variszischen Buntmetallvererzungen aus der Nordeifel (Large et al., 1983; Krahn, 1988; Redecke, 1992; Schneider, 1994). Die Pb-Signaturen der Thermalwässer überschneiden diese beiden Felder und zeigen zum Teil auch Signaturen, die mit den variszischen und postvariszischen Erzvorkommen übereinstimmen (Abb.5.6). Somit kann man auf eine Remobilisierung und Mischung des Bleis innerhalb des hydrothermalen Systems schließen. Die in Abb.5.6 dargestellten Pb-Isotopien der Thermalwässer und der variszischen und postvariszischen Vererzungen, die im Rahmen dieser Arbeit gewonnen wurden, liegen größtenteils zwischen den Entwicklungskurven durchschnittlichen Krustenbleis nach Stacey & Kramers (1975, „SK“) und Cumming & Richards (1975, „CR“) oder in ihrer unmittelbarer Nähe. Dies spricht für eine krustale Herkunft des Bleis aller untersuchten Vorkommen.

Die niedrigen Pb-Signaturen können (auch) durch eine Kontamination der Wässer aus den austretenden Ringkanälen als anthropogene Kontamination erklärt werden.

Mit den neuen Sr- und Pb-Isotopendaten erweitert sich das in den letzten Jahren insbesondere durch Herch (1997) und Pommerenig (1993) entworfene Genese und Entwicklungsbild für die Aachener und Burtscheider Thermalquellen (Abb.5.5).

Durch die Tiefenzirkulation erfährt das Aachener und Burtscheider Thermalwasser eine Aufheizung auf über 120°C, wie die Berechnungen von Herch (1997) zeigen. Die hohen Temperaturen, der Druck in großen Tiefen und die lange Verweilzeit lassen im „Reservoir“ zahlreiche Wasser-Gesteins-Reaktionen erwarten, unter anderem die Lösung von Silikaten und Ionenaustauschprozesse. Das Thermalwasser steigt dann aus dem Reservoir in den Frasn-Kalkstein im Hangenden der Überschiebungsbahnen der Eifeldecke auf. Die Frasn-Kalksteine sind durch die Überschiebung vermutlich stärker gestört und stellen eine Schwächezone im Gebirgsbau da. Somit wird ein bevorzugter Thermalwasseraufstieg längs der Kalksteine ermöglicht. Durch die Verschuppung an der Deckenfront spaltet sich in ca. 2 km Tiefe der Burtscheider Kalkzug vom Aachener Kalkzug ab. Dadurch ist der Aufstiegsweg des Burtscheider Thermalwassers rund 1,5 km kürzer als der des Aachener Thermalwassers (Pommerenig 1993; Herch 1997). Während des Aufstiegs kühlt das Thermalwasser ab.

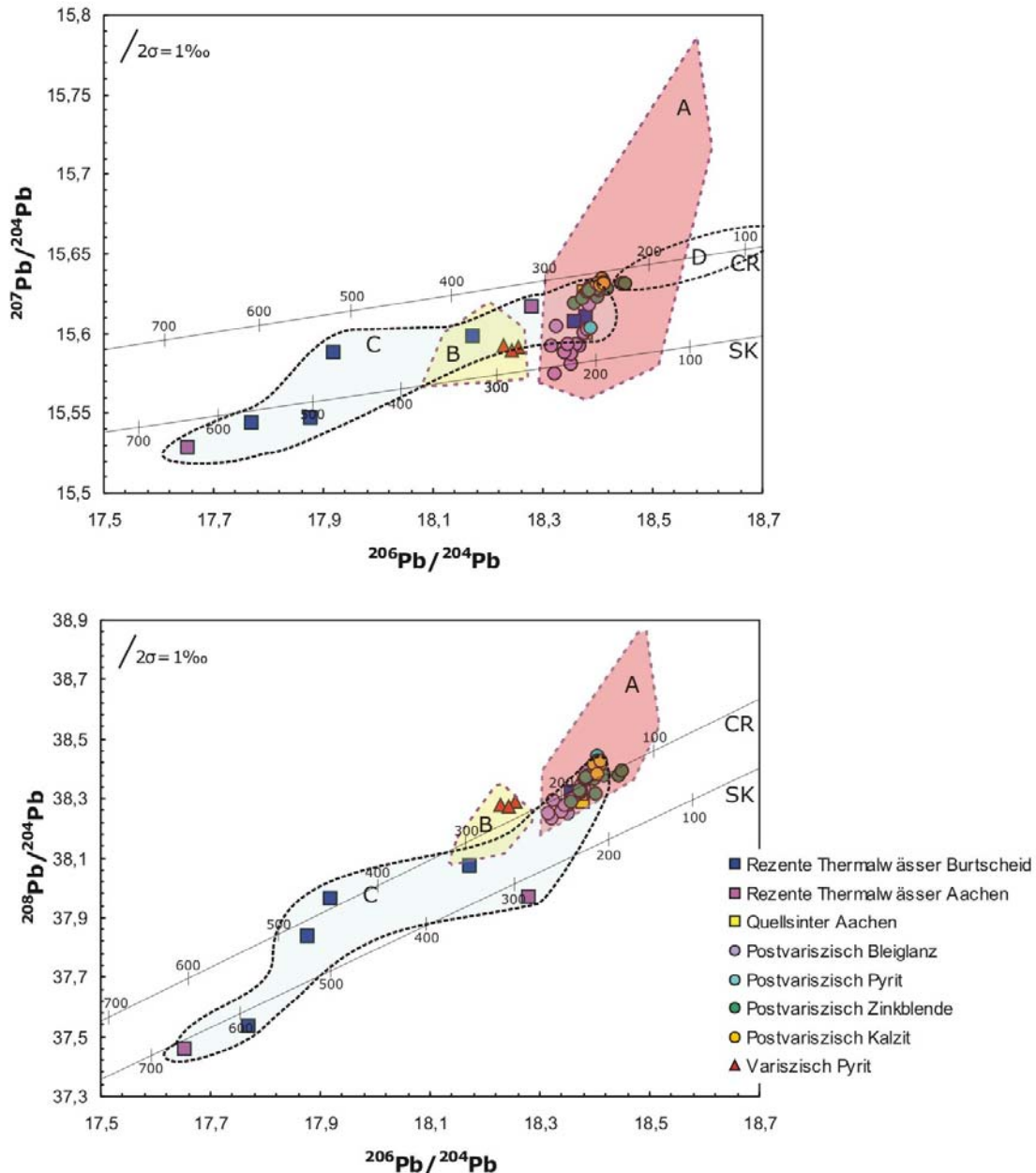


Abb.5.6: $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Darstellung von variszischen und postvariszischen Sulfiden, Karbonaten und Thermalwässern (Feld C) aus der Nordeifel. Literaturwerte für variszische (Feld B) und postvariszische (Feld A) Mineralisationen der Nordeifel nach Large et al. (1983), Krahn (1988), Redecke (1992), Schneider (1994) und Signaturen von devonischen und karbonischen Sedimentgesteinen der Nordeifel (Feld D), zurückgerechnet auf 180 Ma nach Schneider (1994).

Dadurch wird die Calcitsättigung im Thermalwasser unterschritten und durch Karbonatlösung aus dem Kalkstein des Aquifers selbst ausgeglichen (Herch, 1997). Durch den längeren Aufstiegsweg der Wässer im Aachener Quellenzug wird das Thermalwasser hier stärker abgekühlt und damit die Karbonatlösung gegenüber dem Burtscheider Kalkzug verstärkt (Herch, 1997). Somit lässt sich eventuell auch die geringe Varianz der Sr-Signaturen zwischen den Aachener und Burtscheider Thermalwässern erklären. Des Weiteren erfolgt beim Aufstieg über Querstörungen die Migration von Gasen (CH_4 , C_2H_6 ,

CO₂, N₂) aus den benachbarten Kohleflözen in das Thermalwassersystem (Herch, 1997). Schließlich mischt sich dem Thermalwasser oberflächennahes Grundwasser zu, wobei dieses Grundwasser selbst bereits einen Austausch von Erdalkali-Ionen aus dem Wasser gegen Alkali-Ionen aus dem Gestein erfahren hat.

Hinsichtlich seines Ursprungs lässt sich das Aachener und Burtscheider Thermalwasser auf meteorische Wässer zurückführen, was durch die Verteilung der stabilen Isotope von Sauerstoff und Wasserstoff belegt wird (Herch, 1997).

Das komplexe Genese-Schema lässt deutlich werden, dass es trotz der neuen Sr- und Pb-Signaturen der Thermalwässer immer noch schwierig ist, die einzelnen Prozesse zu differenzieren und zu quantifizieren.

6. LITERATURVERZEICHNIS

- Ahrendt, H.; Hunziker, J.C. & Weber, K. (1978).** "K/Ar-Altersbestimmung an schwachmetamorphen Gesteinen des Rheinischen Schiefergebirges", Z. Dt. Geol. Ges., 129: S. 229 – 247, Hannover.
- Ahrendt, H., Clauer, N., Hunzicker, J.C. & Weber, K. (1983).** Migration of Folding and Metamorphism in the Rheinische Schiefergebirge deduced from K-Ar and Rb-Sr Age Determinations. In: Intracontinental Fold Belts. Edited by H. Martin and F.W. Eder. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Anovitz, L.M., Essene, E.J. (1987).** Phase Equilibria in the System $\text{CaCO}_3\text{-MgCO}_3\text{-FeCO}_3$. J. Petrol. 28, 384-414.
- Barker, A.J. & Fallick, A.E., (1989).** Evidence from Lewisian limestones for isotopically heavy carbon in two-thousand-million-year-old sea water. Nature, 337, 352-354.
- Barker, C. E. & Kopp, O.C. (1991).** Luminescence Microscopy and Spectroscopy. Qualitative and Quantitative Applications. SEPM Soc.Sediment. Geol., Short Course Notes, 25, 1-195.
- Barker, C.E., & Pawlewicz, M.J. (1994).** Calculation of Vitrinite Reflectance from Thermal Histories and Peak Temperatures. A comparison of Methods. – P.K. Mukhopadhyay & W.G. Dow (Eds.); Vitrinite reflectance as a maturity parameter: applications and limitations. – ACS Symposium Series 570: 216-229.
- Barnes, H.L. (1979).** Solubilities of ore minerals. In: Barnes, H. L. (ed.): Geochemistry of hydrothermal ore deposits: John Wiley and Sons. S. 404-508.
- Barton, P.B. Jr., Bethke, P.M. & Toulmin, P. III. (1963).** Equilibrium in ore deposits: Min. Soc. Am., Spec. Paper No. 1, 171-185.
- Bau, M. & Möller, P. (1991).** REE systematics as source of information on minerogenesis.- In: Pagel & Leroy (eds.) Source, Transport and Deposition of Metals, 17-20, Balkema, Rotterdam.
- Bau, M. & Möller, P. (1992).** Rare earth element fractionation in metamorphogenic hydrothermal calcite, magnesite and siderite. Mineralogy and Petrology 45, 231-246.
- Beales, F.W., & Hardy, J. W. (1980).** Criteria for the recognition of diverse dolomite types with emphasis on studies of host rocks for Mississippi-Valley-Type ore deposits. In: D.H. Zenger, J.B. Dunham & R.L. Ethington (eds). Concept and Models of Dolomitisation, Soc. Econ. Paleont. Mineral., Spec. Publ., 28, 197-213.
- Becker, S. (2008).** The Aachen fold and thrust belt: an integration of surface geology, reflection seismics and new subsurface data of the well RWTH-1. Diplomarbeit, RWTH-Aachen.
- Behr, H.J. & Gerler, J. (1987).** Inclusions of sedimentary brines in post-variscan mineralizations in the Federal Republic of Germany: a study by neutron activation.- Chem. Geol., 61: 65-77, 5 Abb., 1 Tab.; Amsterdam.

- Behr, H.-J., Horn, E.E., Frenzel-Beyme, K., & Reutel, C. (1987).** Fluid Inclusion characteristics of the variscan and post-variscan mineralizing fluids in the Federal Republic of Germany.- Chem. Geol., 61, 273-285.
- Behr, H. J., Gerler, J., Hein, U. F. & Reutel, C. J., (1993).** Tectonic Brines und Basement Brines in den mitteleuropäischen Varisziden: Herkunft, metallogenetische Bedeutung und geologische Aktivität. Goettinger Arb. Geol. Paläont., 58, 3-28.
- Beiss, V. (2008).** Mineralchemische und Rb-Sr isotopengeochemische Untersuchungen an Chloriten auf Klüften der RWTH-1 Bohrung. Diplomarbeit RWTH Aachen. Unveröffentlicht.
- Bernoulli, D. & Lemoine, M. (1980).** Birth and early evolution of the Tethys: The overall situation. 26e Congr. Geol. Internat. Paris, C5: 215-223, 4 Abb.; Paris.
- Bielicki, K.H., & Tischendorf, G., (1991).** Lead isotope and Pb-Pb model age determinations of ores from Central Europe and their metallogenetic interpretation: Contributions to Mineralogy and Petrology, v. 106, p. 440-461.
- Birck (1986).** Precision K-Rb-Sr isotopic analysis: Application to Rb-Sr chronology. Chem. Geol. 56, 73-83.
- Bless, M.J.M. (1987).** Summary of Geology and hydrogeology of Thermae boreholes (South Limburg, The Netherlands).- Ann- Soc. geol. belge., 100, 97-99.
- Boness, M., Haack, U., and Feldmann, K.H., (1990).** Rb/Sr-Datierung der hydrothermalen Pb-Zn-Vererzung von Bad Grund (Harz), BRD: Chemie der Erde, v. 50, p. 1-25.
- Bonhomme, M.G., Bühmann, D. & Besnus, Y. (1983).** Reliability of K/Ar dating of clays and silifications associated with vein mineralizations in Western Europe. Geol Rundsch. 72, 105-117.
- Bostick, N.H. (1979).** Microscopic measurement of the level of catagenesis of solid organic matter in sedimentary rocks to aid exploration for petroleum and to determine former burial temperatures -- a review, in P.A. Scholle and P.R. Schluger, eds., Aspects of diagenesis: SEMP Special Publication 26, p. 17-43.
- Brannon, J.C., Podosek, F.A. & Cole, S.C. (1996).** Radiometric dating of Mississippi Valley-type ore deposits. Society of Economic Geologists, Special Publication No.4, 1996, p. 536-545.
- Brannon, J.C., Podosek, F.A. & McLimans, R.K., (1992).** Alleghenian age of the Upper Mississippi Valley zinc-lead deposit determined by Rb-Sr dating of sphalerite: Nature, v. 356, p. 509-511.
- Brauns (1995).** Isotopenuntersuchungen an Erzen des Siegerlandes. Dissertation, Universität Gießen, 145 S.
- Breddin, H. (1963).** Neue Erkenntnisse zu den Aachener Thermalquellen. Geol. Mitt. 1: 211-238, 6 Abb, 2 Texttafel.; Aachen.
- Brett, P.R. (1963).** Experimental data from the system Cu-Fe-S and their bearing on exsolution textures and reaction rates in ores: PhD thesis, Harvard University.

- Bryndzia, T., Scott, S.D. & Spry, P.G. (1988).** Sphalerite and hexagonal pyrrhotite geobarometer: Experimental calibration and application to the metamorphosed sulfide ores of Broken Hill, Australia.- *Econ. Geol.*, 83, 1193-1204.
- Burke, W. H., Denison, R.E, Hetherington, E.A., Koepnick, R.B., Nelson, N.F., and Otto, J.B. (1982).** Variation of seawater $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ throughout Phanerozoic time. *Geology*, 10, 516-519.
- Burkhard, M. (1993).** Calcite twins, their geometry, appearance and significance as stress-strain markers indicates of tectonic regimes: a review. *J. Struc: Geol.*, 15: 351-368.
- Cartwright, I. & Buick, I.S. (2000).** Fluid generation, vein formation and the degree of fluid-rock interaction during decompression of high-pressure terranes: the Schists Lustrés, Alpine Corsica, France. *Journal of Metamorphic Geology*, 18, p. 607-624.
- Cauet, S., & Weis, D., (1983).** Lead isotope study of lead-zinc mineralization and its host sediments, Heure, Belgium: Basis for a genetic model: *Economic Geology*, v. 78, p. 1011-1016.
- Cauet, S., Weis, D., & Herbosch, A., (1982).** Genetic study of Belgian lead-zinc mineralisations in carbonate environments through lead isotopic geochemistry: Bureau de Recherches Géologiques et Minières, Bulletin sec. II, v. 4, p. 329-241.
- Chace, F.M. (1956).** Abbreviations in field and mine geological mapping. *Economic Geology*, vol. 51, p.712-723.
- Chang, L.L.Y., Howie, R.A. & Zussmann, J. (1996).** Rock-forming minerals. Vol. 5B Non-silicates: Sulphates, Carbonates, Phosphates, Halides. 2. Aufl., Longman, Essex, 383 S.
- Chatelineau, M. & Nieva, D. (1985).** A chlorite solid solution geothermometer. The Los Azufres (Maxoco) geothermal system. *Contrib. Mineral. Petrol.*, 91, 235-244.
- Chatelineau, M. (1988).** Cation site occupancy in chlorites and illites as a function of temperature.- *Clay Minerals*, 23, 471-485.
- Chatziliadou, M. et al., (2005).** Spurenelementverteilung in Gesteinen der RWTH-1 Bohrung, Aachen. *Berichte der Deutschen Mineralogischen Gesellschaft, Beih. Z. Eur. J. Mineral.* Vol. 17, No. 1.
- Christensen, J. N., Halliday, A. N., Vearncombe, J. R. & Kesler, S. E. (1995a).** Testing models of large-scale crustal fluid flow using direct dating of sulfides: Rb-Sr evidence for early dewatering and formation of Mississippi Valley-type deposits, Canning Basin, Australia. *Econ. Geol.* 90: 877-884.
- Christensen, J. N., Halliday, A. N., Leigh, K. E., Randell, R.N. & Kesler, S.E. (1995b).** Direct dating of sulfides by Rb-Sr: A critical test using the Polaris Mississippi Valley-type Zn-Pb deposit. *Geochim. Cosmochim. Acta* 59: 5191-5197.
- Cumming, G.L. & Richards, J.R. (1975).** Ore Lead Isotope Ratios in a Continuously Changing Earth, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 28, 155-171, Elsevier, Amsterdam.

- Deer, W.A., Howie, R.A. & Zussman, J. (1992).** An introduction to the rock-forming minerals.- 2nd ed., 698 S., Addison Wesley Longman Limited, Essex, England.
- DEKORP-Research-Group (1991).** Results of the DEKORP1 (Belcorp-Decorp) deep seismic reflection studies in the western part of the Rheinisch Massif.- *Geophys. J. Int.*, 106, 203-227.
- Deniel, C. & Pin, C. (2001).** Single-stage method for the simultaneous isolation of lead and strontium from silicate samples for isotopic measurements. *Analytica Chimica Acta* 426, 95-103.
- De la Roche, H., Leterrier, J., Grande Claude, P. & Marchal, M. (1980).** A classification of volcanic and plutonic rocks using R1-R2 diagrams and major element analyses- its relationship and current nomenclature. *Chem. Geol.*, 29, pp. 183-210.
- Erlinghagen, K.P. (1989).** Fluid inclusion studies of siderite lodes of the Siegerland-Wied District (Rheinisches Schiefergebirge), FRG.- *N. Jb. Min. Mh.*, 1989: 557-567, 2 Abb., 3 Tab.; Stuttgart.
- Etoundi, Y. (2005).** Tonmineralogische Untersuchungen an Material der RWTH-1 Bohrung. Diplomarbeit, RWTH-Aachen.
- Faure, G. (1998).** Principles and Applications of Geochemistry. Prentice-Hall, Inc. Simon & Schuster/AViacom Company Upper Saddle River, New Jersey 07458.
- Ferill, D.A. (1991).** Calcite twin widths and intensities as metamorphic indicators in natural low-temperature deformation of limestone. *Journal of Structural Geology* 13, pp. 667-675.
- Field, C.W. & Ficarek, R.H., (1986).** Light stable isotope systematics in the epithermal environment. In: Berger, B.R. and Bethke, P.M. (eds), *Geology and geochemistry of epithermal systems*. Society of Economic Geologists, *Rev. Econ. Geol.*, 2, 99-128.
- Folk, R.L. (1959).** Practical petrographic classification of limestones. *Bull. Am. Ass. Petrol. Geol.* 43, 1-38.
- Friedmann, I. & O'Neil, J.R. (1977).** Compilation of stable isotope fractionation factors of geochemical interest.- *U.S.G.S. Prof. Pap.*, 440-KK, 12 S.
- Friedrich, G. & Kulms, M. (1974).** Geochemische Untersuchungen im Bereich der Blei-Zinkerz-Lagerstätte Maubach/Nordeifel, Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2395, 27 S., Westdeutscher Verlag Düsseldorf.
- Friedrich, G., Scheps, V., Keyssner, S., Vogtmann, J., Vogtmann, R., Krahn, L. & Sängers v. Oepen, P. (1986).** Untersuchungen lagerstättenhöffiger Bereiche in der nördlichen Eifel durch Aufschlussbohrungen der Dolomite.- *Geol. Rdschau*, 55, 29-40.
- Friedrich, G., Bless, M.J.M., Vogtmann, J. & Wiechowski, A. (1987).** Lead-zinc mineralization in Dinantian rocks of boreholes Thermae 2000 and Thermae 2002 (Valkenburg a/d Geul, the Netherlands).- In: M.J.M Bless, J. Bouckaert, H.R. Langguth & M. Streef (eds): *Upper cretaceous and dinantian geology and hydrogeology of the Thermae boreholes of Valkenburg aan de Geul (South-Limburg, the Netherlands)*, 59-76.

- Germann, A., Jochum, J., Friedrich, G., and Horsfield, B., (1995).** The sandstone-hosted lead-zinc deposits of Maubach/Mechernich - a case history of thermochemical sulfate reduction, in Pasava, J., Kribek, B., and Zak, K., eds., 3rd Biennial SGA Meeting: Mineral deposits: From their origin to their environmental impacts: Prague, p. 743-746.
- Germann, A. & Friedrich, G. (1999).** Structurally controlled Post-Variscan basemetal mineralisation in Paleozoic and Mesozoic sedimentary rocks of the NW Eifel. Zeitschrift der Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften. Band 150, Heft 3, (10 fig., 4 tab.) 208 S.
- Geukens, F. (1957).** Contribution à l'étude de la partie Nord-Ouest du massif cambrien de Stavelot.- Mém. Inst. géol. Univ. Lounain, 16: 79-170; Louvain.
- Glasbergen, P., (1985).** The origin of groundwater in Carboniferous and Devonian aquifers at Maastricht.- Geologie en Mijnbouw 64: S. 123-129.
- Glasmacher, U., (1994).** Variscan and Postvariscan fluid systems and thermal history in the northern part of the Linksrheinisches Schiefergebirge, Glasmacher, U. Journal of the Czech Geological Society, 39, 37-38
- Glasmacher, U., Walter, R., Wolf, M. (1995).** Ergebnisse der Untersuchungen des KW-Potential, am Nordrand des Linksrheinischen Schiefergebirges. BMFT Endbericht Teil I, 33-48.
- Glasmacher, U., & Zentilli, M. (1995).** Apatit Fission Track Thermochronologie paläozoischer Sandsteine und der Hill-Intrusion. In: Walter, R., Glasmacher, U. & Wolf, F. (eds): KW-relevante Eigenschaften potentieller Mutter- und Speichergesteine am Nordrand des Linksrheinischen Schiefergebirges, Endbericht IV, 21-34, Aachen.
- Glasmacher, U. Tschernoster, R., Clauer, N. & Spaeth, G. (2001).** K-Ar dating of magmatic sericite crystallites for determination of cooling paths of metamorphic overprints. Chemical Geology 175, 673-687.
- Goldstein, R.H., Reynolds, T.J. (1994).** Systematics of Fluid Inclusions in Diagenetic Minerals. SEPM Short Course 31. SEPM (Society of Sedimentary Geology).
- Goldstein, R. H. (2001).** Fluid inclusions in sedimentary and diagenetic systems, Lithos, v. 55, 159-193.
- Gussone, R., (1964).** Untersuchungen und Betrachtungen zur Paragenese und Genesis der Blei-Zink-Erzlagerstätten im Raume Aachen-Stolberg [PhD thesis]: Aachen, RWTH Aachen.
- Haack, U. & Lauterjung, J. (1993).** Rb/Sr Dating of hydrothermal overprint in Bad Grund by mixing lines.- In: Möller, P. & Lüders, V. (Hrsg.) (1993), S. 103-113, 4 Abb., 2 Tab.; Stuttgart.
- Hagedorn, B. & Lippolt, H.J. (1993).** Isotopic age constraints for epigenetic mineralizations in the Harz mountains (Germany) from K-Ar, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ and Rb-Sr data of authigenic K-feldspars.- In: Möller, P. & Lüders, V. (Hrsg.) (1993), S87-102, 3 Abb., 6 Tab.; Berlin-Stuttgart.

- Hein, U.F. (1993).** synmetamorphic Variscan siderite mineralization of the Rheinisch Massif, Central Europe. - Mineral. Mag., 57: 451-457, 10 Abb., 3 Tab.; London.
- Hein, U.F. & Behr, H. (1994).** Lagerstättenbildung durch Tectonic Brines- Überprüfung eines Modells syrogener variskischer Vererzungen Mitteleuropas.- Ber. Dt. Min. Ges., Beih. Europ. J. Min., 6 (1): 356; Stuttgart.
- Herch, A. (1997).** Untersuchungen zur Hydrogeochemischen Charakteristik der Spurenelemente und Schwefelspezies im Aachener Thermalwasser (PhD thesis): Aachen, RWTH-Aachen.
- Herron, M.M. (1988).** Geochemical classification of terrigenous sands and shales from core or log data. J. Sed. Petrol., 58, 820-829.
- Hey, M.H. (1954).** A review of chlorites.- Min. Mag., 30, S., 277-292.
- Hilgers, C. & Urai, J. (2002).** Microstructural observations on natural syntectonic fibrous veins: implications for the growth process.
- Hoefs, J. (1987).** Stable Isotope Geochemistry.- 3. Aufl., 241 S., Springer. Hollister, L.S. & Crawford, M.L. (1981). Short Course in Fluid Inclusions: Application to Petrology.- Miner. Assoc. Can., 304 S.
- Hollister, L.S., & Crawford, M.L. (1981).** Short Course in Fluid Inclusions: Applications to Petrology.- Miner. Assoc. Can., 304 S.
- Hudson, J.D. (1977).** Stable isotopes and limestone lithification. J. Geol. Soc. Lond., 133, 637-660.
- Hutchinson, M.N. & Scott, S.D. (1980).** Sphalerite geobarometry in the Cu-Zn-S system.- Econ. Geol., 76, S. 8-25.
- Jakobus, R. (1992).** Die Erzgänge des östlichen Taunus. Geol. Jb. Hessen, 120: 145-160, 2 Abb., 3 Tab.; Wiesbaden.
- Jochum, J., Friedrich, G., Germann, A., Pickel, W., Horsfield, B. & Leistner, F. (1994).** Kohlenwasserstoff in Erzmineralen der Lagerstätten im Triasdreieck, Eifel-Herkunft und möglicher Einfluss auf die Lagerstättenbildung.- Ber. Dt. Min. Ges., Beih. z. Eur. Journ. Mineral., 6, 1: 361, 1 Abb.; Stuttgart.
- Jochum, J., Horsfield, B. & Bechtel, A. (1997).** Kohlenwasserstoffe in variskischer und postvariskischer Buntmetallmineralisation der Rheinischen Schiefergebirges - Herkunft und Einfluss auf die Lagerstättenbildung. -Ber. Dt. Min. Ges., Beih. z. Eur. Journ. Min., 9, 1: 171, 1 Abb.; Stuttgart.
- Kasig, W. (1980).** Zur Geologie des Aachener Uterkarbons (Linksrheinisches Schiefergebirge, Deutschland). Stratigraphie, Sedimentologie und Paläographie der Aachener Kohlenkalks und seine Bedeutung für die Entwicklung der Kulturlandschaft im Aachener Raum. - Habil. Schrift RWTH-Aachen, 253 S.
- Kasig, W. & Wilder, H. (1983).** The Sedimentary Development of the Western Rheinisches Schiefergebirge and the Ardennes (Germany-Belgium).- Intracontinental Fold Belts, 185-209.

- Kerridge, J.F. (1985).** Carbon, hydrogen and nitrogen in carbonaceous chondrites: abundances and isotopic compositions in bulk samples. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 49, 1707-1714.
- Knapp, G., (1980).** Erläuterungen zur Geologischen Karte der nördlichen Eifel 1:100000: Krefeld, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, 155 p.
- Krahn, L., Friedrich, G., Gussone, R. & Scheps, V. (1986).** Zur Blei-Zink-Vererzung in Karbonatgesteinen des Aachen-Stolberger Raums.- In: *Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf.* 34, 133-157.
- Krahn, L., (1988).** Buntmetall-Vererzung und Blei-Isotopie im Linksrheinischen Schiefergebirge und in angrenzenden Gebieten [PhD thesis]: Aachen, RWTH Aachen.
- Krahn, L. & Friedrich, G. (1991).** Zur Genese der Buntmetall-Vererzung im westlichen Rheinischen Schiefergebirge.- *Erzmetall*, 44 (1): 23-29, 10 Abb., 7 Tab.; Weinheim.
- Krahn, L. & Baumann, A. (1996).** Lead isotope systematics of epigenetic lead-zinc mineralization in the western part of the Rheinisches Schiefergebirge, Germany.- *Mineral. Deposita*, 31: 225-237, 7 Abb., 7 Tab.; Berlin-Heidelberg.
- Kramm, U. & Buhl, D. (1985).** U-Pb Zircon dating of the Hill Tonalite, Venn-Stavelot massif, Ardennes.- *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 171, 329-337.
- Kramm, U., Buhl, D. & Chernyshev, I.V. (1985a).** Caledonian or Variscan Metamorphism in the Venn-Stavelot-Massif, Ardennes? arguments from a K-Ar and Rb-Sr Study.- *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 171 (1-3): 339-349; Stuttgart.
- Kramm, U., Spaeth, G. & Wolf, M (1985b).** Variscan Metamorphism in the NE Stavelot-Venn Massif, Ardennes: A new Approach to the Question of Regional Dynamothermal or Contact Metamorphism- *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 171 (1-3): 311-227; Stuttgart.
- Kramm, U. & Bless M. J. M. (1986).** Sr Isotopic Analysis of Anhydrites and Pseudomorphs of Calcite after Anhydrite from Viesean Rocks of Heugem (South Limburg, Netherlands) and St-Ghislain (SW Belgium).- *Annales de la Société géologique de Belgique*, T. 109- 1986, 603-607.
- Kramm, U. & Wedepohl, K.H. (1991).** The isotopic composition of strontium and sulfur in seawater of Late Permian (Zechstein) age. *Chemical Geology*, 90, 253-262. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam.
- Kretz, R. (1983).** Symbols for rock-forming minerals. *American Mineralogist*, vol.68, pp. 277-279.
- Krings, S. & Langguth, H-R. (1987).** Hydrogeology of the Thermae borehole (Valkenburg a/d Geul, the Netherlands).- *Annales de la Société géologique de Belgique*, 110, 85-95.
- Kullerud, G., (1961).** The Fe-Ni-S-system. The Cu-Ni-S-system. The Fe-Mo-S-system.- *Wash. Yearbook, Carnegie Inst.*, 59, 144-152.
- Lancelot, Y. (1980).** Birth and evolution of the "Atlantic Tethys" (Central North Atlantic).- 26e Congr. Geol. Internat. Paris, C5: 215-223, 4 Abb.:Paris.

- Land, L.S. (1980).** The isotopic and trace element geochemistry of dolomite: the state of the art.- Spec. Publ. Soc. econ. Paleont. Miner., 28, 87-110.
- Large, D., Schaeffer, R. & Höhndorf, A. (1983).** Lead Isotope Data from Selected Galena Occurrences in the North Eifel and North Sauerland, Germany, Mineral. Deposita, 18, 235-243, Berlin.
- Lögering, M.J.; Kolb, J. & Meyer, F.M (2006).** Paläofluide in hydrothermalen Klüftfüllungen und Intergranularzementen der Aachener Geothermie-Bohrung „Super C“. Laufende Dissertation.
- Lögering, M. (2008).** Fluid Evolution, vein formation and alteration associated with a low angle shear zone at the northern Varican fold-and-thrust belt in the vicinity of the Geothermic-drilling, western Germany, Dissertation, 147 S., RWTH Aachen.
- Ludwig, K.R. (2003).** User´s manual for ISOPLOT/Ex version 3.00. A geochronological toolkit for Microsoft Excel. Berkeley Geochron. Cent. Spec. Pub.1a.
- Lundershausen, S., Oesterreich, B., Ribbert, K.H. & Wrede, V. (2005).** Geothermal well "RWTH-1", Aachen-Technical aspects and first geological results.- Abstracts of the Meuse-Rhine Euregio Geologist Meeting: Alden Biesen (Belgian Limbourg), 20-21 May 2005.
- Lünenschloss, B., Bayer, U. & Muchez, P. (1997).** Coalification anomalies induced by fluid flow at the Variscan thrust front: a numerical model of the palaeotemperatures field. Geol. Mijnbouw 76: 271-275.
- Lünenschloss, B. (1998).** Modellierung der Temperatur- und Fluidgeschichte an der Variszischen Front (Verviers-Synklinorium und Nordeifel) (PhD thesis): Leuven, Katholieke Universiteit Leuven.
- McDonough, W.F. & Sun, S.S. (1995).** The composition of the Earth. Chem. Geol., 120, 223-253.
- McKenzie, H. (1991).** The dolomite problem: an outstanding controversy. In: controversies in modern geology, Mc Kenzie & Weissert (eds). Academic Press, S.37-54.
- Meyer, W. & Stets, J. (1980).** "Zur Paläogeographie von Unter- und Mitteldevon im westlichen und zentralen Rheinischen Schiefergebirge", Z. dt. Geol. Ges., 131, S. 725 – 751, Hannover.
- Meyer, W. (1986).** "Geologie der Eifel" E. Schweizerbart`sche Verlagsbuchhandlung, (Nägele u. Obermiller)-Stuttgart.
- Mitchell, J.G. & Halliday, A. N. (1976).** Extend of Triassic/Jurassic hydrothermal ore deposits on the North Atlantic margins.- Trans. Inst. Mineral. Metall. (Sect. B.: Appl. earth sci.), 85:B159-B161, 1 Abb.;London.
- Moore, C.H. (2001).** Carbonate reservoirs - porosity evolution and diagenesis in a sequence stratigraphic framework. Elsevier, 444s.

- Möhring, C., & Pommerening, J. (2000).** Zonierung und Temperaturdynamik des Grund- und Thermalwassers in Aachen und Burtscheid: Mitteilungen zur Ingenieur und Hydrogeologie, v. 76, p. 161-178.
- Möller, P., Maus, H., Gundlach, H. (1982).** Die Entwicklung von Flußspatmineralisationen im Bereich des Südschwarzwaldes.- Jb. geol. Landesamt Baden-Württ., 24, 35-70.
- Möller, P. (1983).** Lanthanoids as a geochemical probe and problems in Lanthanoid geochemistry. Distribution and behaviour of Lanthanoids in non-magmatic phases. In: S.P. Sinha (ed.) Systematics and Properties of the Lanthanoides, 561-616, Dordrecht.
- Möller, P. (1991).** REE fractionation in hydrothermal fluorite and calcite.- In: Pagel & Leroy (eds.) Source, Transport and Deposition of Metals, 91-94, Balkema, Rotterdam.
- Muchez, P., Marshall, J.D., Touret, J. L. R. & Viaene, W.A. (1994).** Origin and migration of palaeofluids in the Upper Visean of the Campine Basin, northern Belgium. Sedimentology 41, 133-145.
- Muchez, P., Slobodnik, M., Viaene, W., & Keppens, E. (1994).** Mississippi Valley-type Pb-Zn mineralization in eastern Belgium: Indications for gravity-driven flow: Geology, v. 22, p. 1011-1014.
- Muchez, P., Zhang, Y., Dejonghe, L., Viaene, W. & Keppens, E. (1998).** Evolution of paleofluids at the Variscan thrust front in eastern Belgium. Geologische Rundschau 87, 373-380.
- Muchez, P., Sintubin, M. & Swennen, R. (2000).** Origin and migration pattern of paleofluids during orogeny: discussion on the Variscides of Belgium and northern France. Journal of Geochemical Exploration, 69-70, 47-51.
- Mukherjee, A. K. (1964).** Experimental studies on suflide ores. Anal. Chem., 38, 813-821.
- Nakai, S., Halliday, A.N., Kesler, S.E. & Jones, H. D. (1990).** Rb-Sr dating of sphalerites from Tennessee and the genesis of Mississippi Valley-type ore deposits. Nature 346: 354-357.
- Nakai, S., Halliday, A.N., Kesler, S.E. & Jones, H. D., Kyle, J.R. & Lane, T. E. (1993).** Rb-Sr dating of sphalerite from Mississippi Valley-type (MVT) ore deposits. Geochim. Cosmochim. Acta 57: 417-427.
- Nierhoff, R. (1994).** Metamorphose-Entwicklung im Linksrheinischen Schiefergebirge: Metamorphosegrad und –verteilung sowie Metamorphosealter nach K-Ar-Datierungen. Aachener Geowissenschaftliche Beiträge Band 3, Aachen.
- Odin, G.S. (1994).** Geological time scale. C.R. Acad. Sci. Paris, 318, 59-71.
- Oesterreich, B., & Lundershausen, S., (2002).** Erkundungsbohrung "SuperC" des Geologischen Dienstes NRW in Aachen: Zeitschrift für Angewandte Geologie, v. 4, p. 40-41.

- Oesterreich, B.; Trautwein, U.; Lundershausen, S., (2005).** Die Geothermiebohrung „RWTH-1“. VAG Infoblatt 01/2005.
- Pechnig, R. (2005).** Auswertung der bohrlochgeophysikalischen Messungen in der RWTH-1-Möglichkeiten und Grenzen der Lithologierekonstruktion. RWTH Aachen University, E.ON Energy Research Center, Applied Geophysics and Geothermal Energy, unpublished.
- Pettke, T. & Diamond, L.W. (1995).** Rb-Sr isotopic analysis of fluid inclusions in quartz: Evaluation of bulk extraction procedures and geochronometer systematics using synthetic fluid inclusions. *Geochim. Cosmochim. Acta* 57: 4009-4027.
- Pettke, T. & Diamond, L.W. (1996).** Rb-Sr Dating of sphalerite based on fluid inclusion-host mineral isochrons: A clarification of why it works. *Econ. Geol.* vol. 91: 951-956.
- Pilger, A. (1961).** Die Blei-Zink-Erzvorkommen des Ruhrgebietes und seiner Umrandung. Monographien der deutschen Blei-Zink-Erzlagerstätten, 1, 3.- Beih. geol. Jb., 40: 385S., 162 Abb., 4 Tab., 20 Taf.; Hannover.
- Plum, H. (1989).** Genetische Klassifikation und geochemische Interpretation der Mineral- und Thermalwässer der Eifel und Ardennen.- *Mitt. Ing.- u. Hydrogeol.*, 34, 170 S.
- Pommerening, J. (1993).** Hydrogeologie, Hydrochemie und Genese der Aachener Thermalquellen (PhD thesis):Aachen, RWTH-Aachen.
- Potter, R.W. (1978).** Pressure corrections for fluid-inclusion homogenization temperatures based on the volumetric properties of the system NaCl-H₂O.-*U.S.G.S. J. Res.*, 5, 603-607, Washington.
- Powell, R., Condiliffe, D.M. & Condiliffe, E. (1984).** Calcite-dolomite geothermometry in the system CaCO₃-MgCO₃-FeCO₃: an experimental study. *Journal Metamorphic Geology*, 2, 33-41.
- Radke, B.M. & Mathis, R.L. (1980).** On the formation and occurrence of saddle dolomite.- *J. Sedim. Petrol.*, 50, 1149-1168.
- Redecke, P., Friedrich, G. (1991).** Geochemische Charakterisierung paläozoischer Sedimentgesteine der Nordeifel mit Hilfe geostatischer Methoden.- *Chem. Erde*, 51, 115-130.
- Redecke, P., (1992).** Zur Geochemie und Genese variszischer und postvariszischer Buntmetallmineralisation in der Nordeifel und der Niederrheinischen Bucht [PhD thesis]: Aachen, RWTH Aachen.
- Ribbert, K.H., & Wrede, V. (2000).** Ergebnisse der Grundgebirgsbohrungen im Umfeld des Tagebaus Hambachs: Mitteilungen zur Ingenieur- und Hydrogeologie, v. 76, p. 267-273.
- Ribbert, K.H. (2006).** Die Bohrung RWTH-1. Regionalstratigraphische Einordnung und Deutung. Entwurf (nicht veröffentlicht).
- Richardson, C.K., Rye, R.O. & Wassermann, M.D., (1988).** The chemical and thermal evolution of the fluids in the Cave-in-rock fluorspar district, Illinois: stable isotope systematics at the Deardorff mine. *Econ. Geol.*, 83, 765-783.

- Roedder, E. (1968).** The noncolloidal origin of "colloform" textures in sphalerite ores. *Economic Geology* 63, 451-471.
- Roedder, E. (1984).** Fluid Inclusions. In: *Reviews in Mineralogy*, vol. 12 Mineralogical Society of America, Washington, DC, pp. 494-501.
- Rollinson, H. (1993).** Using Geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. Longman Scientific & Technical. Longman Group UK Ltd 1993.
- Rottke, W., (1994).** Zur Diagenese devonischer und unterkarbonischer Karbonatgesteine am Nordrand des Linksrheinischen Schiefergebirges [PhD thesis]: Aachen, RWTH Aachen.
- Schaeffer, R. (1984).** Die postvariszische ("saxonische") Mineralisation im Sauerland und ihre Paragenese.- *Schr.-R. GDMB Ges. dt. Metallhütten- u. Bergleute*, 41, 15-26, 1 Abb. Winheim.
- Schaeffer, R. (1986).** Geochemische Charakterisierung und Genese der jungmesozoisch-tertiären Vererzung im Sauerland (Rheinisches Schiefergebirge).- *Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf.*, 34, 337-381, 7 Abb., 11 Tab., 3 Taf., Krefeld.
- Schiffmann, W. (1888).** Die geognostischen Verhältnisse und die Erzlagerstätten der Grube Diepenlieden bei Stolberg (Rheinland).- *Zeitschr. Berg-, Hütten- und Salinenwesen*, 36, 1-22.
- Schneider, J. (1994)** Geochemische Untersuchungen zur Genese von Buntmetallvererzungen in der Nordeifel. Diplomarbeit, Justus-Liebig-Universität Gießen.
- Schneider, J., Haack, U., Hein, U.F., & Germann, A. (1999).** Direct Rb/Sr dating of sandstone-hosted sphalerites from stratabound Pb-Zn deposits in the northern Eifel, NW Rhenish Massif, Germany, p.4.
- Schneider, J., Haack, U. & Stedingk, K. (2003).** Rb-Sr dating of epithermal vein mineralization stages in the eastern Harz Mountains (Germany) by paleomixing lines. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol 67, No. 10, pp. 1803-1819.
- Schneider, J., Dopieralska, J. & Haack, U. (2004).** Hydrothermal apatite as Sm-Nd geochronometer. Abstracts of the V.M. Goldschmidt Conference, Copenhagen, Denmark, June 5-11, 2004 *Geochim. Cosmochim. Acta*, 68: A556.
- Schriel, W. (1952).** Die gegenseitigen Beziehungen der Erzparagenese variscischen und tertiären Alters erläutern an der Stellung des Bensberges und Ramsbecker Erzbezirkes zur Paffrather Kalkmulde und dem Massenkalksattel von Brilon nebst einem Vergleich mit anderen Gebieten.- *N. Jb. Min. Mh.*, 1952: 239-253, 19 Abb.; Stuttgart.
- Schroyen, K. & Muchez, P.(2000).** Evolution of metamorphic fluids at the Variscan fold-and-thrust belt in eastern Belgium. *Sedimentary Geology*, 131, 163-180.
- Schulz-Dobrik, B. & Wedepohl, K.-H., (1983).** The Chemical Composition of Sedimentary Deposits in the Rhenohercynian Belt of Central Europe.- in: Martin, H. & Eder, F.W. (Hrsg.): *Intracontinental Fold Belts*.- 211-230, 2 Abb., 7 Tab., Berlin-Heidelberg (Springer).

- Scott, S.D. & Barnes, H.L. (1971).** Sphalerite geothermometry and barometry.- *Econ. Geol.*, 66, S. 653-669.
- Sheppard, T., Rankin, A.H. & Alderton, D.H.M. (1985).** A practical guide to fluid inclusion studies.- Blackie, Glasgow.
- Sindern, S., Stanjek, H., Hilgers, C. & Etoundi, Y. (2007).** Short-term hydrothermal effects on the crystalinities of illite and chlorite in the footwall of the Aachen-Faille du Midi thrust fault- First results of the RWTH-1 drilling project. *Clay and Clay Minerals*, Vol. 55, No. 2, 200-212, Washington.
- Sindern, S., Warnsloh, J.M., Trautwein-Bruns, U., Chatziliadou, M., Becker, S., Yüceer, S., Hilgers, C. & Kramm, U. (2008).** Geochemical composition of sedimentary rocks and imprint of hydrothermal fluid flow at the Variscan front- an example from the RWTH-1 well. *ZDGG*. Band 159, Heft 4.
- Stacey, J.S. & Kramers, J.D. (1975).** Approximation of Terrestrial Lead Isotope Evolution by a Two-Stage Model, *Earth Planet. Sci. Lett.*, 26, 207-221, Elsevier, Amsterdam.
- Steingrobe, B. (1990).** Faziesseinheiten aus dem Aachen-Erkelenzer Oberkarbonvorkommen unter besonderer Berücksichtigung des Inde-Synklinoriums. Dissertation RWTH-Aachen: 325 S., Aachen.
- Stroetmann-Heinen, V. (1999).** Simulation einer paläozoischen passiven Plattenrandentwicklung in den mitteleuropäischen Varisziden- Das linksrheinische Schiefergebirge.- *Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft*, 150: 451-470, Stuttgart.
- Stroink, L. (1994).** Zur Diagenese paläozoischer Sandsteine am Nordrand des Linksrheinisch-Ardennischen Schiefergebirges. *Aachener Geowiss. Beiträge* 1: 1-164.
- Swart, P.K., Burns, B.J. & Leder, J.J. (1991).** Fractionation of the stable isotopes of oxygen and carbon in carbon dioxide during the reaction of calcite with phosphoric acid as a function of temperature and technique. *Chemical Geology (Isotope Geoscience Section)*, vol. 86, pp. 89-96.
- Taylor, R.P. & Fryer, B.J. (1980).** Multi-stage hydrothermal alteration in porphyry copper systems in northern Turkey: the temporal interplay of potassic, propylitic and phyllic fluids. *Can. J. Earth Sci.*, 17, 901-926.
- Tschernoster, R., Glasmacher, U., Spaeth, G. & Clauer, N. (1995).** K-Ar-Datierungen zur Abkühlungsgeschichte ausgewählter Magmatite und Metapelite aus dem Stavelot Venn Massiv.- In: walter, R., Glasmacher, U. & Wolf, M. (eds.): *KW-relevante Eigenschaften potentieller Mutter- und Speichergesteine am Nordrand des Linksrheinischen Schiefergebirges*. RWTH Aachen, BMBF Forschungsprojekt 032 6804 A %, 1.4.1991-30.9.1994, Teil 4, 1-20.
- Vassoevich, N.B., Korchagina, Y.I., Lopatin, N.V. & Chernyshev, V.V. (1969).** Glavnaya faza nefteobrazovaniya. *Vestnik MGU. Ser.4. Geologiya*. vol. 6, S. 3-27.

- Von Winterfeld, C.-H., (1994).** Variszische Deckentektonik und devonische Beckengeometrie der Nordeifel - Ein quantitatives Modell [PhD thesis]: Aachen, RWTH Aachen.
- Walshaw, R.D., Menuge, J.F. (1998).** Dating of crustal fluid flow by the Rb-Sr isotopic analysis of sphalerite: a review. In: Parnell, J. (ed.) 1998. Dating and Duration of Fluid Flow and Fluid-Rock Interaction. Geological Society, London, Special Publications, 144, 137-143.
- Walshe, J.L. (1986).** A Six-Component Chlorite Solid Solution Model and the Conditions of Chlorite Formation in Hydrothermal and Geothermal Systems. *Economic Geology*, Vol. 81, pp. 681-703.
- Wallner, D. (1977).** Quecksilbergehalte in Böden, der Bodenluft und in der bodennahen Atmosphäre im Bereich einiger bekannter Erzvorkommen; Dissertation, Fakultät für Bergbau und Hüttenwesen; RWTH Aachen.
- Walter, R. (1995).** "Geologie von Mitteleuropa", 6. Auflage, E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart.
- Weber, K. (1986).** "The Mid – European Variszides in Terms of Allochthonous Terrains" in "Proc. 3rd Workshop EGT: The central segment", FREEMAN, R.; MUELLER, S. & GIESE, P. (eds.), S. 73 – 82, European Science Foundation.
- Wedepohl, K.H. (1970).** Environmental influences on the chemical composition of shales and clays. In: AHRENS, L.H., PRESS, F., RUNCORN, S.K. & UREY, H.C. (Eds.): *Physics and Chemistry of the Earth*. Oxford: Pergamon, 307-333.
- Wedepohl, K.H., Meyer, K. & Muecke, G.K. (1983).** Chemical Composition and Genetic Relations of Meta-Volcanic Rocks from the Rhenohercynian Belt of Northwest Germany.- In: Martin, H. & Eder, F.W. (1983), S. 231-256, 7 Abb., 8 Tab.; Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo (Springer).
- Wendt, I. & Carl, C. (1991).** The statistical distribution of the mean squared weighted deviation. *Chem. Geol.* 86, 275-285.
- Wijkerslooth, P. de (1949).** Die Blei-Zink-Formation Süd-Limburg und ihr mikroskopisches Bild.- *Meded. Geol. Sticht. N.S.*, 3, 83-102.
- Wrede, V. (1985)** Tiefentektonik des Aachen - Erkelenzer Steinkohlengebietes, in Drozdowski, G., Engel, H., Wolf, R., and Wrede, V., eds., *Beiträge zur Tiefentektonik westdeutscher Steinkohlelagerstätten: Krefeld*, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, p. 9-103.
- Wrede, V., & Hilden, H.D. (1988)** Geologische Entwicklung, in Hilden, H.D., ed., *Geologie am Niederrhein: Krefeld*, Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen, p. 7-14.
- Zang, W. & Fyfe, W.S. (1995).** Chloritisation of the hydrothermally altered bedrock at the Igarapé Bahia gold deposit, Carajas, Brasil. *Mineral. Deposita*, 30, 30-38.
- Ziegler, P.A. (1988).** Evolution of the Arctic-North Atlantic and the Western Thethys. *AAPG Memoir* 43, 198.

ANHANG**Verzeichnis 146**

A	Abkürzungsverzeichnis	146
---	-----------------------	-----

Petrographie 147

I-a	Proben und Schliffe für Petrographische und Mineralchemische Untersuchungen	147
I-b	Inkohlungsmessungen (Hastenrather Kalkwerke)	152
II	Röntgendiffraktometrie (XRD)	154

Geochemie 156

III	Elektronenstrahlmikrosonde (EMPA)	156
IV	Mikrothermometrie	248
V	Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS)	252
VI	Emissionsspektrometrie (ICP-OES)	254
VII	Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)	254
VIII	Kaltdampf-Atomabsorptionsspektrometrie (CV-AAS)	255
IX	IR-Absorptionsanalysatoren (IROES)	256
X	Röntgenfluoreszenzanalytik (XRF)	257
XI	Stabile Isotope (IRMS)	263
XII	Radiogene Isotope (MC-TIMS VG Sector 54/MC-TIMS Finnigan Triton/ Thermo Finnigan Neptune MC-ICP-MS/Finnigan MAT 262 TIMS)	266

VERZEICHNIS

A. Abkürzungsverzeichnis

Abkürzungen von Mineralen nach Chace (1956) und Kretz (1983). Die chemische Formel der Minerale ist ebenfalls angezeigt:

Cc	Calcit	CaCO_3	Bgl	Bleiglanz	PbS
Ara	Aragonit	CaCO_3	Znb	Zinkblende	ZnS
Dol	Dolomit	$\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$	Ccp	Chalkopyrit	CuFeS_2
Ank	Ankerit	$\text{Ca}(\text{Fe}^{2+}, \text{Mg}, \text{Mn})(\text{CO}_3)_2$	Py	Pyrit	FeS_2
Sd	Siderit	$(\text{Fe}, \text{Mg})\text{CO}_3$	Bn	Bornit	Cu_5FeS_4
Qz	Quarz	SiO_2	Mrk	Markasit	FeS_2
Hem	Hematit	Fe_2O_3			
Chl	Chlorit	$(\text{Mg}, \text{Fe})_6[(\text{Si}, \text{Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8]$			
Ill	Illit	$(\text{K}, \text{H}_3\text{O})\text{Al}_2(\text{Si}_3\text{Al})\text{O}_{10}(\text{H}_2\text{O}, \text{OH})_2$			
Anh	Anhydrit	CaSO_4			
Coe	Coelestin	SrSO_4			
Brt	Baryt	BaSO_4			
Gbs	Gips	$\text{Ca}(\text{SO}_4) \cdot 2\text{H}_2\text{O}$			
Bsn	Bassanit	$\text{Ca} [\text{SO}_4] \cdot \frac{1}{2}\text{H}_2\text{O}$			
Ep	Epidot	$\text{Ca}_2(\text{Fe}^{3+}, \text{Al})_3(\text{SiO}_4)_3(\text{OH})$			
Fsp	Feldspat	XZ_4O_8 (X= Ba, Ca, K, Na, NH_4 , Sr; Z= Al, B, Si)			

Abkürzungen von Gesteinen:

Kalkstein	Ks	Dolomit	Dol
Stylolith	Sty	Sinter	SNT
Nebengestein	NG		

Abkürzungen von Bearbeitungsgebieten:

RWTH-1 Bohrung (Aachen)	RWTH-1
Thermalwässer (Aachen-Burtscheid)	TW
Hastenrather Kalkwerke (Stolberg)	HR
Grubenfeld Diepenlienchen (Stolberg)	DIP
Albertsgrube Bohrung (Stolberg)	ALB
Bleiberg Bohrungen (Belgien)	BB
Galmeivorkommen Altenberg (Belgien)	ALT
Thermae 2002 Bohrung (Niederlande)	TH

PETROGRAPHIE

I-a Proben und Schliffe für Petrographische und Mineralchemische Untersuchungen

Insgesamt wurden 84 Schliffe aus den untersuchten Vorkommen am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen untersucht. Davon waren 78 polierte Dünnschliffe für petrographische (Mikroskopie, Kathodenstrahlung) und mineralchemische (Elektronenstrahlmikrosonde) Untersuchungen, 4 beidseitig polierte Dickschliffe für mikrothermometrische Untersuchungen und 2 polierte Anschliffe für die Bestimmung von Vitrinitreflektion.

Aus der RWTH-1 Bohrung wurden 143 Kernproben aus dem Kernbohrerlager entnommen. Daraus wurden entsprechend der Mineralneubildungen 39 polierte Dünnschliffe hergestellt (Tabelle Ia-1). Aufgrund der unterschiedlichen Härte zwischen Matrix und Gangmineralisation ist die Politur der Schliffe nicht einheitlich.

Während der Beprobung der Thermalwässer Aachen-Burtscheid wurden aus den Quellvorbrüchen der Landesbadquelle Burtscheid anstehende Gesteinsproben entnommen. Daraus wurden 2 polierte Dünnschliffe hergestellt, die Anzeichen von Mineralneubildungen aufweisen (Tabelle Ia-2).

Proben aus dem Grubenfeld Diepenlienchen, der Bohrung Albertsgrube 1, der Bohrung Thermae 2002, den Bohrungen in Bleiberg und dem Galmeivorkommen Altenberg wurden vom Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen gestellt. Es wurden Proben aufgrund ihrer Vererzung und der Gangartminerale ausgesucht und 14 polierte Dünnschliffe hergestellt (Tabelle Ia-3).

Aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke wurden Proben entnommen, die Vererzung, Gangbildung, Sinterbildung und Karstbildung aufweisen. Durch eine Auswahl relevanter Proben wurden 23 polierte Dünnschliffe, 4 beidseitig polierte Dickschliffe und 2 polierte Anschliffe hergestellt (Tabelle Ia-4).

Alle Schliffe wurden am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen hergestellt. Für die petrographischen Untersuchungen standen hierfür Mikroskope des Typs LABORLUX 12 POL S der Firma Leica zur Verfügung.

Die Untersuchungen mittels Kathodenstrahlung wurden am Geologischen Institut der RWTH-Aachen durchgeführt. Das aufgebaute KL-Mikroskop ist ein Heisskathoden-Lumineszenz-Mikroskop der Firma „Lumic-Spezialmikroskope“ (Neuser) mit der Bezeichnung HC1-LM und basiert auf einem Polarisationsmikroskop der Firma „Olympus“. Bei der Kathodenstrahlung werden die Valenzelektronen der getroffenen Rumpfatome durch die Primärelektronen in angeregte Zustände gebracht. Bei Rückkehr in den Grundzustand wird die Überschussenergie in Form von Photonen abgegeben. Hervorgerufen wird die Lumineszenzemission durch Gitterdefekte (z.B. Elektronendefekte an abgerissenen Bindungen, Leerstellen) und/oder Aktivatoren (Spurenelemente wie SE,

Al^{3+} , Cr^{3+} , Fe^{3+} , Pb^{2+} , Cu^{2+} , Mn^{3+} , Sn^{2+}). Für die Untersuchungen wurden die Proben als polierte, nicht abgedeckte und mit Kohlenstoff bedampfte Dünnschliffe präpariert. Zur Dokumentation steht eine Nikon-Spiegelreflexkamera mit automatischem Belichtungsmesser zur Verfügung. Wichtige Einsatzgebiete der Kathodenstrahlung liegen in der Identifizierung und Quantifizierung verschiedener Phasen in Gesteinen und technischen Produkten, der Strukturanalyse und Kristallchemie von Festkörpern, der mikrostrukturellen Charakterisierung von Gesteinen oder der Rekonstruktion von Prozessen der Mineralbildung und Alteration. Ebenso sind oftmals Aussagen über das Liefergebiet, Zementstratigraphie und Porenraumentwicklung möglich. Ein besonderes Augenmerk wurde auf die Mineralneubildungen in Gängen gelegt.

Zusätzlich zu den Dünnschliff-Proben für petrographische und mineralchemische Untersuchungen wurden weitere Proben für geochemische Untersuchungen herangezogen. Diese wurden in den jeweiligen Tabellen mit Probennummern versehen.

Tabelle Ia-1: Liste der petrographisch und mineralchemisch untersuchten polierten Dünnschliffe aus der Bohrung RWTH-1.

Probe	Probenbezeichnung im	Teufe [m]	Kernstrecke	Gestein*	Schliffnummer
KS1	1-1-7-B	1392,04-1391,97	1	Grauer Tonschiefer	PM50375
MC10	6-2-8-A	1404,56-1404,75	1	Grauer Tonschiefer	26781
MC20	8-2-1-A	1409,7-1409,94	1	Dolomitstein	26779
MC20	8-2-1-A	1409,7-1409,94	1	Dolomitstein	26780
MC26	9-1-4-B-γ	1412,11-1412,22	1	Dolomitstein	26782
MC26	9-1-4-B-γ	1412,11-1412,22	1	Dolomitstein	26783
MC26	9-1-4-B-γ	1412,11-1412,22	1	Dolomitstein	26784
MC27	9-1-5-A	1412,26-1412,37	1	Dolomitstein	26775
MC30	10-1-6-B	1415,07-1415,2	1	Siltstein	26762
MC30	10-1-6-B	1415,07-1415,2	1	Siltstein	26763
MC32	12-1-8-A	1420,84-1420,95	1	Siltstein	26766
MC32	12-1-8-A	1420,84-1420,95	1	Siltstein	26767
MC34	13-1-11-B-β	1423,36-1423,49	1	Grauer Tonschiefer	26756
MC47	18-1-5-A	1437,74-1437,83	1	Kalkknollen	26754
MC57	22-2-6-A	1449,32-1449,43	1	Tonschiefer	26760
MC67	26-3-6-A	1461,61-1461,91	1	Roter Tonschiefer	26770
MC67	26-3-6-A	1461,61-1461,91	1	Roter Tonschiefer	26771
MC71	27-1-5-A	1462,56-1462,68	1	Roter Tonschiefer	26764
MC77	31-2-10-A	1474,92-1475	1	Tonschiefer	26755
MC82	34-1-3-A-β	1481,52-1481,61	1	Tonschiefer	26774
MC87	35-3-3-A	1485,96-1485,06	1	Tonschiefer	26757
MC99	38-2-12-B	1493,32-1493,49	1	Ton-Siltstein	26758
MC99	38-2-12-B	1493,32-1493,49	1	Ton-Siltstein	26759
MC97	38-3-5-B	1494,04-1494,12	1	Ton-Siltstein	26769
MC98	38-3-7-B	1494,26-1494,31	1	Grauer Tonschiefer	26768
MC107	40-1-9-B-α	1497,65-1497,74	1	Grauer Tonschiefer	26777
MC107	40-1-9-B-β	1497,65-1497,74	1	Grauer Tonschiefer	26776
MC108	41-1-4-B	1499,18-1499,27	1	Grauer Tonschiefer	26751
KS99	42-1-10 Ba	1502,5-1502,64	1	Ton-Siltstein	PM50416
KS105	45-3-2 A	1511,6-1511,68	1	Ton-Siltstein	PM50445
MC112	45-3-6-A-α	1511,66-1511,94	1	Ton-Siltstein	26752
MC112	45-3-6-A-α	1511,66-1511,94	1	Ton-Siltstein	26753
MC113	46-2-2-B	1513,3-1513,32	1	Grauer Tonschiefer	26772
MC113	46-2-2-B	1513,3-1513,32	1	Grauer Tonschiefer	26773
MC120	47-1-2-B	1515,5-1515,6	1	Grauer Tonschiefer	26765
MC121	47-1-3-B	1515,6-1515,65	1	Grauer Tonschiefer	26778
MC127	50-1-2-A	2137,04-2137,21	2	Sandstein	26761
KS114	52-3-3 B	2142,6-2142,64	2	Ton-Siltstein	PM50363
KS120	61-1-2 A	2543,18-2543,43	3	Sandstein	PM503899

Tabelle Ia-2: Liste der petrographisch und mineralchemisch untersuchten polierten Dünnschliffe, aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

Probe	Gestein	Schliffnummer
TWD1	Frasne Kalkstein-Gangart*	26866
TWD2	Frasne Kalkstein-Gangart*	26867

* *Calcit, subrezente Sinter*

Tabelle Ia-3: Liste der petrographisch und mineralchemisch untersuchten polierten Dünnschliffe, aus den Lokalitäten Altenberg, Diepenlienchen, Bleiberg, Albertsgrube und Thermae 2002.

Probe	Lokalität	Gestein	Schliffnummer
ALT-1	Altenberg	Erz*	27322
ALT-2	Altenberg	Erz*	27323
ALT-3	Altenberg	Erz*	27324
ALT-4	Altenberg	Erz*	26515
ALT-5	Altenberg	Erz*	27325
ALT-6	Altenberg	Erz*	27326
DIP1	Diepenlienchen	Erz*-Gangart**	27327
DIP2	Diepenlienchen	Erz*-Gangart**	27328
DIP3	Diepenlienchen	Erz*	27329
BB1	Bleiberg	Erz*-Gangart**	27332
BB2	Bleiberg	Erz*	27330
ALB-1	Albertsgrube	Erz*	27317
ALB-2	Albertsgrube	Gangart**	27318
TH1	Thermae 2002	Erz*	27331

* *Zinkblende (Schalenblende), Bleiglanz, Chalkopyrit, Pyrit, Markasit*

** *Calcit, Dolomit, Siderit, Ankerit*

Tabelle Ia-4: Liste der petrographisch und mineralchemisch untersuchten polierten Dünnschliffe, beidseitig polierten Dünnschliffe und polierten Anschliffe aus dem Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath.

Probe	Gestein	Schliffnummer
HR1	Gang-1, Zone 3 (Erz*- Gangart***)	26860
HR2	Gang-1, Zone 2 (Gangart***)	26861
HR3	Gang-1, Zone 2 (Gangart***)	26862
HR4	Gang-1, Zone 1 (Erz*-Gangart***)	26863
HR5	Gang-1, Zone 1 (Erz*-Gangart***)	26864
HR6	Gang-1, Zone 1 (Erz*-Gangart***)	26865
HR7	Gang-2 Zone 3 (Erz*- Gangart***)	26967
HR8	Gang-2, Zone 2 (Gangart***)	26966
HR9	Gang-2, Zone 1 (Erz*-Gangart***)	26968
HR10	Gang-3, Zone 3 (Erz*-Gangart***)	26958
HR11	Gang-3, Zon2 (Gangart***)	26594
HR12	Erz*-Gangart***	26599
HR13	Erz*-Gangart***	26596
HR14	Erz*-Gangart***	26595
HR15	Erz*-Gangart***	26593
HR16	Kalkstein-Gang**	26962
HR17	Kalkstein-Gang**	26963
HR18	Kalkstein-Gang**	26964
HR19	Kalkstein-Gang**	26960
HR20	Dolomitisierter Kalkstein	26961
HR21	Kalksinter	26965
HR22	Nebengestein	26597
HR23	Nebengestein	26592
Beidseitig Polierte Dickschliffe:		
HR24	Gang-1***	1021
HR25	Gang-1***	1022
HR26	Gang-2***	1023
HR27	Gang-3***	1024
Polierte Anschliffe:		
HR28	Organisches Material	MC0205/P4/1
HR29	Organisches Material	MC0205/6

* Zinkblende (Schalenblende), Bleiglanz, Chalkopyrit, Bornit

** Calcit, Dolomit

*** Calcit, Dolomit, Ankerit, Quarz

I-b Inkohlungsmessungen (Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke)

Bei den untersuchten Proben handelt es sich um nicht orientierte, fein- bis grobkörnige Pulverproben. Entlang einer Aufschlusswand wurden aus Karsttaschen und einem mittig verfüllten Gang die Proben entnommen. Um die Vitrinitreflexion der Proben untersuchen zu können, wurden polierte Anschliffe angefertigt. Für die Messungen der Vitrinitreflexion wurden die Proben in Epoxydharz (Araldit 20/20) eingebettet. Bei einer Temperatur unter 100°C wurden die eingebetteten Proben mindestens 8 Stunden ausgehärtet, danach konnten sie angeschliffen und poliert werden. Für die Vitrinitreflexionsmessung werden die polierten Anschliffe mit Hilfe eines Auflichtmikroskops untersucht. Es wird ein Zeiss-Universalforschungsmikroskop mit 40-fach vergrößerndem Ölimmersionsobjektiv (Epi 40* Plan Pol Öl) benutzt; die Lichtbrechung des Immersionsmittels beträgt $n_{\text{Oel}} = 1.518$. Gemessen wird mit monochromatischem Weißlicht der Wellenlänge 546 nm. Wegen der geringen Lichtmengen ist ein Photomultiplier notwendig, der das reflektierte Licht verstärkt. Diese Reflexion hängt sowohl vom Brechungsindex als auch vom Absorptionsindex der Partikel ab. Mittels eines Gallium-Granat-Standards mit einer Reflexion von 1.70% wird das Mikroskop vor jeder Messung kalibriert. An allen Proben mit ausreichendem org. Material wird die mittlere, zufällige Vitrinitreflexion ($R_r\%$) gemessen. Pro Probe wird an mindestens 25 Partikeln organischen Materials die Vitrinitreflexion ermittelt. Die Messungen erfolgten am Institut für Geologie der RWTH-Aachen.

Aufgrund des hohen Inkohlungsgrades der Gesteine ist es nicht immer möglich, die einzelnen Mazerale optisch voneinander zu unterscheiden, so dass auch höher reflektierende Partikel mitgemessen werden. Kleine oder verwitterte Partikel werden nicht berücksichtigt. Die Auswertung der Messdaten erfolgt durch das Programm FLEX (L. Meyer, Version 1.0, 1995), welches auch die Ausgabe von Histogrammen, sowie die Ermittlung der Standardabweichung und des Mittelwertes der individuellen Messungen erlaubt.

Die Messung der Vitrinitreflexion ist zu einer etablierten Methode zur Untersuchung der Reifeparameter von Kohlen und sedimentärem organischem Material geworden (Bostick, 1979). Dabei gehen sowohl die maximal erreichten Temperaturen als auch die Dauer der Erwärmung in die Inkohlung ein. Eine gegebene Vitrinitreflexion kann also durch hohe Temperaturen über einen kurzen Einwirkungszeitraum oder niedrigere Temperaturen über einen längeren Zeitraum erreicht werden (Bostick et al., 1979).

Tabelle Ib-1: Vitritreflexionsmessungen und errechnete Versenkungstemperaturen, Steinbruch Kalkwerke Hastenrath.

Probennummer	Schliff-Nr.	Rr(%)	T(°C)
HR28	MC0205/P4/1	0,35	50,8
HR28	MC0205/P4/1	0,34	48,5
HR28	MC0205/P4/1	0,27	29,9
HR28	MC0205/P4/1	0,28	32,8
HR28	MC0205/P4/1	0,28	32,8
HR28	MC0205/P4/1	0,31	41,0
HR28	MC0205/P4/1	0,28	32,8
HR28	MC0205/P4/1	0,29	35,7
HR28	MC0205/P4/1	0,29	35,7
HR28	MC0205/P4/1	0,3	38,4
HR28	MC0205/P4/1	0,29	35,7
HR28	MC0205/P4/1	0,3	38,4
HR28	MC0205/P4/1	0,27	29,9
HR28	MC0205/P4/1	0,28	32,8
HR28	MC0205/P4/1	0,32	43,6
HR28	MC0205/P4/1	0,34	48,5
HR28	MC0205/P4/1	0,33	46,1
HR28	MC0205/P4/1	0,27	29,9
HR28	MC0205/P4/1	0,29	35,7
HR28	MC0205/P4/1	0,31	41,0
HR28	MC0205/P4/1	0,29	35,7
HR28	MC0205/P4/1	0,27	29,9
HR28	MC0205/P4/1	0,35	50,8
HR28	MC0205/P4/1	0,29	35,7
HR28	MC0205/P4/1	0,3	38,4
HR28	MC0205/P4/1	0,36	53,1
HR28	MC0205/P4/1	0,44	69,3
HR28	MC0205/P4/1	0,75	112,3
HR28	MC0205/P4/1	0,44	69,3
HR28	MC0205/P4/1	0,3	38,4
HR28	MC0205/P4/1	0,27	29,9
HR28	MC0205/P4/1	0,28	32,8
HR28	MC0205/P4/1	0,36	53,1
HR28	MC0205/P4/1	0,34	48,5
HR28	MC0205/P4/1	0,3	38,4
HR28	MC0205/P4/1	0,27	29,9
HR28	MC0205/P4/1	0,33	46,1
HR28	MC0205/P4/1	0,29	35,7
HR28	MC0205/P4/1	0,38	57,5
HR28	MC0205/P4/1	0,27	29,9
HR28	MC0205/P4/1	0,28	32,8
HR28	MC0205/P4/1	0,3	38,4
HR28	MC0205/P4/1	0,35	50,8
HR28	MC0205/P4/1	0,31	41,0
HR28	MC0205/P4/1	0,36	53,1
HR28	MC0205/P4/1	0,65	100,7
HR28	MC0205/P4/1	0,88	125,2
HR28	MC0205/P4/1	0,36	53,1
HR28	MC0205/P4/1	0,38	57,5
HR28	MC0205/P4/1	0,36	53,1
HR28	MC0205/P4/1	0,36	53,1
HR28	MC0205/P4/1	0,32	43,6
HR28	MC0205/P4/1	0,38	57,5

Probennummer	Schliff-Nr.	Rr(%)	T(°C)
HR28	MC0205/P4/1	0,7	106,7
HR28	MC0205/P4/1	0,3	38,4
HR28	MC0205/P4/1	2,76	217,4
HR28	MC0205/P4/1	2,26	201,2
HR28	MC0205/P4/1	1,1	143,2
HR28	MC0205/P4/1	2,29	202,3
HR28	MC0205/P4/1	0,96	132,2
HR28	MC0205/P4/1	0,91	127,9
HR28	MC0205/P4/1	1,97	190,2
HR28	MC0205/P4/1	1,87	186,0
HR28	MC0205/P4/1	1,19	149,5
HR28	MC0205/P4/1	0,91	127,9
HR28	MC0205/P4/1	1,13	145,3
HR28	MC0205/P4/1	0,89	126,1
HR28	MC0205/P4/1	0,96	132,2
HR28	MC0205/P4/1	0,96	132,2
HR28	MC0205/P4/1	1,28	155,4
HR28	MC0205/P4/1	1,26	154,1
HR28	MC0205/P4/1	1,2	150,2
HR28	MC0205/P4/1	1,29	156,0
HR28	MC0205/P4/1	1,22	151,5
HR28	MC0205/P4/1	1,39	162,0
HR28	MC0205/P4/1	1,1	143,2
HR28	MC0205/P4/1	0,84	121,4
HR28	MC0205/P4/1	1,05	139,4
HR28	MC0205/P4/1	2,08	194,5
HR28	MC0205/P4/1	3,06	225,7
HR28	MC0205/P4/1	0,71	107,9
HR28	MC0205/P4/1	0,73	110,1
HR28	MC0205/P4/1	0,48	76,3
HR28	MC0205/P4/1	1,11	143,9
HR28	MC0205/P4/1	0,99	134,7
HR28	MC0205/P4/1	0,78	115,4
HR28	MC0205/P4/1	0,38	57,5
HR28	MC0205/P4/1	0,89	126,1
HR28	MC0205/P4/1	0,78	115,4
HR28	MC0205/P4/1	0,61	95,6
HR28	MC0205/P4/1	0,87	124,3
HR28	MC0205/P4/1	1,66	176,4
HR28	MC0205/P4/1	2,74	216,8
HR28	MC0205/P4/1	1,02	137,1
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,3	38,4
HR29	MC0205/6	0,33	46,1
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,31	41,0
HR29	MC0205/6	0,32	43,6

Tabelle Ib-1: Vitritreflexionsmessungen und errechnete Versenkungstemperaturen, Steinbruch

Probennummer	Schliff-Nr.	Rr(%)	T(°C)
HR29	MC0205/6	0,33	46,1
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,31	41,0
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,42	65,5
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,4	61,6
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,31	41,0
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,31	41,0
HR29	MC0205/6	0,41	63,6
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,39	59,5
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,39	59,5
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,37	55,3
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,37	55,3
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,3	38,4
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,33	46,1
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,3	38,4
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,34	48,5

Kalkwerke Hastenrath. Fortsetzung der Tabelle.

Probennummer	Schliff-Nr.	Rr(%)	T(°C)
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,31	41,0
HR29	MC0205/6	0,32	43,6
HR29	MC0205/6	0,31	41,0
HR29	MC0205/6	0,33	46,1
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,3	38,4
HR29	MC0205/6	0,31	41,0
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,3	38,4
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,33	46,1
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,36	53,1
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,42	65,5
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,34	48,5
HR29	MC0205/6	0,35	50,8
HR29	MC0205/6	0,34	48,5

II. Röntgendiffraktometrie (XRD)

Mineralphasen wurden mittels eines Siemens D-500 X-Ray Diffraktometers (XRD) an der RWTH-Aachen bestimmt. Eine Probengröße von $\sim 1 \text{ cm}^3$ (Pulver) wird benötigt um eine Mineralbestimmung durchzuführen, obwohl auch kleinere Probenmengen ausreichend sind für eine erfolgreiche Analyse. Dabei wird die Probe mit monochromatischem Röntgenlicht bestrahlt, und die Beugung der Röntgenstrahlung am Kristallgitter vermessen, bei 2θ Winkeln zwischen 2 und 72° , bei einer Spannung von 45 kV und einer Stromstärke von 35 mA. Die Röntgenstrahlung wird an den Atomlagen der Kristalle gebeugt. Die Position der Interferenzmaxima in Abhängigkeit von der Gitterkonstanten der Schicht wird quantitativ beschrieben mittels der Bragg Formel: $\lambda = 2d \sin(\theta)$, wobei d der Gitterabstand ist, λ die Wellenlänge der Röntgenstrahlung repräsentiert und θ der Winkel unter dem das Interferenzmaximum beobachtet werden kann. Die Intensität der gebeugten Röntgenstrahlen wird als Funktion des gebeugten Winkels (2θ), der Probenorientierung und der Mineralchemie gemessen. Die Diffraktogramme werden genutzt, um Mineralphasen und andere Strukturelle Eigenschaften zu bestimmen. Die Nachweisgrenzen hängen von der Anzahl und der Art der Mineralphasen ab, die präsent sind.

Tabelle II-1: Liste der Proben, die mittels Röntgenbeugung (XRD) untersucht wurden und die dabei identifizierten Minerale. Proben stammen aus der Landesbadquelle Burtscheid (Sinter und Filtrationsrückstände).

Lokalität	Probenart	Probe												
			Anh	Gbs	Cc	Hem	Ill	Br	Qtz	Dol	Ara	Hal	Bsn	Mgs
Landesbadquelle Vorbruch A	Sinter	TWS1	\	+	+	\	\	\	+	\	\	\	\	\
Landesbadquelle Vorbruch A	Sinter	TWS2	\	\	+	+	+	\	+	\	+	\	\	\
Landesbadquelle Vorbruch A	Sinter	TWS3	+	+	+	\	\	\	+	\	+	\	\	\
Landesbadquelle Vorbruch A	Sinter	TWS4	+	+	+	\	+	\	+	\	+	\	\	\
Landesbadquelle Vorbruch A	Sinter	TWS5	+	+	+	\	\	\	+	+	\	\	\	\
Landesbadquelle Vorbruch B	Sinter	TWS6	\	\	+	\	\	\	+	\	\	\	\	\
Landesbadquelle Vorbruch A	Sinter	TWS7	\	\	+	+	+	+	+	\	\	\	\	\
Landesbadquelle Vorbruch A	Filtrationsrückstand	TWR1	+	\	\	\	\	\	\	\	\	+	+	+
Landesbadquelle Vorbruch B	Filtrationsrückstand	TWR2	+	\	\	\	\	\	\	\	\	+	+	+
Landesbadquelle Tiefenquelle	Filtrationsrückstand	TWR3	+	\	\	\	\	\	\	\	\	+	+	+
Rosenquelle Burtscheid	Filtrationsrückstand	TWR4	+	\	\	\	\	\	\	\	\	+	+	+

Tabelle II-2: Liste der Proben, die mittels Röntgenbeugung (XRD) untersucht wurden und die dabei identifizierten Minerale. Proben stammen aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke (Gänge und Nebengestein).

Lokalität	Probenart	Proben								
			Cc	Dol	Ank	Qz	Znb	Bgl	Ccp	Bn
Hastenrath	Subvertikale-Gänge	HR1/HR7/HR10	+	\	\	\	+	+	+	+
Hastenrath	Subvertikale-Gänge	HR2/HR8	+	\	\	\	\	\	\	\
Hastenrath	Subvertikale-Gänge	HR3-HR6	+	+	+	+	\	+	+	+
Hastenrath	Richtungslos orientierte Gangkarbonate	HR16-HR19	+	+	\	+	\	\	\	\
Hastenrath	Dolomitisierter Kalkstein	HR20	+	+	\	+	\	\	\	\
Hastenrath	Kalksinter	HR21	+	\	\	+	\	\	\	\
Hastenrath	Kalkstein	HR22-HR23	+	\	\	+	\	\	\	\

GEOCHEMIE

III. Elektronenstrahlmikrosonde (EMPA)

Die chemische Zusammensetzung der Minerale konnte mit Hilfe der Mikrosonde am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen ermittelt werden. Hierzu wurden von den Proben polierte Dünnschliffe (30 µm) angefertigt und mit Graphit bedampft. Die Mikrosonde 8900 RR (FA. JEOL) besitzt fünf wellenlängendispersive Spektrometer (WDS). Die Korrektur der Matrix erfolgte nach der ZAF-Methode. Für den überwiegenden Teil der Analysen wurden 15 kV Beschleunigungsspannung angelegt. Bei den Sulfiden wurde eine Beschleunigungsspannung von 25 kV angelegt. Der Probenstrom bei den gemessenen Proben liegt zwischen 2,34 und 2,75 nA. Bei den karbonatischen Proben wurde mit einem erweiterten Strahl, mit einem Strahlendurchmesser von 10 µm gemessen. Alle anderen Mineralphasen (Sulfide, Sulfate, Phyllosilikate) wurden mit einem gebündelten Strahl, mit einem Strahlendurchmesser von 3 µm gemessen. Die Messdauer auf dem Peak betrug 10 sec und die des Hintergrundes jeweils 5 sec. Bei den Mikrosondenmappings betrug die Messdauer pro Punkt (Dwell Time) 50 ms, alle anderen Einstellungen blieben unverändert. Die Nachweisgrenze wird im Gerät bei jeder Messung für jedes Element separat berechnet und liegt üblicherweise in der Größenordnung um 100 ppm. Für die Darstellung der Messergebnisse der Mikrosondenmappings (Elementkartierung) wurden reine Zählraten ohne Hintergrundkompensation oder sonstige Korrektur verwendet. Sie erlauben lediglich einen relativen Vergleich der Elementhäufigkeit innerhalb der gemessenen Fläche. Aufgrund der fehlenden Korrektur der Elemente gegeneinander, kann auch der relative Vergleich mit kleinen Fehlern behaftet sein.

Zur Konzentrationsbestimmung dienten verfügbare Mineralstandards. Während der Analyse der Zusammensetzung von Karbonaten wurde mittels festgelegtem CO₂-Gehalt korrigiert. Die Messeinstellungen und die Standards für die jeweiligen Messprogramme sind in den Tabellen III-1 (Karbonate), III-2 (Sulfide) und III-3 (Sulfate, Phyllosilikate) aufgeführt. Für die Mineralformelberechnungen aus den Mikrosondendaten wurden die von der Mikrosonde gelieferten Oxidgehalte nach Deer et al. (1992) in Kationengehalte per Formeleinheit (pfu) umgerechnet. Für alle Berechnungen wurden Atommassen aus Faure (1998) verwendet.

In den folgenden Tabellen sind zu den Analysennummern die entsprechenden Dünnschliffnummern der Proben aufgelistet. In Abschnitt I-a sind die Proben tabellarisch zusammengestellt.

Tabelle III-1: Messeinstellungen und Standards für Mikrosondenuntersuchungen an Karbonaten (Calcit, Dolomit, Ankerit, Siderit).

Mineral	Karbonate					
Programm	P1	P2	P3	P4	P5	P6
Acc. V* (kV)	15	15	15	15	15	15
Diffusion** (µm)	10	10	10	10	10	3
Current*** (nA)	2,34	2,35	2,35	2,35	2,39	2,35
Si			Pl64		Pl64	Fa66Mn
Ti						
Al						
Fe	Fa66	Fa66	Fa66	Fa66	Fa66	Fa66
Mn	Mn133	Mn133	Mn133	Mn133	Mn133	Mn133
Mg	Sp76	Sp76	Sp76	Dol140	Sp76	Sp76
Ca	Ap70	Ap70	Ap70	Dol140	Ap70	Ap44
Na						
K						
P						M108
Pb		PbS				
Ba					Ba89	
Sr	Coel106	Coel106	Coel106	Coel106	Coel106	Coel106
Cl						
S						
Zn						
Cd						
Cu		CuFeS				
Ni						
Ga						
Ge						

*Beschleunigungsspannung, **Strahlendurchmesser, ***Probenstrom

Tabelle III-2: Messeinstellungen und Standards für Mikrosondenuntersuchungen an Sulfiden (Bleiglanz, Zinkblende, Chalkopyrit, Markasit).

Mineral	Sulfide				
Programm	P7	P8	P9	P10	P11
Acc. V *(kV)	25	25	25	25	25
Diffusion** (µm)	3	3	3	3	3
Current*** (nA)	2,36	2,35	2,35	2,35	2,36
Si		Pl64			
Ti					
Al					
Fe	CuFeS	CuFeS	CuFeS	CuFeS	CuFeS
Mn	Mn133		Mn133		Mn133
Mg					
Ca					
Na					
K					
P					
Pb	PbS	PbS	PbS	PbS	PbS
Ba	Ba89		Ba89		
Sr					
Cl					
S	S109	S109	S109	S109	CuFeS
Zn	S109	S109	S109	S109	S109
Cd	Cd32	Cd32	Cd32	CdS132	CdS132
Cu		CuFeS		CuFeS	CuFeS
Ni				NiAs	
Ga					GaAs18
Ge					Ge17

*Beschleunigungsspannung, **Strahlendurchmesser, ***Probenstrom

Tabelle III-3: Messeinstellungen und Standards für Mikrosondenuntersuchungen an Silikaten (Chlorit).

Mineral	Phyllosilikate
Programm	P14
Acc. V *(kV)	15
Diffusion** (µm)	3
Current*** (nA)	2,34
Si	Pl64
Ti	Ru83
Al	Pl64
Fe	Fa66
Mn	Mn133
Mg	Sp76
Ca	Pl64
Na	J107
K	Or79
P	
Pb	
Ba	
Sr	
Cl	Tug34
S	
Zn	
Cd	
Cu	
Ni	
Ga	
Ge	

*Beschleunigungsspannung, **Strahlendurchmesser, ***Probenstrom

Tabelle III-4: Calcitzusammensetzung des Frasn-Kalksteins aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

An. Nr.	143	144	145	148	152	153	154	155	156	157
Ds. Nr.	26866	26866	26866	26866	26866	26866	26866	26866	26866	26866
Gew.-%										
FeO	0,02	0,44	0,92	0,14	0,24	0,01	0,05	0,05	0,10	0,15
MnO	0,06	0,05	0,09	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,09
MgO	0,13	0,36	0,57	0,21	0,20	0,31	0,32	0,27	0,23	0,38
CaO	56,06	54,95	54,09	55,96	55,39	55,83	55,80	55,57	55,79	54,96
SrO	0,01	0,02	0,00	0,02	0,06	0,01	0,05	0,00	0,02	0,04
CO₂	44,19	43,83	43,69	44,27	43,88	44,16	44,19	43,93	44,10	43,71
Summe	100,47	99,65	99,35	100,66	99,79	100,32	100,41	99,82	100,24	99,33
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,000	0,006	0,013	0,002	0,003	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002
Mn	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Mg	0,003	0,009	0,014	0,005	0,005	0,008	0,008	0,007	0,006	0,010
Ca	0,996	0,984	0,972	0,992	0,991	0,992	0,991	0,993	0,993	0,987
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An.Nr.	158	159	162	163	165	166	168	169	170	171
Ds. Nr.	26866	26866	26866	26866	26866	26866	26866	26866	26866	26866
Gew.-%										
FeO	0,08	0,08	0,36	0,42	0,04	0,57	0,06	0,07	0,23	0,29
MnO	0,04	0,02	0,18	0,18	0,02	0,32	0,01	0,11	0,17	0,20
MgO	0,29	0,12	0,25	0,19	0,10	0,16	0,12	0,08	0,29	0,17
CaO	55,67	55,70	54,70	54,67	56,02	54,12	55,66	55,93	55,24	55,54
SrO	0,03	0,04	0,03	0,03	0,01	0,06	0,00	0,02	0,00	0,00
CO₂	44,09	43,92	43,54	43,49	44,12	43,23	43,85	44,09	43,92	44,08
Summe	100,19	99,88	99,06	98,97	100,31	98,46	99,69	100,29	99,86	100,28
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,001	0,001	0,005	0,006	0,001	0,008	0,001	0,001	0,003	0,004
Mn	0,001	0,000	0,003	0,003	0,000	0,005	0,000	0,002	0,002	0,003
Mg	0,007	0,003	0,006	0,005	0,002	0,004	0,003	0,002	0,007	0,004
Ca	0,991	0,995	0,986	0,987	0,997	0,983	0,996	0,996	0,987	0,989
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An.Nr.	172	174	175	257	258	260	261	262	263	264
Ds. Nr.	26866	26866	26866	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Gew.-%										
FeO	0,40	0,16	0,18	0,05	0,04	0,10	0,04	0,07	0,11	0,09
MnO	0,13	0,17	0,19	0,02	0,01	0,01	0,03	0,01	0,12	0,01
MgO	0,23	0,10	0,14	0,29	0,20	0,17	0,17	0,15	0,14	0,12
CaO	54,98	55,19	55,90	55,75	55,68	55,66	56,05	55,85	55,73	56,08
SrO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,05	0,02	0,00	0,00	0,01
CO₂	43,73	43,63	44,25	44,11	43,95	43,95	44,22	44,04	44,02	44,21
Summe	99,48	99,25	100,66	100,23	99,90	99,93	100,52	100,12	100,11	100,52
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,006	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
Mn	0,002	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Mg	0,006	0,002	0,003	0,007	0,005	0,004	0,004	0,004	0,003	0,003
Ca	0,987	0,993	0,991	0,992	0,994	0,994	0,995	0,995	0,993	0,996
Sr	0	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000	0
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

**Fortsetzung Tabelle III-4: Calcitzusammensetzung des Frasne-Kalksteins aus der Landesbadquelle
Burtscheid, Vorbruch A**

An.Nr.	265	268	269	270	271	273	274	275	276
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Gew.-%									
FeO	0,06	0,20	0,13	0,08	0,19	0,12	0,19	0,21	0,37
MnO	0,05	0,19	0,12	0,07	0,11	0,19	0,22	0,29	0,08
MgO	0,20	0,16	0,15	0,22	0,20	0,13	0,13	0,13	0,18
CaO	55,59	55,76	55,58	55,93	55,48	55,80	55,02	54,78	55,05
SrO	0,04	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,06	0,05
CO₂	43,93	44,18	43,94	44,22	43,94	44,12	43,58	43,46	43,69
Summe	99,86	100,50	99,93	100,52	99,93	100,36	99,16	98,93	99,42
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit									
Fe²⁺	0,001	0,003	0,002	0,001	0,003	0,002	0,003	0,003	0,005
Mn	0,001	0,003	0,002	0,001	0,002	0,003	0,003	0,004	0,001
Mg	0,005	0,004	0,004	0,005	0,005	0,003	0,003	0,003	0,005
Ca	0,993	0,990	0,993	0,993	0,991	0,993	0,991	0,989	0,989
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-5: Calcitzusammensetzung in Gängen (Cc1) im Frasne-Kalkstein aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

An. Nr. Ds. Nr.	9 26866	10 26866	11 26866	13 26866	14 26866	15 26866	17 26866	21 26866	22 26866	23 26866
Gew.-%										
FeO	0,11	0,44	0,50	0,48	0,38	0,52	0,51	0,26	0,22	0,23
MnO	0,12	0,49	0,27	0,13	0,16	0,12	0,24	0,20	0,19	0,19
MgO	0,01	0,11	0,12	0,14	0,22	0,14	0,10	0,09	0,03	0,04
CaO	55,32	54,17	54,44	54,41	54,32	54,40	54,38	55,16	55,39	55,15
SrO	0	0,02	0,00	0,09	0,03	0,07	0	0,05	0,06	0,00
CO₂	43,58	43,22	43,32	43,26	43,22	43,27	43,27	43,68	43,78	43,59
Summe	99,16	98,45	98,63	98,50	98,35	98,51	98,56	99,43	99,67	99,20
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,001	0,006	0,007	0,007	0,005	0,007	0,007	0,004	0,003	0,003
Mn	0,002	0,007	0,004	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003
Mg	0,000	0,003	0,003	0,004	0,006	0,004	0,003	0,002	0,001	0,001
Ca	0,996	0,984	0,986	0,987	0,986	0,987	0,986	0,991	0,993	0,993
Sr	0	0,000	0,000	0	0	0	0	0,000	0	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr. Ds. Nr.	24 26866	25 26866	26 26866	27 26866	28 26866	29 26866	32 26866	33 26866	34 26866	35 26866
Gew.-%										
FeO	0,54	0,36	0,47	0,48	0,13	0,10	0,10	0,14	0,16	0,16
MnO	0,18	0,13	0,14	0,19	0,08	0,13	0,07	0,10	0,09	0,08
MgO	0,14	0,19	0,15	0,15	0,00	0,03	0,20	0,27	0,30	0,45
CaO	54,32	54,57	54,55	54,56	55,98	55,32	55,21	55,33	55,13	55,05
SrO	0,07	0,00	0,06	0,04	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03	0,07
CO₂	43,25	43,33	43,37	43,41	44,08	43,59	43,67	43,88	43,75	43,86
Summe	98,50	98,58	98,74	98,83	100,31	99,18	99,29	99,74	99,45	99,66
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,008	0,005	0,007	0,007	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002
Mn	0,003	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Mg	0,004	0,005	0,004	0,004	0,000	0,001	0,005	0,007	0,007	0,011
Ca	0,986	0,988	0,987	0,986	0,997	0,996	0,992	0,990	0,989	0,985
Sr	0	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000	0
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr. Ds. Nr.	36 26866	37 26866	38 26866	39 26866	45 26866	46 26866	48 26866	50 26866	52 26866	53 26866
Gew.-%										
FeO	0,283	0,148	0,354	0,338	0,192	0,223	0,352	0,1	0,11	0,119
MnO	0,03	0,11	0,06	0,06	0,03	0,09	0,02	0,07	0,10	0,10
MgO	0,27	0,57	0,17	0,22	0,38	0,44	0,13	0,22	0,41	0,43
MgO	54,92	54,75	55,06	54,83	55,35	55,04	55,00	55,37	54,92	55,07
CaO	0,04	0,06	0,00	0,00	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,03
SrO	43,59	43,77	43,66	43,52	44,01	43,88	43,55	43,83	43,69	43,83
CO₂	99,12	99,39	99,31	98,97	100,00	99,72	99,10	99,65	99,26	99,57
Summe										
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,004	0,002	0,005	0,005	0,003	0,003	0,005	0,001	0,002	0,002
Mn	0,000	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001
Mg	0,007	0,014	0,004	0,005	0,010	0,011	0,003	0,006	0,010	0,011
Ca	0,989	0,982	0,990	0,989	0,987	0,984	0,991	0,991	0,986	0,986
Sr	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0,000	0
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-5: Calcitzusammensetzung in Gängen (Cc1) im Frasne-Kalkstein aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

An. Nr. Ds. Nr.	58 26866	61 26866	62 26866	63 26866	64 26866	106 26866	107 26866	108 26866	109 26866	110 26866
Gew.-%										
FeO	0,50	0,21	0,23	0,14	0,28	0,17	0,15	0,13	0,17	0,18
MnO	0,09	0,08	0,38	0,04	0,06	0,06	0,04	0,05	0,08	0,09
MgO	0,20	0,38	0,28	0,36	0,12	0,32	0,41	0,45	0,42	0,61
CaO	54,65	55,00	54,99	55,12	55,02	55,19	54,93	54,88	55,02	54,98
SrO	0,08	0,02	0,02	0,08	0,06	0,03	0,05	0,03	0,07	0,01
CO₂	43,50	43,76	43,84	43,79	43,54	43,81	43,70	43,68	43,81	43,98
Summe	99,02	99,45	99,74	99,52	99,07	99,58	99,28	99,22	99,56	99,85
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,007	0,003	0,003	0,002	0,004	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Mn	0,001	0,001	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mg	0,005	0,009	0,007	0,009	0,003	0,008	0,010	0,011	0,010	0,015
Ca	0,986	0,986	0,984	0,988	0,992	0,989	0,987	0,986	0,985	0,981
Sr	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr. Ds. Nr.	112 26866	115 26866	116 26866	117 26866	118 26866	119 26866	120 26866	121 26866	122 26866	123 26866
Gew.-%										
FeO	0,09	0,12	0,13	0,14	0,16	0,22	0,08	0,11	0,14	0,13
MnO	0,11	0,09	0,08	0,11	0,05	0,06	0,08	0,11	0,10	0,10
MgO	0,45	0,24	0,25	0,31	0,22	0,46	0,22	0,20	0,20	0,22
CaO	55,13	54,99	55,51	55,47	55,21	54,79	55,13	55,56	55,62	54,99
SrO	0,08	0,05	0,00	0,03	0,02	0,03	0,02	0,00	0,06	0,05
CO₂	43,92	43,56	43,96	44,03	43,71	43,68	43,61	43,96	44,04	43,55
Summe	99,78	99,03	99,93	100,09	99,37	99,23	99,14	99,94	100,16	99,04
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,001	0,002	0,002	0,002	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,002
Mn	0,002	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001
Mg	0,011	0,006	0,006	0,008	0,006	0,012	0,006	0,005	0,005	0,005
Ca	0,985	0,991	0,991	0,989	0,991	0,984	0,992	0,992	0,991	0,991
Sr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr. Ds. Nr.	124 26866	125 26866	126 26866	127 26866	130 26866	131 26866	132 26866	133 26866	137 26866	138 26866
Gew.-%										
FeO	0,15	0,16	0,21	0,18	0,30	0,10	0,48	0,21	0,37	0,30
MnO	0,05	0,06	0,08	0,13	0,02	0,07	0,29	0,06	0,05	0,08
MgO	0,17	0,24	0,56	0,57	0,17	0,42	0,14	0,48	0,28	0,42
CaO	55,26	55,24	54,79	54,71	55,10	55,19	54,80	54,84	54,84	54,71
SrO	0,03	0,00	0,00	0,08	0,08	0,06	0,09	0,03	0,02	0,02
CO₂	43,68	43,75	43,79	43,79	43,66	43,90	43,66	43,74	43,61	43,64
Summe	99,34	99,45	99,44	99,46	99,33	99,74	99,45	99,36	99,18	99,18
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,002	0,002	0,003	0,003	0,004	0,001	0,007	0,003	0,005	0,004
Mn	0,001	0,001	0,001	0,002	0,000	0,001	0,004	0,001	0,001	0,001
Mg	0,004	0,006	0,014	0,014	0,004	0,010	0,003	0,012	0,007	0,010
Ca	0,993	0,991	0,982	0,981	0,990	0,987	0,985	0,984	0,987	0,984
Sr	0	0	0	0	0	0	0,001	0	0,000	0
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-5: Calcitzusammensetzung in Gängen (Cc1) im Frasne-Kalkstein aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

An. Ds. Nr.	139 26866	177 26866	185 26866	190 26866	191 26867	197 26867	198 26867	199 26867	206 26867	207 26867
Gew.-%										
FeO	0,23	0,31	0,16	0,50	0,00	0,05	0,06	0,00	0,11	0,30
MnO	0,29	0,21	0,01	0,23	0,02	0,00	0,00	0,02	0,14	0,04
MgO	0,23	0,32	0,40	0,36	0,24	0,26	0,29	0,23	0,24	0,31
CaO	55,19	54,59	54,82	54,45	55,96	55,71	55,99	55,65	55,38	55,02
SrO	0,00	0,06	0,08	0,06	0,04	0,03	0,02	0,00	0,04	0,02
CO₂	43,88	43,53	43,59	43,60	44,21	44,04	44,30	43,93	43,89	43,73
Summe	99,82	99,00	99,05	99,20	100,47	100,08	100,66	99,83	99,79	99,42
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,003	0,004	0,002	0,007	0,000	0,001	0,001	0,000	0,002	0,004
Mn	0,004	0,003	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001
Mg	0,006	0,008	0,010	0,009	0,006	0,006	0,007	0,006	0,006	0,008
Ca	0,987	0,984	0,987	0,980	0,993	0,993	0,992	0,994	0,990	0,987
Sr	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr.	208	209	210	211	212	214	215	216	217	219
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Gew.-%										
FeO	0,04	0,415	0	0,023	0,026	0,118	0,085	0,102	0,171	0,287
MnO	0,009	0,446	0,018	0,006	0	0	0,007	0,051	0,007	0,009
MgO	0,43	0,124	0,228	0,313	0,065	0,137	0,15	0,157	0,195	0,207
CaO	55,793	54,975	55,973	55,86	56,173	55,627	55,63	55,686	55,735	55,282
SrO	0,002	0,034	0,017	0,02	0	0,002	0,012	0,036	0	0
CO₂	44,284	43,823	44,193	44,205	44,17	43,877	43,882	43,983	44,061	43,791
Summe	100,558	99,817	100,429	100,427	100,434	99,761	99,766	100,015	100,169	99,576
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,001	0,006	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,002	0,004
Mn	0,000	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,011	0,003	0,006	0,008	0,002	0,003	0,004	0,004	0,005	0,005
Ca	0,989	0,984	0,994	0,992	0,998	0,995	0,995	0,994	0,993	0,991
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr.	220	221	222	223	224	225	226	227	228	229
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Gew.-%										
FeO	0,27	0,00	0,27	0,36	0,34	0,28	0,25	0,20	0,28	0,01
MnO	0,04	0,00	0,13	0,12	0,19	0,05	0,08	0,02	0,16	0,00
MgO	0,26	0,12	0,29	0,26	0,25	0,23	0,32	0,29	0,27	0,14
CaO	55,11	55,95	55,24	55,18	55,18	55,09	54,85	55,14	55,26	56,36
SrO	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,05
CO₂	43,73	44,04	43,92	43,87	43,90	43,70	43,60	43,73	43,93	44,41
Summe	99,44	100,11	99,87	99,79	99,86	99,38	99,12	99,40	99,90	100,96
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,004	0,000	0,004	0,005	0,005	0,004	0,004	0,003	0,004	0,000
Mn	0,001	0,000	0,002	0,002	0,003	0,001	0,001	0,000	0,002	0,000
Mg	0,006	0,003	0,007	0,006	0,006	0,006	0,008	0,007	0,007	0,003
Ca	0,989	0,997	0,987	0,987	0,986	0,989	0,987	0,990	0,987	0,996
Sr	0	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000	0
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-5: Calcitzusammensetzung in Gängen (Cc1) im Frasne-Kalkstein aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

An. Nr.	231	234	235	237	238	239	240	242	244	245
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Gew.-%										
FeO	0,00	0,05	0,06	0,13	0,17	0,25	0,06	0,20	0,00	0,29
MnO	0,00	0,04	0,03	0,10	0,03	0,06	0,03	0,09	0,03	0,02
MgO	0,13	0,12	0,25	0,21	0,13	0,49	0,22	0,43	0,13	0,31
CaO	56,35	56,00	56,09	55,23	55,62	55,02	55,90	54,91	56,25	55,06
SrO	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,07
CO₂	44,37	44,13	44,34	43,74	43,92	43,90	44,17	43,75	44,31	43,76
Summe	100,85	100,35	100,77	99,44	99,88	99,72	100,39	99,41	100,73	99,50

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,003	0,001	0,003	0,000	0,004
Mn	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,003	0,003	0,006	0,005	0,003	0,012	0,006	0,011	0,003	0,008
Ca	0,997	0,996	0,993	0,991	0,994	0,984	0,993	0,985	0,996	0,987
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Gew.-%										
FeO	0,27	0,25	0,26	0,25	0,04	0,22	0,24	0,28	0,33	0,26
MnO	0,06	0,05	0,04	0,04	0,01	0,04	0,06	0,05	0,08	0,06
MgO	0,32	0,25	0,30	0,23	0,12	0,22	0,31	0,29	0,25	0,27
CaO	55,05	55,36	55,14	55,35	56,38	55,72	55,20	54,97	55,23	55,69
SrO	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03
CO₂	43,75	43,90	43,79	43,87	44,40	44,14	43,84	43,65	43,87	44,21
Summe	99,45	99,82	99,55	99,74	100,95	100,37	99,64	99,23	99,76	100,53

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,004	0,003	0,004	0,003	0,001	0,003	0,003	0,004	0,005	0,004
Mn	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mg	0,008	0,006	0,008	0,006	0,003	0,005	0,008	0,007	0,006	0,007
Ca	0,987	0,989	0,988	0,990	0,996	0,991	0,988	0,988	0,988	0,988
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	277	278	279	281	282	283	284	285	286	287
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Gew.-%										
FeO	0,18	0,26	0,32	0,11	0,45	0,40	0,07	0,27	0,09	0,33
MnO	0,07	0,08	0,16	0,35	0,37	0,60	0,21	0,22	0,00	0,18
MgO	0,43	0,53	0,27	0,36	0,34	0,26	0,25	0,39	0,20	0,38
CaO	55,18	55,18	54,99	55,04	54,59	54,68	55,54	54,70	55,69	55,00
SrO	0,01	0,00	0,06	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00
CO₂	43,93	44,08	43,77	43,88	43,71	43,82	44,04	43,67	43,97	43,88
Summe	99,79	100,13	99,57	99,75	99,45	99,78	100,12	99,27	99,95	99,76

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,003	0,004	0,004	0,001	0,006	0,006	0,001	0,004	0,001	0,005
Mn	0,001	0,001	0,002	0,005	0,005	0,009	0,003	0,003	0,000	0,002
Mg	0,011	0,013	0,007	0,009	0,008	0,007	0,006	0,010	0,005	0,009
Ca	0,986	0,982	0,986	0,984	0,980	0,979	0,990	0,983	0,994	0,984
Sr	0	0	0	0	0	0	0,000	0	0,000	0
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-5: Calcitzusammensetzung in Gängen (Cc1) im Frasne-Kalkstein aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

An. Nr.	288	289	290	292	294	296	298	299	302	305
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Gew.-%										
FeO	0,11	0,00	0,04	0,05	0,08	0,00	0,02	0,09	0,21	0,28
MnO	0,11	0,00	0,02	0,06	0,03	0,00	0,00	0,02	0,19	0,42
MgO	0,31	0,12	0,20	0,17	0,17	0,17	0,15	0,20	0,17	0,17
CaO	55,49	56,01	55,89	55,73	56,02	56,03	56,10	55,67	55,14	54,95
SrO	0,04	0,00	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,04	0,01
CO₂	44,03	44,08	44,12	43,99	44,22	44,17	44,20	43,97	43,73	43,75
Summe	100,09	100,20	100,27	100,02	100,54	100,40	100,47	99,96	99,49	99,59

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,003	0,004
Mn	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,006
Mg	0,008	0,003	0,005	0,004	0,004	0,004	0,004	0,005	0,004	0,004
Ca	0,989	0,997	0,994	0,994	0,994	0,995	0,996	0,994	0,990	0,986
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	306	307	308	310	311	313
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867

Gew.-%						
FeO	0,14	0,16	0,00	0,22	0,02	0,00
MnO	0,20	0,12	0,01	0,06	0,04	0,00
MgO	0,16	0,17	0,20	0,13	0,17	0,08
CaO	54,93	55,43	56,07	55,48	56,16	56,35
SrO	0,04	0,08	0,00	0,00	0,00	0,03
CO₂	43,52	43,89	44,23	43,85	44,29	44,32
Summe	99,00	99,84	100,51	99,73	100,68	100,79

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,002	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000
Mn	0,003	0,002	0,000	0,001	0,001	0,000
Mg	0,004	0,004	0,005	0,003	0,004	0,002
Ca	0,991	0,991	0,995	0,993	0,995	0,998
Sr	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-6: Calcitzusammensetzung von subrezenten Sinteranwachssäumen (Cc2) im Frasn-Kalkstein aus der Landesbadquelle Burtscheid, Vorbruch A.

An. Nr. Ds. Nr.	66 26866	68 26866	69 26866	70 26866	71 26866	72 26866	73 26866	74 26866	75 26866	76 26866
Gew.-%										
FeO	0,32	0,10	0,24	0,17	0,28	0,11	0,19	0,19	0,17	0,13
MnO	0,14	0,04	0,06	0,05	0,05	0,04	0,08	0,06	0,10	0,04
MgO	1,38	1,80	1,36	1,42	1,42	1,95	1,29	1,51	1,54	1,52
CaO	52,81	52,56	52,90	53,06	52,57	52,16	53,01	53,06	53,00	53,01
SrO	0,61	0,54	0,74	0,90	0,81	0,75	0,90	0,74	0,57	0,80
CO₂	43,49	43,52	43,50	43,71	43,35	43,47	43,55	43,76	43,68	43,70
Summe	98,74	98,54	98,80	99,31	98,48	98,48	99,00	99,32	99,06	99,19

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,004	0,001	0,003	0,002	0,004	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002
Mn	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
Mg	0,035	0,045	0,034	0,035	0,036	0,049	0,032	0,038	0,039	0,038
Ca	0,953	0,948	0,954	0,953	0,952	0,942	0,955	0,952	0,952	0,952
Sr	0,006	0,005	0,007	0,009	0,008	0,007	0,009	0,007	0,006	0,008
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr. Ds. Nr.	78 26866	79 26866	80 26866	81 26866	84 26866	85 26866	86 26866	87 26866	88 26866	91 26866
--------------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------	-------------

Gew.-%										
FeO	0,14	0,43	0,20	0,16	0,13	0,35	0,37	0,22	0,16	0,16
MnO	0,05	0,07	0,07	0,05	0,06	0,12	0,14	0,05	0,03	0,06
MgO	1,81	0,66	0,67	1,77	1,76	1,20	1,33	1,55	1,87	1,68
CaO	52,73	54,26	54,80	52,58	52,89	53,31	53,55	53,65	52,57	52,79
SrO	0,75	0,09	0,05	0,67	0,43	0,57	0,46	0,59	0,82	0,77
CO₂	43,79	43,65	43,93	43,61	43,73	43,67	43,99	44,21	43,76	43,73
Summe	99,28	99,16	99,72	98,84	99,01	99,22	99,85	100,27	99,20	99,19

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,002	0,006	0,003	0,002	0,002	0,005	0,005	0,003	0,002	0,002
Mn	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001	0,000	0,001
Mg	0,045	0,016	0,017	0,044	0,044	0,030	0,033	0,038	0,047	0,042
Ca	0,945	0,976	0,979	0,946	0,949	0,958	0,955	0,952	0,943	0,948
Sr	0,007	0,001	0,001	0,007	0,004	0,006	0,004	0,006	0,008	0,007
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr. Ds. Nr.	94 26866	98 26866	99 26866
--------------------	-------------	-------------	-------------

Gew.-%			
FeO	0,12	0,23	0,06
MnO	0,04	0,11	0,06
MgO	1,58	1,10	1,03
CaO	53,55	53,72	54,66
SrO	0,60	0,63	0,21
CO₂	44,11	43,83	44,18
Summe	100,00	99,62	100,20

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,002	0,003	0,001
Mn	0,001	0,002	0,001
Mg	0,039	0,027	0,025
Ca	0,953	0,962	0,971
Sr	0	0	0
C	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrath Kalkwerke.

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Gew.-%											
FeO	1,28	1,25	1,37	1,25	1,28	1,12	1,13	1,24	1,34	1,26	1,30
MnO	0,95	0,93	0,93	0,99	0,98	0,91	0,91	0,93	1,20	1,17	1,14
MgO	0,07	0,08	0,08	0,06	0,06	0,07	0,06	0,07	0,06	0,08	0,08
CaO	52,81	53,17	53,24	53,02	53,23	53,45	53,40	53,55	52,54	53,11	52,80
SrO	0,02	0,07	0,04	0,04	0,00	0,00	0,02	0,04	0,02	0,00	0,01
CO₂	42,91	43,18	43,30	43,07	43,23	43,27	43,24	43,46	42,87	43,26	43,03
Summe	98,04	98,68	98,96	98,44	98,79	98,81	98,77	99,29	98,03	98,88	98,37
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,018	0,018	0,019	0,018	0,018	0,016	0,016	0,018	0,019	0,018	0,019
Mn	0,014	0,013	0,013	0,014	0,014	0,013	0,013	0,013	0,017	0,017	0,016
Mg	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002	0,002
Ca	0,966	0,966	0,965	0,966	0,966	0,970	0,969	0,967	0,962	0,964	0,963
Sr	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	12	13	14	15	16	17	19	20	21	22	23
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Gew.-%											
FeO	1,31	1,16	1,19	1,22	0,65	0,60	1,69	0,55	0,54	1,38	1,44
MnO	1,09	1,07	1,05	1,16	1,02	1,07	1,36	0,75	1,10	1,25	1,27
MgO	0,09	0,10	0,09	0,10	0,03	0,02	0,09	0,03	0,02	0,09	0,10
CaO	53,07	53,36	53,27	53,01	53,71	53,83	52,58	54,04	54,01	53,05	52,67
SrO	0,01	0,04	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,23	43,38	43,29	43,19	43,22	43,30	43,24	43,26	43,43	43,35	43,10
Summe	98,79	99,11	98,89	98,71	98,63	98,81	98,96	98,65	99,10	99,12	98,57
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,019	0,016	0,017	0,017	0,009	0,008	0,024	0,008	0,008	0,020	0,020
Mn	0,016	0,015	0,015	0,017	0,015	0,015	0,019	0,011	0,016	0,018	0,018
Mg	0,002	0,003	0,002	0,003	0,001	0,000	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002
Ca	0,964	0,966	0,966	0,963	0,975	0,976	0,955	0,981	0,976	0,961	0,959
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Gew.-%											
FeO	0,71	0,88	0,98	0,73	0,79	0,72	0,79	0,88	0,69	0,66	0,63
MnO	0,96	1,17	1,24	1,07	1,17	1,24	1,19	1,18	1,22	1,17	1,05
MgO	0,03	0,03	0,06	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,02	0,02	0,00
CaO	54,09	53,32	53,22	53,28	53,79	53,94	53,34	53,14	53,64	53,67	53,52
SrO	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02
CO₂	43,51	43,14	43,20	42,96	43,45	43,59	43,13	43,00	43,28	43,27	43,05
Summe	99,31	98,54	98,70	98,07	99,22	99,57	98,52	98,22	98,84	98,79	98,27
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,010	0,012	0,014	0,010	0,011	0,010	0,011	0,013	0,010	0,009	0,009
Mn	0,014	0,017	0,018	0,015	0,017	0,018	0,017	0,017	0,017	0,017	0,015
Mg	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,976	0,970	0,967	0,974	0,972	0,971	0,971	0,970	0,973	0,974	0,976
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	35	36	37	39	41	42	43	44	46	47	48
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Gew.-%											
FeO	1,31	0,72	0,75	0,66	0,60	0,60	0,94	0,55	0,88	0,89	0,59
MnO	1,11	1,10	1,01	1,05	1,13	0,90	1,09	1,00	0,84	0,68	0,86
MgO	0,05	0,04	0,01	0,02	0,01	0,03	0,07	0,00	0,04	0,06	0,02
CaO	52,92	53,67	53,48	53,55	53,42	53,65	53,16	53,67	53,41	53,61	53,94
SrO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02
CO₂	43,07	43,28	43,07	43,10	43,01	43,05	43,05	43,07	43,03	43,11	43,25
Summe	98,46	98,80	98,34	98,39	98,18	98,22	98,31	98,28	98,21	98,35	98,68

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,019	0,010	0,011	0,009	0,009	0,009	0,013	0,008	0,013	0,013	0,008
Mn	0,016	0,016	0,015	0,015	0,016	0,013	0,016	0,014	0,012	0,010	0,012
Mg	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001
Ca	0,965	0,973	0,975	0,975	0,975	0,978	0,969	0,978	0,974	0,976	0,979
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	49	50	51	52	53	54	56	58	59	60	62
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Gew.-%											
FeO	0,54	0,83	1,03	0,68	0,95	0,73	0,93	0,84	0,92	0,68	1,01
MnO	1,10	0,62	0,61	0,59	0,59	1,06	0,68	0,62	0,60	0,66	0,51
MgO	0,03	0,05	0,05	0,01	0,03	0,04	0,04	0,04	0,06	0,03	0,07
CaO	53,64	53,63	53,52	53,86	53,54	53,38	53,79	53,78	53,50	54,89	53,67
SrO	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,00
CO₂	43,15	43,04	43,07	43,06	42,99	43,04	43,25	43,16	42,99	43,95	43,12
Summe	98,48	98,19	98,28	98,20	98,10	98,24	98,70	98,46	98,09	100,24	98,37

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,012	0,015	0,010	0,013	0,010	0,013	0,012	0,013	0,009	0,014
Mn	0,016	0,009	0,009	0,008	0,009	0,015	0,010	0,009	0,009	0,009	0,007
Mg	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002
Ca	0,976	0,978	0,976	0,982	0,978	0,974	0,976	0,978	0,977	0,980	0,977
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	63	66	67	68	70	71	72	73	74	75	77
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Gew.-%											
FeO	0,63	0,60	0,85	0,65	0,83	0,62	0,98	0,69	0,72	0,82	0,94
MnO	0,49	0,68	0,63	0,54	0,62	0,62	0,69	0,54	0,63	0,65	0,52
MgO	0,02	0,03	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03
CaO	54,12	54,35	53,61	54,09	53,89	53,86	53,55	54,28	53,93	53,81	53,54
SrO	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01
CO₂	43,18	43,49	43,02	43,23	43,21	43,06	43,09	43,41	43,19	43,18	42,96
Summe	98,44	99,19	98,17	98,55	98,57	98,20	98,35	98,98	98,50	98,51	98,00

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,009	0,008	0,012	0,009	0,012	0,009	0,014	0,010	0,010	0,012	0,013
Mn	0,007	0,010	0,009	0,008	0,009	0,009	0,010	0,008	0,009	0,009	0,008
Mg	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,984	0,981	0,978	0,982	0,979	0,982	0,976	0,982	0,980	0,978	0,978
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	78	80	81	82	83	84	85	86	88	90	91
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Gew.-%											
FeO	0,47	0,82	0,95	0,82	0,86	0,48	0,97	0,81	0,49	0,88	0,78
MnO	0,46	0,59	0,76	0,62	0,67	0,47	0,54	0,66	0,44	0,64	0,64
MgO	0,01	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,05
CaO	54,56	53,82	53,35	53,70	53,59	54,27	53,94	53,98	54,23	53,73	53,60
SrO	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,00
CO₂	43,40	43,16	42,96	43,08	43,03	43,18	43,28	43,29	43,15	43,15	42,99
Summe	98,91	98,46	98,06	98,28	98,19	98,42	98,75	98,75	98,34	98,45	98,06

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,012	0,014	0,012	0,012	0,007	0,014	0,011	0,007	0,013	0,011
Mn	0,007	0,008	0,011	0,009	0,010	0,007	0,008	0,010	0,006	0,009	0,009
Mg	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Ca	0,987	0,979	0,975	0,979	0,977	0,986	0,978	0,979	0,987	0,977	0,979
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	92	93	96	97	99	101	102	103	104	105	107
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Gew.-%											
FeO	0,72	0,64	0,57	0,97	0,91	0,89	0,79	0,71	0,66	0,83	0,92
MnO	0,61	0,56	0,56	0,63	0,74	0,78	0,82	0,71	0,57	0,68	0,71
MgO	0,03	0,03	0,02	0,04	0,01	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02
CaO	53,95	53,93	54,35	53,70	53,57	53,48	53,49	53,69	54,21	53,84	53,43
SrO	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01
CO₂	43,19	43,09	43,38	43,17	43,07	43,05	43,00	43,04	43,32	43,22	42,96
Summe	98,50	98,25	98,89	98,52	98,30	98,25	98,12	98,17	98,78	98,62	98,05

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,010	0,009	0,008	0,014	0,013	0,013	0,011	0,010	0,009	0,012	0,013
Mn	0,009	0,008	0,008	0,009	0,011	0,011	0,012	0,010	0,008	0,010	0,010
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
Ca	0,980	0,982	0,983	0,976	0,976	0,975	0,976	0,979	0,982	0,978	0,976
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26861	26861	26861	26861	26861
Gew.-%											
FeO	0,88	0,97	0,38	1,01	0,91	0,54	0,46	0,41	0,86	0,50	0,48
MnO	0,65	0,57	0,67	0,68	0,65	0,61	0,41	0,48	0,66	0,47	0,48
MgO	0,02	0,04	0,01	0,04	0,03	0,02	0,00	0,03	0,04	0,01	0,03
CaO	53,61	54,17	54,59	53,59	53,73	54,13	54,14	54,18	53,66	54,28	54,35
SrO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
CO₂	43,03	43,50	43,50	43,15	43,15	43,23	43,03	43,10	43,09	43,21	43,27
Summe	98,18	99,24	99,16	98,48	98,46	98,56	98,04	98,19	98,30	98,48	98,61

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,012	0,014	0,005	0,014	0,013	0,008	0,007	0,006	0,012	0,007	0,007
Mn	0,009	0,008	0,010	0,010	0,009	0,009	0,006	0,007	0,009	0,007	0,007
Mg	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Ca	0,978	0,977	0,985	0,975	0,977	0,983	0,988	0,987	0,978	0,986	0,986
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	119	120	122	123	124	125	127	128	129	130	132
Ds. Nr.	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861
Gew.-%											
FeO	0,38	0,52	0,41	0,62	0,68	0,49	0,43	0,53	0,44	0,40	0,46
MnO	0,49	0,51	0,43	0,51	0,61	0,51	0,48	0,51	0,51	0,47	0,44
MgO	0,01	0,03	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02
CaO	54,60	54,36	54,31	53,86	53,99	54,42	54,14	54,23	54,61	54,28	54,49
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
CO₂	43,40	43,32	43,14	42,99	43,18	43,33	43,07	43,23	43,45	43,15	43,34
Summe	98,88	98,73	98,28	98,00	98,47	98,75	98,15	98,53	99,02	98,31	98,77

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,005	0,007	0,006	0,009	0,010	0,007	0,006	0,008	0,006	0,006	0,007
Mn	0,007	0,007	0,006	0,007	0,009	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,006
Mg	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,988	0,985	0,988	0,983	0,982	0,986	0,987	0,985	0,987	0,987	0,987
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	133	135	137	138	139	140	141	142	143	144	145
Ds. Nr.	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861
Gew.-%											
FeO	0,47	0,48	0,43	0,50	0,39	0,43	0,42	0,52	0,56	0,45	0,64
MnO	0,44	0,47	0,43	0,53	0,42	0,42	0,46	0,47	0,55	0,53	0,51
MgO	0,01	0,01	0,02	0,00	0,02	0,03	0,01	0,03	0,01	0,00	0,02
CaO	54,28	54,41	54,64	54,06	54,25	54,36	54,19	54,18	54,07	54,22	54,41
SrO	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00
CO₂	43,17	43,31	43,43	43,07	43,10	43,22	43,08	43,16	43,13	43,16	43,42
Summe	98,37	98,72	98,95	98,17	98,20	98,46	98,16	98,35	98,34	98,36	98,99

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,007	0,006	0,007	0,006	0,006	0,006	0,007	0,008	0,006	0,009
Mn	0,006	0,007	0,006	0,008	0,006	0,006	0,007	0,007	0,008	0,008	0,007
Mg	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Ca	0,987	0,986	0,988	0,985	0,988	0,987	0,987	0,985	0,984	0,986	0,984
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	146	147	148	149	150	152	153	154	157	158	159
Ds. Nr.	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861
Gew.-%											
FeO	0,51	0,56	0,30	0,52	0,38	0,54	0,51	0,52	0,52	0,34	0,54
MnO	0,48	0,47	0,38	0,58	0,44	0,56	0,54	0,53	0,52	0,44	0,57
MgO	0,00	0,03	0,00	0,03	0,00	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
CaO	54,58	54,63	54,67	54,31	54,73	54,53	54,20	54,26	54,21	54,91	54,15
SrO	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,44	43,53	43,33	43,34	43,45	43,51	43,20	43,25	43,21	43,60	43,21
Summe	99,00	99,22	98,69	98,80	99,00	99,18	98,47	98,58	98,48	99,31	98,50

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,008	0,004	0,007	0,005	0,008	0,007	0,007	0,007	0,005	0,008
Mn	0,007	0,007	0,005	0,008	0,006	0,008	0,008	0,008	0,007	0,006	0,008
Mg	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,986	0,985	0,990	0,984	0,989	0,984	0,985	0,985	0,985	0,989	0,984
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	160	162	164	165	166	168	169	171	172	173	174
Ds. Nr.	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861
Gew.-%											
FeO	0,27	0,28	0,64	0,37	0,60	0,40	0,50	0,35	0,43	0,69	0,52
MnO	0,72	0,44	0,71	0,52	0,69	0,45	0,55	0,44	0,60	0,88	0,85
MgO	0,01	0,00	0,04	0,01	0,03	0,02	0,02	0,00	0,01	0,05	0,01
CaO	54,29	54,49	54,08	54,33	53,86	54,84	54,34	54,91	54,47	53,79	54,42
SrO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02
CO₂	43,23	43,20	43,31	43,21	43,09	43,59	43,33	43,59	43,38	43,25	43,56
Summe	98,51	98,41	98,77	98,46	98,27	99,31	98,75	99,31	98,88	98,68	99,37

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheiten

Fe²⁺	0,004	0,004	0,009	0,005	0,009	0,006	0,007	0,005	0,006	0,010	0,007
Mn	0,010	0,006	0,010	0,007	0,010	0,006	0,008	0,006	0,009	0,013	0,012
Mg	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,986	0,990	0,980	0,987	0,981	0,988	0,985	0,989	0,986	0,976	0,981
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	176	177	178	179	180	181	182	183	185	186	188
Ds. Nr.	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861
Gew.-%											
FeO	0,54	0,42	0,51	0,44	0,43	0,55	0,66	0,46	0,64	0,47	0,68
MnO	0,58	0,58	0,50	0,50	0,59	0,54	0,62	0,55	0,60	0,51	0,63
MgO	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03
CaO	54,69	54,63	54,54	54,80	54,37	54,22	54,41	54,77	53,91	54,09	54,16
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03
CO₂	43,62	43,50	43,43	43,61	43,33	43,24	43,49	43,62	43,10	43,06	43,36
Summe	99,44	99,13	98,98	99,36	98,76	98,57	99,18	99,42	98,28	98,13	98,89

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,006	0,007	0,006	0,006	0,008	0,009	0,006	0,009	0,007	0,010
Mn	0,008	0,008	0,007	0,007	0,008	0,008	0,009	0,008	0,009	0,007	0,009
Mg	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Ca	0,984	0,986	0,986	0,986	0,985	0,984	0,982	0,986	0,982	0,986	0,981
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	189	193	194	195	197	198	199	200	201	203	204
Ds. Nr.	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26861
Gew.-%											
FeO	0,56	0,40	0,54	0,46	0,51	0,44	0,34	0,57	0,43	0,68	0,66
MnO	0,61	0,56	0,51	0,50	0,53	0,55	0,72	0,49	0,51	0,58	0,59
MgO	0,01	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03
CaO	53,96	54,10	54,37	54,30	54,49	54,67	54,21	54,06	54,51	54,43	54,25
SrO	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,02	0,03	0,00	0,04	0,02
CO₂	43,08	43,07	43,34	43,23	43,40	43,54	43,22	43,11	43,38	43,53	43,39
Summe	98,22	98,15	98,79	98,52	98,93	99,24	98,53	98,28	98,84	99,28	98,95

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,006	0,008	0,006	0,007	0,006	0,005	0,008	0,006	0,010	0,009
Mn	0,009	0,008	0,007	0,007	0,008	0,008	0,010	0,007	0,007	0,008	0,008
Mg	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Ca	0,983	0,986	0,985	0,986	0,985	0,986	0,985	0,984	0,986	0,982	0,981
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An.Nr.	205	206	207	208	209	210	212	213	215	217	218
Ds. Nr.	26861	26861	26861	26861	26861	26861	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,55	0,63	0,68	0,64	0,46	0,39	0,55	0,42	0,55	0,38	0,39
MnO	0,57	0,63	0,66	0,61	0,61	0,51	0,59	0,53	0,53	0,46	0,47
MgO	0,02	0,04	0,03	0,04	0,02	0,01	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01
CaO	54,17	54,24	53,83	54,15	54,82	54,70	53,94	54,49	53,98	54,18	54,42
SrO	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,04	0,04	0,00
CO₂	43,24	43,40	43,11	43,31	43,71	43,50	43,06	43,37	43,06	43,07	43,25
Summe	98,58	98,97	98,31	98,74	99,63	99,11	98,17	98,84	98,17	98,15	98,55

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,009	0,010	0,009	0,006	0,005	0,008	0,006	0,008	0,005	0,006
Mn	0,008	0,009	0,009	0,009	0,009	0,007	0,008	0,008	0,008	0,007	0,007
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Ca	0,983	0,981	0,980	0,981	0,985	0,987	0,983	0,986	0,984	0,987	0,988
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An.Nr.	221	222	223	227	228	230	232	234	235	236	237
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,42	0,43	0,46	0,43	0,44	0,37	0,40	0,61	0,51	0,50	0,52
MnO	0,39	0,41	0,50	0,56	0,56	0,49	0,50	0,72	0,63	0,52	0,62
MgO	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00
CaO	54,74	54,13	54,33	54,19	54,16	54,22	54,17	53,73	53,88	54,08	54,13
SrO	0,02	0,02	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
CO₂	43,48	43,02	43,23	43,15	43,14	43,09	43,08	43,00	42,99	43,10	43,19
Summe	99,06	98,02	98,53	98,35	98,34	98,18	98,15	98,07	98,03	98,23	98,46

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,005	0,006	0,009	0,007	0,007	0,007
Mn	0,006	0,006	0,007	0,008	0,008	0,007	0,007	0,010	0,009	0,008	0,009
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,988	0,988	0,986	0,986	0,985	0,988	0,987	0,981	0,984	0,985	0,984
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An.Nr.	240	246	249	250	254	257	259	262	263	264	267
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,48	0,39	0,43	0,44	0,64	0,35	0,37	0,61	0,57	0,47	0,37
MnO	0,58	0,59	0,57	0,56	0,75	0,51	0,53	0,64	0,63	0,52	0,43
MgO	0,03	0,01	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,05
CaO	54,13	54,30	54,15	54,15	53,85	54,54	54,35	53,96	53,95	54,04	54,17
SrO	0,04	0,00	0,03	0,01	0,00	0,05	0,00	0,03	0,01	0,01	0,00
CO₂	43,18	43,23	43,12	43,13	43,16	43,36	43,21	43,14	43,12	43,05	43,06
Summe	98,44	98,52	98,30	98,31	98,44	98,81	98,47	98,40	98,31	98,12	98,09

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,006	0,006	0,006	0,009	0,005	0,005	0,009	0,008	0,007	0,005
Mn	0,008	0,008	0,008	0,008	0,011	0,007	0,008	0,009	0,009	0,008	0,006
Mg	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Ca	0,984	0,986	0,986	0,986	0,979	0,987	0,987	0,982	0,982	0,985	0,988
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	268	269	271	272	273	275	276	278	279	282	283
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,54	0,58	0,21	0,82	0,62	0,48	0,43	0,52	0,58	0,52	0,41
MnO	0,62	0,59	0,24	0,56	0,72	0,52	0,58	0,61	0,65	0,62	0,53
MgO	0,03	0,02	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01
CaO	53,93	55,31	55,16	53,87	53,75	54,58	54,28	54,01	54,06	54,24	54,57
SrO	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
CO₂	43,10	44,15	43,59	43,15	43,02	43,50	43,26	43,09	43,20	43,29	43,42
Summe	98,28	100,66	99,23	98,43	98,12	99,13	98,60	98,24	98,51	98,68	98,94

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,008	0,003	0,012	0,009	0,007	0,006	0,007	0,008	0,007	0,006
Mn	0,009	0,008	0,003	0,008	0,010	0,007	0,008	0,009	0,009	0,009	0,008
Mg	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,982	0,983	0,993	0,980	0,981	0,985	0,985	0,984	0,982	0,983	0,987
Sr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	284	286	287	288	290	292	293	295	296	298	299
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,68	0,65	4,56	0,80	0,72	0,65	0,57	0,49	0,46	0,15	1,44
MnO	0,76	0,68	0,40	0,77	0,76	0,78	0,65	0,53	0,52	0,14	0,67
MgO	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,01	0,01	0,07	0,24
CaO	53,76	53,84	50,45	53,64	53,62	53,50	53,82	54,55	54,16	55,91	52,87
SrO	0,00	0,02	0,00	0,03	0,05	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	0,03
CO₂	43,10	43,12	42,67	43,10	43,06	42,90	43,04	43,45	43,14	44,14	43,07
Summe	98,32	98,34	98,12	98,37	98,25	97,87	98,14	99,03	98,33	100,42	98,32

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,010	0,009	0,065	0,011	0,010	0,009	0,008	0,007	0,007	0,002	0,021
Mn	0,011	0,010	0,006	0,011	0,011	0,011	0,009	0,008	0,008	0,002	0,010
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,002	0,006
Ca	0,979	0,980	0,928	0,977	0,977	0,979	0,982	0,986	0,986	0,994	0,964
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	301	306	308	341	342	343	344	345	346	347	348
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,48	0,47	0,40	0,50	0,50	0,51	0,49	0,61	0,56	0,66	0,56
MnO	0,71	0,79	0,65	0,74	0,58	0,63	0,56	0,74	0,69	0,80	0,61
MgO	0,01	0,03	0,00	0,03	0,01	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,03
CaO	54,11	53,90	54,25	54,38	54,25	54,10	54,19	53,80	54,30	53,36	54,15
SrO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,22	43,10	43,22	43,48	43,26	43,19	43,20	43,09	43,39	42,82	43,24
Summe	98,54	98,28	98,52	99,12	98,60	98,46	98,47	98,27	98,95	97,68	98,58

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,007	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,009	0,008	0,009	0,008
Mn	0,010	0,011	0,009	0,011	0,008	0,009	0,008	0,011	0,010	0,012	0,009
Mg	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001
Ca	0,983	0,982	0,985	0,982	0,985	0,983	0,985	0,980	0,982	0,978	0,983
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	349	350	351	352	355	356	357	358	359	360	361
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,52	0,64	0,22	0,18	0,43	0,67	0,42	0,50	0,56	0,54	1,31
MnO	0,80	0,78	0,28	0,12	0,72	0,80	0,63	0,72	0,71	0,74	0,94
MgO	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,04	0,01	0,02	0,01	0,04	0,59
CaO	53,79	53,85	55,46	55,60	53,94	53,75	54,09	54,17	54,20	53,90	52,30
SrO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,05	0,00
CO₂	43,04	43,16	43,85	43,87	43,08	43,13	43,12	43,29	43,33	43,15	43,08
Summe	98,16	98,45	99,84	99,83	98,21	98,39	98,29	98,71	98,82	98,41	98,22

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,009	0,003	0,003	0,006	0,010	0,006	0,007	0,008	0,008	0,019
Mn	0,012	0,011	0,004	0,002	0,010	0,011	0,009	0,010	0,010	0,011	0,014
Mg	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,015
Ca	0,981	0,979	0,993	0,995	0,983	0,978	0,985	0,982	0,982	0,981	0,953
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	362	363	364	365	366	367	369	370	626	638	639
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,65	0,49	0,39	0,58	0,48	0,57	0,42	0,59	0,52	0,57	0,50
MnO	0,61	0,84	0,60	0,79	0,63	0,83	0,64	0,80	0,62	0,66	0,62
MgO	0,03	0,02	0,02	0,01	0,03	0,02	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02
CaO	54,11	53,78	54,09	53,98	54,67	53,84	54,28	53,78	54,40	53,93	54,36
SrO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,06	0,02	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,27	43,05	43,08	43,21	43,63	43,13	43,28	43,09	43,41	43,07	43,37
Summe	98,68	98,19	98,17	98,56	99,46	98,39	98,69	98,29	98,96	98,22	98,87

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,009	0,007	0,005	0,008	0,007	0,008	0,006	0,008	0,007	0,008	0,007
Mn	0,009	0,012	0,009	0,011	0,009	0,012	0,009	0,011	0,009	0,009	0,009
Mg	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,982	0,981	0,986	0,981	0,983	0,980	0,984	0,980	0,984	0,983	0,984
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	640	641	642	643	644	645	646	661	662	663	665
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,55	0,68	0,51	0,61	0,42	0,37	0,72	0,49	0,55	0,44	0,60
MnO	0,59	0,67	0,58	0,76	0,47	0,42	0,62	0,54	0,66	0,65	0,68
MgO	0,03	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02
CaO	53,89	54,13	54,43	53,77	54,15	54,31	54,16	54,18	54,04	54,03	54,07
SrO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,04
CO₂	43,03	43,31	43,39	43,04	43,07	43,13	43,33	43,17	43,19	43,08	43,27
Summe	98,09	98,79	98,90	98,18	98,13	98,24	98,83	98,39	98,48	98,21	98,68

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,010	0,007	0,009	0,006	0,005	0,010	0,007	0,008	0,006	0,008
Mn	0,009	0,010	0,008	0,011	0,007	0,006	0,009	0,008	0,010	0,009	0,010
Mg	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
Ca	0,983	0,981	0,985	0,981	0,987	0,989	0,981	0,985	0,982	0,984	0,981
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	667	668	675	680	687	688	690	815	1019	1022	1024
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,49	0,50	0,48	0,01	0,48	0,54	0,90	0,76	0,52	0,63	0,66
MnO	0,57	0,72	0,52	0,01	0,57	0,65	0,74	0,80	0,66	0,71	0,70
MgO	0,01	0,02	0,04	0,12	0,02	0,01	0,10	0,02	0,03	0,02	0,03
CaO	54,04	54,09	53,98	55,70	54,20	54,04	53,58	53,48	53,99	54,13	53,63
SrO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03
CO₂	43,08	43,23	43,03	43,85	43,20	43,16	43,17	42,97	43,12	43,34	42,97
Summe	98,20	98,56	98,05	99,69	98,47	98,41	98,50	98,05	98,31	98,84	98,01

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,007	0,007	0,000	0,007	0,008	0,013	0,011	0,007	0,009	0,009
Mn	0,008	0,010	0,008	0,000	0,008	0,009	0,011	0,012	0,009	0,010	0,010
Mg	0,000	0,000	0,001	0,003	0,000	0,000	0,003	0,001	0,001	0,000	0,001
Ca	0,985	0,982	0,985	0,997	0,985	0,983	0,974	0,977	0,983	0,981	0,980
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	1025	1026	1030	371	372	373	374	375	378	379	381
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,57	0,73	0,57	0,41	0,46	0,47	0,48	0,67	0,69	0,63	0,52
MnO	0,67	0,75	0,58	0,83	0,78	0,79	0,83	0,90	0,86	1,02	0,79
MgO	0,03	0,05	0,02	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,03	0,02
CaO	53,99	53,61	54,14	54,36	54,01	54,01	54,13	53,53	53,69	53,75	54,12
SrO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,17	43,04	43,21	43,43	43,16	43,21	43,32	43,01	43,10	43,23	43,30
Summe	98,45	98,17	98,52	99,03	98,43	98,56	98,79	98,13	98,36	98,66	98,76

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,010	0,008	0,006	0,007	0,007	0,007	0,009	0,010	0,009	0,007
Mn	0,010	0,011	0,008	0,012	0,011	0,011	0,012	0,013	0,012	0,015	0,011
Mg	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
Ca	0,982	0,978	0,983	0,983	0,982	0,981	0,981	0,977	0,978	0,976	0,981
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	382	383	384	385	386	387	389	390	391	393	394
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,63	0,51	1,26	0,71	0,53	0,52	0,53	0,58	0,94	0,81	0,45
MnO	0,83	0,88	1,08	0,77	0,63	0,71	0,78	0,82	1,01	0,85	0,49
MgO	0,01	0,02	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,06	0,05	0,02
CaO	53,68	53,67	52,95	53,93	54,49	53,92	53,82	53,70	53,54	53,52	54,32
SrO	0,00	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
CO₂	43,04	43,00	43,05	43,28	43,50	43,10	43,06	43,01	43,28	43,09	43,24
Summe	98,20	98,09	98,42	98,74	99,16	98,28	98,22	98,12	98,83	98,35	98,53

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,009	0,007	0,018	0,010	0,007	0,007	0,008	0,008	0,013	0,012	0,006
Mn	0,012	0,013	0,016	0,011	0,009	0,010	0,011	0,012	0,015	0,012	0,007
Mg	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
Ca	0,979	0,980	0,965	0,978	0,983	0,982	0,981	0,980	0,971	0,975	0,986
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	395	397	398	399	401	402	403	404	405	406	409
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,45	0,43	0,56	0,64	0,49	0,48	0,45	0,45	0,51	0,39	0,61
MnO	0,90	0,80	0,79	0,85	0,79	0,83	0,83	0,78	0,91	0,80	0,97
MgO	0,03	0,01	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02
CaO	53,89	53,88	53,64	54,09	54,09	54,04	54,11	54,29	53,85	54,00	53,68
SrO	0,00	0,02	0,02	0,03	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01
CO₂	43,16	43,05	42,97	43,39	43,25	43,24	43,29	43,38	43,15	43,14	43,13
Summe	98,42	98,17	98,01	99,00	98,63	98,61	98,73	98,91	98,43	98,35	98,43

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,006	0,006	0,008	0,009	0,007	0,007	0,006	0,006	0,007	0,006	0,009
Mn	0,013	0,011	0,011	0,012	0,011	0,012	0,012	0,011	0,013	0,011	0,014
Mg	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
Ca	0,980	0,982	0,980	0,979	0,982	0,981	0,981	0,982	0,980	0,983	0,977
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	410	412	413	414	416	418	419	420	421	423	427
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,61	0,54	0,58	0,59	0,47	0,69	0,79	0,68	0,52	0,48	0,62
MnO	0,72	0,94	0,63	0,62	0,84	0,94	0,97	0,75	0,65	0,91	0,79
MgO	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01
CaO	53,89	53,72	54,05	54,20	53,91	53,91	53,59	53,63	53,95	53,77	54,25
SrO	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,13	43,10	43,21	43,30	43,13	43,35	43,17	43,02	43,08	43,07	43,45
Summe	98,37	98,33	98,53	98,72	98,37	98,92	98,56	98,14	98,22	98,24	99,11

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,009	0,008	0,008	0,008	0,007	0,010	0,011	0,010	0,007	0,007	0,009
Mn	0,010	0,014	0,009	0,009	0,012	0,013	0,014	0,011	0,009	0,013	0,011
Mg	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000
Ca	0,981	0,978	0,982	0,983	0,981	0,976	0,974	0,978	0,983	0,980	0,980
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	428	429	430	431	432	434	435	436	437	439	440
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,56	0,52	0,70	0,44	0,65	0,35	0,50	0,55	0,56	0,44	0,38
MnO	0,81	0,92	0,82	0,87	0,78	0,73	0,64	0,66	0,68	0,87	0,96
MgO	0,02	0,00	0,03	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,04
CaO	53,79	53,83	53,56	53,92	53,68	54,49	54,57	54,05	53,79	53,89	53,77
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,01
CO₂	43,09	43,14	43,00	43,14	43,02	43,45	43,55	43,17	42,99	43,13	43,07
Summe	98,27	98,42	98,11	98,39	98,15	99,04	99,27	98,45	98,04	98,36	98,23

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,007	0,010	0,006	0,009	0,005	0,007	0,008	0,008	0,006	0,005
Mn	0,012	0,013	0,012	0,013	0,011	0,010	0,009	0,009	0,010	0,013	0,014
Mg	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Ca	0,980	0,980	0,978	0,981	0,979	0,984	0,984	0,983	0,982	0,981	0,980
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	442	443	444	445	446	448	451	454	455	459	461
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,56	0,98	0,45	0,44	0,49	0,54	0,64	0,44	0,78	0,62	0,60
MnO	0,67	0,84	0,57	0,57	0,57	0,61	0,68	0,75	0,81	0,87	0,90
MgO	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,03	0,02
CaO	54,25	53,51	54,39	54,28	54,50	53,89	53,70	53,90	53,67	53,88	53,87
SrO	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,36	43,16	43,32	43,24	43,44	43,03	43,00	43,04	43,12	43,23	43,23
Summe	98,88	98,54	98,74	98,56	99,02	98,10	98,08	98,14	98,40	98,63	98,63

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,014	0,006	0,006	0,007	0,008	0,009	0,006	0,011	0,009	0,009
Mn	0,010	0,012	0,008	0,008	0,008	0,009	0,010	0,011	0,012	0,012	0,013
Mg	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
Ca	0,982	0,973	0,985	0,985	0,985	0,983	0,980	0,983	0,977	0,978	0,978
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	462	463	465	466	467	468	469	470	471	472	473
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,68	0,73	0,46	0,63	0,53	0,55	0,56	0,91	0,61	0,61	0,54
MnO	1,01	0,83	0,81	0,66	0,59	0,62	0,65	0,99	0,78	0,94	0,68
MgO	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,02	0,00	0,03	0,02	0,03	0,02
CaO	53,87	53,78	53,76	53,89	54,06	53,89	54,02	53,37	53,79	53,93	54,19
SrO	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
CO₂	43,36	43,20	43,00	43,09	43,14	43,04	43,13	43,08	43,10	43,32	43,31
Summe	98,98	98,56	98,06	98,27	98,34	98,14	98,35	98,37	98,30	98,85	98,74

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,010	0,010	0,007	0,009	0,007	0,008	0,008	0,013	0,009	0,009	0,008
Mn	0,014	0,012	0,012	0,010	0,008	0,009	0,009	0,014	0,011	0,013	0,010
Mg	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,975	0,977	0,981	0,982	0,984	0,983	0,983	0,972	0,980	0,977	0,982
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	474	476	477	478	479	480	481	482	483	484	485
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,75	0,62	0,60	0,50	0,66	0,57	0,68	0,69	0,95	0,51	3,44
MnO	0,82	1,01	0,76	0,92	0,85	0,78	0,81	0,88	0,85	0,78	1,21
MgO	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,02	2,91
CaO	54,03	53,93	53,99	53,78	53,71	54,29	53,70	53,71	53,64	53,96	48,12
SrO	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00
CO₂	43,40	43,36	43,24	43,11	43,10	43,44	43,08	43,15	43,25	43,17	43,79
Summe	99,02	98,96	98,62	98,33	98,34	99,08	98,28	98,46	98,73	98,45	99,46

Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,011	0,009	0,008	0,007	0,009	0,008	0,010	0,010	0,013	0,007	0,048
Mn	0,012	0,014	0,011	0,013	0,012	0,011	0,012	0,013	0,012	0,011	0,017
Mg	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,072
Ca	0,977	0,976	0,980	0,979	0,978	0,981	0,979	0,977	0,974	0,981	0,863
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	865	886	889	892	893	894	895	916	929	1012	1014
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	0,62	0,91	0,67	0,56	0,46	0,59	1,96	1,11	0,44	0,22	0,56
MnO	0,83	1,18	0,62	0,63	0,69	0,67	1,09	0,86	0,70	0,25	0,51
MgO	0,02	0,07	0,01	0,04	0,03	0,03	0,54	0,14	0,02	0,08	0,02
CaO	54,33	53,24	54,20	54,02	54,64	53,82	53,10	53,43	54,04	55,54	54,14
SrO	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
CO₂	43,56	43,16	43,34	43,16	43,62	43,06	43,17	43,29	43,14	43,97	43,16
Summe	99,37	98,60	98,84	98,41	99,44	98,19	98,85	98,81	98,34	100,07	98,40

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,009	0,013	0,009	0,008	0,006	0,008	0,042	0,016	0,006	0,003	0,008
Mn	0,012	0,017	0,009	0,009	0,010	0,010	0,016	0,012	0,010	0,004	0,007
Mg	0,000	0,002	0,000	0,001	0,001	0,001	0,014	0,003	0,001	0,002	0,000
Ca	0,979	0,968	0,982	0,982	0,983	0,981	0,929	0,969	0,983	0,992	0,985
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	1036	1038	1039	1041	1042	1043	1044	1045	1046	1072	1073
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Gew.-%											
FeO	0,75	0,58	0,66	0,90	0,47	0,55	0,91	0,76	0,92	0,45	0,72
MnO	0,93	0,68	0,87	1,15	0,53	0,90	1,09	1,04	0,90	0,74	0,73
MgO	0,03	0,02	0,02	0,04	0,01	0,03	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
CaO	53,47	53,89	53,82	53,38	54,13	54,03	53,07	53,35	53,31	54,22	53,85
SrO	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
CO₂	43,03	43,09	43,20	43,21	43,12	43,33	42,95	43,01	43,00	43,30	43,17
Summe	98,21	98,26	98,57	98,70	98,28	98,84	98,10	98,18	98,18	98,73	98,49

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheiten

Fe²⁺	0,011	0,008	0,009	0,013	0,007	0,008	0,013	0,011	0,013	0,006	0,010
Mn	0,013	0,010	0,013	0,017	0,008	0,013	0,016	0,015	0,013	0,011	0,011
Mg	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
Ca	0,976	0,982	0,978	0,970	0,985	0,979	0,970	0,974	0,973	0,983	0,979
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	1074	1078	1082	1101	1103	1109	1111	1125	1128	1129	1130
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Gew.-%											
FeO	0,46	1,68	0,76	1,12	0,84	0,74	1,05	0,55	0,58	0,51	0,64
MnO	0,76	0,46	0,74	0,98	0,80	0,79	0,85	0,97	0,72	0,83	0,82
MgO	0,03	0,70	0,03	0,05	0,03	0,02	0,04	0,01	0,03	0,00	0,00
CaO	54,06	52,49	54,09	52,93	53,59	53,68	53,15	53,84	53,71	54,03	53,78
SrO	0,00	0,00	0,02	0,05	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00
CO₂	43,21	43,27	43,41	42,91	43,10	43,09	42,93	43,19	42,98	43,24	43,10
Summe	98,52	98,59	99,05	98,04	98,37	98,32	98,04	98,55	98,02	98,64	98,34

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,024	0,011	0,016	0,012	0,011	0,015	0,008	0,008	0,007	0,009
Mn	0,011	0,007	0,011	0,014	0,011	0,011	0,012	0,014	0,010	0,012	0,012
Mg	0,001	0,018	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000
Ca	0,982	0,952	0,978	0,968	0,976	0,978	0,972	0,978	0,981	0,981	0,979
Sr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	1131	1132	1134	1140	1146	491	492	495	501	511	512
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Gew.-%											
FeO	0,80	0,83	0,96	0,70	1,66	0,63	0,48	0,46	0,41	0,60	0,47
MnO	1,04	1,19	0,77	0,88	0,96	0,75	0,78	0,79	0,40	0,72	0,50
MgO	0,06	0,03	0,06	0,02	0,23	0,03	0,02	0,01	0,04	0,01	0,05
CaO	53,19	53,58	53,59	53,81	52,68	53,66	53,86	54,17	54,32	53,74	54,16
SrO	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
CO₂	42,94	43,34	43,18	43,24	43,21	43,00	43,08	43,30	43,17	43,02	43,15
Summe	98,04	98,99	98,55	98,67	98,75	98,09	98,22	98,73	98,34	98,12	98,32

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatome/Formeleinheit

Fe²⁺	0,011	0,012	0,014	0,010	0,024	0,009	0,007	0,007	0,006	0,009	0,007
Mn	0,015	0,017	0,011	0,013	0,014	0,011	0,011	0,011	0,006	0,010	0,007
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,006	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001
Ca	0,972	0,970	0,974	0,977	0,957	0,980	0,982	0,982	0,988	0,981	0,985
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	513	514	517	518	522	525	526	528	529	530	531
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Gew.-%											
FeO	0,24	0,51	0,74	0,62	0,87	0,68	0,72	0,73	0,77	0,53	0,67
MnO	0,35	0,66	0,79	0,71	0,86	0,59	0,78	0,72	0,67	0,66	0,81
MgO	0,05	0,01	0,03	0,04	0,02	0,06	0,01	0,04	0,05	0,02	0,04
CaO	55,13	54,44	53,55	53,65	53,44	53,69	54,44	53,61	54,04	54,08	54,23
SrO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
CO₂	43,68	43,46	43,00	42,98	43,03	42,98	43,66	43,02	43,36	43,19	43,52
Summe	99,45	99,08	98,11	98,02	98,25	98,01	99,62	98,14	98,90	98,48	99,26

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatome/Formeleinheit

Fe²⁺	0,003	0,007	0,011	0,009	0,012	0,010	0,010	0,010	0,011	0,007	0,009
Mn	0,005	0,009	0,011	0,010	0,012	0,009	0,011	0,010	0,010	0,009	0,012
Mg	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
Ca	0,991	0,983	0,978	0,980	0,975	0,980	0,979	0,978	0,978	0,983	0,978
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	532	534	535	536	538	539	540	541	542	544	546
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Gew.-%											
FeO	0,75	0,74	0,52	0,57	0,51	0,56	0,69	0,81	0,13	0,94	0,05
MnO	0,67	0,52	0,77	0,65	0,48	0,71	0,66	0,63	0,10	0,91	0,01
MgO	0,06	0,04	0,01	0,02	0,03	0,01	0,03	0,04	0,02	0,04	0,05
CaO	54,01	53,85	53,85	53,86	54,35	53,78	54,34	53,69	55,85	53,25	56,47
SrO	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,33	43,07	43,07	43,06	43,29	42,99	43,51	43,06	43,99	42,97	44,40
Summe	98,82	98,21	98,23	98,20	98,66	98,05	99,24	98,23	100,10	98,11	100,98

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatome/Formeleinheit

Fe²⁺	0,011	0,011	0,007	0,008	0,007	0,008	0,010	0,011	0,002	0,013	0,001
Mn	0,010	0,007	0,011	0,009	0,007	0,010	0,009	0,009	0,001	0,013	0,000
Mg	0,002	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,978	0,981	0,981	0,982	0,985	0,982	0,980	0,979	0,996	0,973	0,998
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	547	548	552	553	555	556	557	558	559	560	563
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Gew.-%											
FeO	0,62	0,84	0,94	0,61	0,86	0,87	0,59	0,42	0,41	0,43	0,69
MnO	0,49	0,69	0,65	0,43	0,69	0,85	0,69	0,61	0,62	0,52	0,61
MgO	0,04	0,05	0,07	0,04	0,05	0,05	0,03	0,01	0,00	0,02	0,04
CaO	54,00	53,74	53,46	54,43	53,57	53,62	53,76	54,33	54,58	54,29	53,86
SrO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
CO₂	43,10	43,17	43,01	43,40	43,05	43,19	43,02	43,30	43,48	43,21	43,11
Summe	98,25	98,49	98,13	98,92	98,23	98,58	98,10	98,69	99,10	98,47	98,31

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,009	0,012	0,013	0,009	0,012	0,012	0,008	0,006	0,006	0,006	0,010
Mn	0,007	0,010	0,009	0,006	0,010	0,012	0,010	0,009	0,009	0,007	0,009
Mg	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001
Ca	0,983	0,977	0,976	0,984	0,977	0,974	0,981	0,985	0,985	0,986	0,981
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	565	566	570	573	574	575	577	578	579	581	582
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Gew.-%											
FeO	0,69	0,73	0,28	0,48	0,71	0,29	0,77	0,28	0,74	0,85	0,42
MnO	0,50	0,66	0,28	0,44	0,51	0,24	0,58	0,25	0,75	0,70	0,33
MgO	0,05	0,05	0,10	0,05	0,06	0,07	0,06	0,12	0,07	0,07	0,05
CaO	53,88	53,69	55,26	54,13	53,77	55,21	53,78	55,44	53,56	53,71	55,31
SrO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01
CO₂	43,07	43,05	43,82	43,10	43,02	43,75	43,11	43,96	43,03	43,18	43,93
Summe	98,20	98,18	99,73	98,21	98,08	99,60	98,31	100,04	98,17	98,51	100,06

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,010	0,010	0,004	0,007	0,010	0,004	0,011	0,004	0,011	0,012	0,006
Mn	0,007	0,009	0,004	0,006	0,007	0,003	0,008	0,003	0,011	0,010	0,005
Mg	0,001	0,001	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,002	0,002	0,001
Ca	0,982	0,979	0,990	0,986	0,981	0,991	0,979	0,990	0,977	0,976	0,988
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	583	584	585	586	589	590	593	594	601	602	604
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Gew.-%											
FeO	0,65	0,64	0,40	0,56	0,47	0,88	0,12	0,53	0,78	0,55	0,69
MnO	0,51	0,48	0,34	0,59	0,82	0,84	0,11	0,58	0,80	0,46	0,48
MgO	0,02	0,04	0,06	0,04	0,01	0,09	0,13	0,03	0,06	0,03	0,05
CaO	54,57	53,89	54,62	53,98	53,98	53,77	55,21	54,42	53,51	54,21	54,22
SrO	0,02	0,02	0,00	0,04	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01
CO₂	43,56	43,03	43,39	43,13	43,17	43,36	43,62	43,43	43,03	43,20	43,33
Summe	99,33	98,09	98,81	98,33	98,46	98,94	99,22	98,99	98,17	98,46	98,77

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,009	0,009	0,006	0,008	0,007	0,012	0,002	0,008	0,011	0,008	0,010
Mn	0,007	0,007	0,005	0,008	0,012	0,012	0,002	0,008	0,012	0,007	0,007
Mg	0,000	0,001	0,002	0,001	0,000	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,983	0,983	0,988	0,983	0,981	0,974	0,993	0,984	0,976	0,985	0,982
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	605	607	608	609	610	611	613	616	960	961	966
Ds. Nr.	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965
Gew.-%											
FeO	0,55	0,65	0,60	0,39	0,58	0,56	0,16	0,91	0,98	0,73	0,89
MnO	0,44	0,54	0,50	0,43	0,48	0,56	0,14	0,63	0,96	0,74	0,59
MgO	0,03	0,03	0,02	0,02	0,05	0,03	0,10	0,06	0,07	0,06	0,06
CaO	54,24	53,98	54,21	54,21	53,97	54,02	55,54	54,13	53,28	53,65	53,60
SrO	0,00	0,04	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00
CO₂	43,22	43,14	43,24	43,06	43,07	43,13	43,88	43,49	43,10	43,08	43,04
Summe	98,49	98,37	98,56	98,11	98,19	98,34	99,82	99,22	98,41	98,29	98,18

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheiten

Fe²⁺	0,008	0,009	0,008	0,006	0,008	0,008	0,002	0,013	0,014	0,010	0,013
Mn	0,006	0,008	0,007	0,006	0,007	0,008	0,002	0,009	0,014	0,011	0,008
Mg	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001	0,001
Ca	0,985	0,982	0,984	0,988	0,984	0,983	0,994	0,977	0,971	0,977	0,978
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Ds. Nr.	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26967
Gew.-%											
FeO	0,48	0,34	0,76	0,29	0,39	0,42	0,66	0,52	0,64	0,50	0,47
MnO	0,90	0,88	0,99	0,86	1,00	1,07	0,52	0,54	0,47	0,56	1,09
MgO	0,04	0,05	0,05	0,07	0,05	0,05	0,02	0,04	0,03	0,03	0,07
CaO	52,13	53,22	52,82	53,38	52,82	53,16	52,81	53,43	53,34	53,30	52,65
SrO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
CO₂	41,83	42,57	42,59	42,68	42,36	42,64	42,19	42,64	42,58	42,51	42,37
Summe	95,39	97,06	97,21	97,29	96,61	97,27	96,20	97,19	97,07	96,90	96,67

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,007	0,005	0,011	0,004	0,006	0,006	0,010	0,007	0,009	0,007	0,007
Mn	0,013	0,013	0,014	0,013	0,015	0,016	0,008	0,008	0,007	0,008	0,016
Mg	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002
Ca	0,978	0,981	0,973	0,981	0,979	0,977	0,982	0,983	0,983	0,984	0,975
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	22	23	24	25	26	27	28	29	30	71	72
Ds. Nr.	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26967	26968	26968
Gew.-%											
FeO	0,37	0,31	0,13	0,46	0,63	0,62	0,52	0,80	0,51	0,75	0,36
MnO	1,23	0,98	0,34	0,73	0,62	0,58	0,48	0,61	0,46	0,65	1,03
MgO	0,08	0,05	0,10	0,07	0,03	0,02	0,01	0,03	0,02	0,05	0,08
CaO	52,99	53,19	54,89	53,48	52,87	52,87	53,03	52,40	53,01	53,02	52,69
SrO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02
CO₂	42,67	42,62	43,49	42,78	42,29	42,26	42,25	42,04	42,24	42,54	42,31
Summe	97,35	97,19	98,95	97,51	96,44	96,36	96,30	95,92	96,27	97,04	96,48

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,005	0,004	0,002	0,007	0,009	0,009	0,007	0,012	0,007	0,011	0,005
Mn	0,018	0,014	0,005	0,011	0,009	0,009	0,007	0,009	0,007	0,009	0,015
Mg	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002
Ca	0,975	0,980	0,991	0,981	0,981	0,982	0,985	0,978	0,985	0,978	0,977
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83
Ds. Nr.	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968
Gew.-%											
FeO	0,58	0,25	0,52	0,31	0,21	0,04	0,50	0,54	0,29	0,27	0,49
MnO	0,66	0,84	0,71	1,11	0,61	1,14	0,86	0,84	0,97	0,64	0,78
MgO	0,06	0,07	0,05	0,07	0,08	0,16	0,08	0,05	0,06	0,06	0,06
CaO	53,53	53,48	53,19	52,55	53,92	53,49	53,21	52,94	53,61	54,04	53,08
SrO	0,06	0,03	0,04	0,00	0,03	0,00	0,03	0,04	0,00	0,02	0,02
CO₂	42,86	42,74	42,58	42,19	42,92	42,88	42,70	42,50	42,91	43,05	42,53
Summe	97,73	97,42	97,10	96,22	97,76	97,72	97,38	96,92	97,84	98,10	96,98

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,004	0,007	0,004	0,003	0,001	0,007	0,008	0,004	0,004	0,007
Mn	0,010	0,012	0,010	0,016	0,009	0,017	0,012	0,012	0,014	0,009	0,011
Mg	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,004	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
Ca	0,980	0,982	0,980	0,978	0,986	0,979	0,978	0,978	0,980	0,985	0,980
Sr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94
Ds. Nr.	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968
Gew.-%											
FeO	0,15	0,38	0,44	0,35	0,98	0,41	0,05	0,42	0,38	0,31	0,49
MnO	0,42	0,91	0,82	0,99	0,73	0,65	0,20	0,77	0,97	0,92	0,80
MgO	0,01	0,05	0,07	0,08	0,05	0,06	0,09	0,05	0,06	0,10	0,06
CaO	54,44	52,95	52,90	53,29	52,93	53,47	55,52	53,53	53,30	53,08	53,95
SrO	0,04	0,00	0,03	0,02	0,03	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,05
CO₂	43,11	42,41	42,37	42,76	42,67	42,71	43,83	42,80	42,74	42,53	43,23
Summe	98,17	96,70	96,62	97,51	97,39	97,35	99,70	97,58	97,46	96,93	98,58

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,002	0,005	0,006	0,005	0,014	0,006	0,001	0,006	0,005	0,004	0,007
Mn	0,006	0,013	0,012	0,014	0,011	0,009	0,003	0,011	0,014	0,013	0,011
Mg	0,000	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002
Ca	0,991	0,980	0,980	0,978	0,974	0,983	0,994	0,982	0,979	0,980	0,979
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	95	96	97	98	99	100	41	42	43	44	45
Ds. Nr.	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26966	26966	26966	26966	26966
Gew.-%											
FeO	0,40	0,81	0,40	0,03	0,49	0,11	0,66	0,72	0,53	0,58	0,64
MnO	0,73	0,58	0,68	1,15	0,87	1,04	0,56	0,59	0,43	0,48	0,56
MgO	0,08	0,05	0,04	0,15	0,12	0,18	0,04	0,04	0,02	0,03	0,02
CaO	53,42	52,73	53,55	53,37	53,25	53,26	52,95	53,07	53,42	54,03	53,45
SrO	0,02	0,01	0,04	0,05	0,04	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01
CO₂	42,72	42,29	42,76	42,81	42,77	42,73	42,36	42,52	42,54	43,10	42,71
Summe	97,37	96,48	97,47	97,56	97,53	97,34	96,58	96,95	96,95	98,22	97,38

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,006	0,012	0,006	0,000	0,007	0,002	0,009	0,010	0,008	0,008	0,009
Mn	0,011	0,009	0,010	0,017	0,013	0,015	0,008	0,009	0,006	0,007	0,008
Mg	0,002	0,001	0,001	0,004	0,003	0,005	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000
Ca	0,981	0,978	0,983	0,978	0,977	0,978	0,981	0,980	0,985	0,984	0,982
Sr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	101	102	104	105	106	107	108	109	110	111	112
Ds. Nr.	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958
Gew.-%											
FeO	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,03
MnO	0,00	0,02	0,01	0,02	0,04	0,00	0,04	0,04	0,02	0,02	0,04
MgO	0,12	0,07	0,39	0,28	0,23	0,19	0,27	0,18	0,10	0,16	0,20
CaO	55,03	56,20	55,27	54,87	55,91	55,27	55,13	55,78	55,66	55,77	55,35
SrO	0,03	0,00	0,03	0,02	0,09	0,05	0,06	0,05	0,00	0,02	0,02
CO₂	43,36	44,20	43,83	43,41	44,22	43,64	43,67	44,04	43,82	43,97	43,71
Summe	98,55	100,50	99,55	98,62	100,51	99,15	99,19	100,08	99,63	99,95	99,36

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
Mg	0,003	0,002	0,010	0,007	0,006	0,005	0,007	0,004	0,002	0,004	0,005
Ca	0,996	0,998	0,990	0,992	0,993	0,994	0,991	0,994	0,997	0,996	0,994
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	113	114	115	116	117	119	120	121	123	124	125
Ds. Nr.	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958
Gew.-%											
FeO	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,03	0,02	0,05	0,02	0,00
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,16	0,01	0,04	0,03	0,01	0,00
MgO	0,18	0,27	0,02	0,20	0,09	0,19	0,21	0,23	0,30	0,32	0,17
CaO	55,41	55,33	55,64	55,34	55,82	54,57	55,43	55,28	55,03	54,96	55,76
SrO	0,00	0,02	0,04	0,05	0,02	0,00	0,05	0,06	0,10	0,02	0,08
CO₂	43,71	43,73	43,72	43,66	43,92	43,14	43,78	43,69	43,60	43,50	43,98
Summe	99,32	99,35	99,43	99,24	99,85	98,08	99,52	99,31	99,11	98,83	99,99

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Mg	0,005	0,007	0,001	0,005	0,002	0,005	0,005	0,006	0,008	0,008	0,004
Ca	0,995	0,993	0,999	0,995	0,998	0,993	0,994	0,993	0,991	0,992	0,995
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	126	127	128	129	130	131	134	136	137	138	140
Ds. Nr.	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958
Gew.-%											
FeO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,20	0,79	0,17	0,76	0,61	0,71	0,68
MnO	0,01	0,01	0,02	0,01	0,36	0,60	0,45	0,61	0,54	0,66	0,82
MgO	0,16	0,16	0,13	0,59	0,13	0,04	0,05	0,05	0,04	0,06	0,03
CaO	55,55	55,55	55,36	54,68	54,68	53,69	54,39	53,17	53,56	53,15	53,52
SrO	0,01	0,01	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01
CO₂	43,81	43,78	43,59	43,58	43,42	43,04	43,13	42,62	42,80	42,63	42,98
Summe	99,54	99,51	99,10	98,91	98,80	98,16	98,19	97,21	97,57	97,21	98,05

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,011	0,002	0,011	0,009	0,010	0,010
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,005	0,009	0,007	0,009	0,008	0,010	0,012
Mg	0,004	0,004	0,003	0,015	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,001
Ca	0,996	0,996	0,997	0,985	0,989	0,979	0,990	0,979	0,982	0,979	0,978
Sr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-7: Calcitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1-3). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	141	143	145	146	147	148	149	151	152	153	154
Ds. Nr.	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958
Gew.-%											
FeO	0,76	0,97	0,64	0,66	0,66	0,73	0,76	0,48	0,65	0,79	0,80
MnO	0,98	1,19	0,55	0,64	0,47	1,03	0,52	0,38	0,47	0,58	0,57
MgO	0,04	0,06	0,04	0,02	0,03	0,04	0,04	0,06	0,02	0,05	0,03
CaO	53,18	52,43	53,39	53,61	53,51	52,77	53,44	53,89	54,22	53,47	53,39
SrO	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,04	0,03	0,00	0,02	0,01	0,00
CO₂	42,88	42,55	42,67	42,90	42,73	42,58	42,78	42,89	43,28	42,87	42,80
Summe	97,86	97,20	97,29	97,83	97,42	97,19	97,57	97,70	98,68	97,77	97,59

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,011	0,014	0,009	0,009	0,009	0,011	0,011	0,007	0,009	0,011	0,011
Mn	0,014	0,017	0,008	0,009	0,007	0,015	0,008	0,006	0,007	0,008	0,008
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,974	0,967	0,982	0,981	0,983	0,973	0,981	0,986	0,983	0,979	0,979
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	155	156	157	158	159	160
Ds. Nr.	26958	26958	26958	26958	26958	26958

Gew.-%						
FeO	0,74	0,75	0,65	0,60	0,66	0,65
MnO	0,95	0,97	0,48	0,49	0,48	0,78
MgO	0,04	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03
CaO	53,16	52,92	53,89	54,22	53,67	53,21
SrO	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00
CO₂	42,81	42,61	43,03	43,25	42,88	42,68
Summe	97,70	97,27	98,10	98,58	97,73	97,35

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,011	0,011	0,009	0,008	0,009	0,009
Mn	0,014	0,014	0,007	0,007	0,007	0,011
Mg	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,975	0,975	0,983	0,984	0,983	0,979
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-8: Dolomitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	310	311	312	313	314	316	317	318	319	320	321
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	1,14	5,10	1,17	1,34	0,95	1,09	1,32	1,23	0,93	0,45	1,03
MnO	0,29	1,00	0,26	0,55	0,30	0,46	0,49	0,47	0,42	0,14	0,46
MgO	20,50	17,34	20,84	20,19	20,73	20,41	20,33	20,26	20,22	21,56	20,73
CaO	29,62	29,85	30,22	29,79	30,00	30,31	29,76	30,12	30,00	30,62	30,12
SrO	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂	46,50	46,10	47,34	46,59	46,94	47,02	46,66	46,81	46,44	47,93	47,18
Summe	98,05	99,40	99,81	98,47	98,92	99,30	98,57	98,89	98,01	100,70	99,52
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe ²⁺	0,030	0,135	0,030	0,035	0,025	0,028	0,035	0,032	0,024	0,012	0,027
Mn	0,008	0,027	0,007	0,015	0,008	0,012	0,013	0,013	0,011	0,004	0,012
Mg	0,963	0,821	0,961	0,946	0,964	0,948	0,951	0,945	0,950	0,982	0,959
Ca	1,000	1,016	1,002	1,003	1,003	1,012	1,001	1,010	1,014	1,003	1,002
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	324	325	326	328	329	331	333	334	335	336	337
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,95	1,29	0,75	0,99	0,97	0,70	0,91	1,29	0,75	1,06	0,92
MnO	0,45	0,37	0,22	0,45	0,44	0,26	0,34	0,51	0,20	0,42	0,40
MgO	20,30	20,15	20,76	20,04	20,53	20,90	20,71	20,90	21,00	20,22	20,43
CaO	30,27	29,96	29,73	30,13	30,04	29,76	30,04	29,87	30,28	30,08	30,13
SrO	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
CO ₂	46,77	46,53	46,59	46,42	46,86	46,77	46,97	47,37	47,27	46,59	46,77
Summe	98,74	98,31	98,05	98,03	98,84	98,40	99,00	99,94	99,50	98,38	98,66
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe ²⁺	0,025	0,034	0,020	0,026	0,025	0,018	0,024	0,033	0,020	0,028	0,024
Mn	0,012	0,010	0,006	0,012	0,012	0,007	0,009	0,013	0,005	0,011	0,011
Mg	0,947	0,946	0,973	0,943	0,957	0,976	0,963	0,964	0,970	0,948	0,954
Ca	1,016	1,010	1,002	1,019	1,006	0,999	1,004	0,990	1,005	1,013	1,011
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	338	339	340	629	630	632	633	635	636	637	651
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,84	0,90	0,84	4,65	0,90	0,94	0,93	0,58	0,62	2,68	2,45
MnO	0,38	0,25	0,33	0,82	0,52	0,46	0,54	0,25	0,37	0,69	0,60
MgO	20,76	20,98	21,13	17,66	20,40	20,31	20,55	20,93	20,76	19,31	19,29
CaO	29,80	29,81	29,96	29,88	30,00	30,24	29,92	30,20	29,95	29,89	29,92
SrO	0,01	0,01	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00
CO ₂	46,80	47,01	47,30	46,09	46,70	46,77	46,82	47,06	46,78	46,61	46,41
Summe	98,58	98,96	99,55	99,11	98,55	98,72	98,76	99,03	98,48	99,19	98,68
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe ²⁺	0,022	0,024	0,022	0,124	0,024	0,025	0,024	0,015	0,016	0,070	0,065
Mn	0,010	0,006	0,009	0,022	0,014	0,012	0,014	0,007	0,010	0,018	0,016
Mg	0,968	0,975	0,975	0,837	0,954	0,948	0,958	0,971	0,969	0,905	0,907
Ca	0,999	0,995	0,994	1,017	1,008	1,015	1,003	1,007	1,005	1,006	1,012
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-8: Dolomitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr. Ds. Nr.	755 26862	761 26862	763 26862	764 26862	765 26862	766 26862	767 26862	775 26862	776 26862	786 26862	787 26862
Gew.-%											
FeO	3,91	0,41	1,23	1,66	0,80	0,37	4,31	0,48	0,82	0,38	0,37
MnO	0,70	0,19	0,33	0,43	0,25	0,12	0,73	0,12	0,17	0,08	0,08
MgO	18,05	19,11	19,73	19,40	18,49	19,18	17,00	20,76	20,48	20,78	20,78
CaO	30,18	33,11	30,50	30,44	32,39	32,73	30,55	30,88	30,38	30,53	30,40
SrO	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	46,22	47,22	46,44	46,35	46,26	46,93	45,64	47,26	46,81	46,92	46,81
Summe	99,07	100,04	98,25	98,28	98,19	99,33	98,25	99,50	98,66	98,69	98,44
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,104	0,011	0,032	0,044	0,021	0,010	0,116	0,012	0,021	0,010	0,010
Mn	0,019	0,005	0,009	0,012	0,007	0,003	0,020	0,003	0,004	0,002	0,002
Mg	0,853	0,884	0,927	0,914	0,873	0,892	0,813	0,959	0,955	0,967	0,969
Ca	1,025	1,101	1,031	1,031	1,099	1,095	1,051	1,025	1,019	1,021	1,019
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr. Ds. Nr.	788 26862	789 26862	790 26862	791 26862	792 26862	799 26862	804 26862	805 26862	806 26862	807 26862	811 26862
Gew.-%											
FeO	0,32	0,47	0,32	0,38	0,52	0,35	0,29	0,38	0,32	1,43	0,99
MnO	0,08	0,11	0,05	0,08	0,13	0,10	0,07	0,09	0,06	0,22	0,20
MgO	20,93	20,81	20,54	20,94	20,96	20,69	20,76	21,05	20,89	20,11	20,43
CaO	30,56	30,38	30,58	30,17	29,96	30,31	30,30	30,07	30,55	30,59	30,27
SrO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,03
CO₂	47,08	46,92	46,65	46,82	46,80	46,65	46,66	46,87	47,02	46,98	46,80
Summe	98,96	98,68	98,16	98,39	98,37	98,10	98,07	98,49	98,85	99,33	98,71
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,008	0,012	0,009	0,010	0,014	0,009	0,008	0,010	0,008	0,037	0,026
Mn	0,002	0,003	0,001	0,002	0,003	0,003	0,002	0,002	0,002	0,006	0,005
Mg	0,971	0,969	0,961	0,976	0,978	0,969	0,971	0,980	0,970	0,935	0,953
Ca	1,019	1,016	1,029	1,012	1,005	1,020	1,019	1,007	1,020	1,022	1,015
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr. Ds. Nr.	817 26863	818 26863	819 26863	821 26863	822 26863	823 26863	824 26863	825 26863	826 26863	827 26863	829 26863
Gew.-%											
FeO	0,33	0,20	0,22	0,20	3,29	0,19	0,33	0,16	0,12	0,48	0,22
MnO	0,04	0,00	0,03	0,08	0,59	0,05	0,09	0,07	0,06	0,15	0,05
MgO	20,74	20,84	20,77	20,92	18,92	21,22	20,79	21,05	21,07	21,05	21,11
CaO	30,72	30,75	30,62	30,86	30,27	30,41	30,60	30,51	30,84	30,97	30,81
SrO	0,00	0,00	0,07	0,02	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	46,99	47,01	46,89	47,23	46,79	47,18	46,98	47,06	47,32	47,67	47,39
Summe	98,83	98,79	98,61	99,31	99,85	99,05	98,82	98,85	99,41	100,32	99,58
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,009	0,005	0,006	0,005	0,086	0,005	0,008	0,004	0,003	0,012	0,006
Mn	0,001	0,000	0,001	0,002	0,016	0,001	0,002	0,002	0,002	0,004	0,001
Mg	0,964	0,968	0,967	0,967	0,883	0,982	0,966	0,976	0,972	0,964	0,973
Ca	1,026	1,027	1,025	1,025	1,015	1,012	1,022	1,017	1,023	1,020	1,020
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-8: Dolomitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr. Ds. Nr.	831 26863	832 26863	833 26863	834 26863	835 26863	836 26863	837 26863	838 26863	840 26863	841 26863	842 26863
Gew.-%											
FeO	3,09	0,59	0,19	0,18	0,22	0,22	0,20	0,26	5,18	1,43	1,58
MnO	0,64	0,13	0,07	0,04	0,03	0,04	0,03	0,10	0,76	0,35	0,43
MgO	19,03	20,77	21,17	21,27	21,06	21,16	21,18	20,69	16,05	19,47	19,66
CaO	30,17	30,75	31,06	31,07	30,77	30,43	30,62	30,58	32,34	30,63	30,27
SrO	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,02
CO₂	46,74	47,25	47,66	47,73	47,29	47,15	47,28	46,81	46,56	46,39	46,46
Summe	99,67	99,49	100,18	100,29	99,37	99,01	99,30	98,44	100,91	98,27	98,42
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,081	0,015	0,005	0,005	0,006	0,006	0,005	0,007	0,136	0,038	0,042
Mn	0,017	0,003	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001	0,003	0,020	0,009	0,011
Mg	0,889	0,960	0,970	0,973	0,972	0,980	0,978	0,965	0,753	0,916	0,924
Ca	1,013	1,021	1,023	1,021	1,021	1,013	1,016	1,025	1,090	1,036	1,023
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr. Ds. Nr.	843 26863	844 26863	845 26863	846 26863	847 26863	848 26863	849 26863	851 26863	852 26863	853 26863	854 26863
Gew.-%											
FeO	0,28	0,26	0,26	0,37	0,52	0,80	0,49	0,33	0,43	0,31	0,30
MnO	0,09	0,08	0,11	0,15	0,10	0,21	0,18	0,11	0,12	0,11	0,11
MgO	19,95	19,50	20,06	20,38	20,26	20,22	20,59	18,91	20,95	20,15	20,44
CaO	31,84	32,21	32,02	31,32	30,59	30,77	30,96	33,20	30,77	31,07	31,12
SrO	0,02	0,01	0,00	0,01	0,05	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01
CO₂	46,99	46,78	47,25	47,14	46,52	46,85	47,19	46,98	47,37	46,66	47,00
Summe	99,16	98,84	99,70	99,35	98,04	98,86	99,41	99,55	99,65	98,33	98,98
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,007	0,007	0,007	0,010	0,014	0,021	0,013	0,009	0,011	0,008	0,008
Mn	0,002	0,002	0,003	0,004	0,003	0,005	0,005	0,003	0,003	0,003	0,003
Mg	0,927	0,910	0,927	0,944	0,951	0,943	0,953	0,879	0,966	0,943	0,950
Ca	1,063	1,081	1,064	1,043	1,032	1,031	1,030	1,109	1,020	1,045	1,039
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr. Ds. Nr.	855 26863	856 26863	857 26863	858 26863	859 26863	860 26863	861 26863	867 26863	869 26863	870 26863	871 26863
Gew.-%											
FeO	0,42	0,59	0,77	1,56	5,67	4,89	0,96	0,93	0,79	0,70	0,70
MnO	0,12	0,15	0,18	0,48	0,91	0,71	0,30	0,15	0,14	0,12	0,17
MgO	19,93	20,14	20,01	19,32	15,87	16,61	18,63	20,67	20,84	20,67	20,64
CaO	31,55	31,06	30,97	30,64	31,29	30,98	32,26	30,17	30,23	30,20	30,03
SrO	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01
CO₂	46,85	46,82	46,74	46,38	45,91	45,88	46,43	46,90	47,06	46,77	46,64
Summe	98,87	98,76	98,68	98,38	99,64	99,07	98,58	98,80	99,08	98,46	98,20
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,011	0,015	0,020	0,041	0,151	0,131	0,025	0,024	0,021	0,018	0,018
Mn	0,003	0,004	0,005	0,013	0,024	0,019	0,008	0,004	0,004	0,003	0,005
Mg	0,929	0,939	0,935	0,909	0,755	0,790	0,876	0,962	0,967	0,965	0,966
Ca	1,057	1,041	1,040	1,037	1,070	1,060	1,091	1,010	1,008	1,013	1,010
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-8: Dolomitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr. Ds. Nr.	875 26863	876 26863	878 26863	879 26863	880 26863	882 26863	883 26863	884 26863	885 26863	897 26863	898 26863
Gew.-%											
FeO	1,80	1,07	0,43	0,85	3,23	0,90	0,84	0,84	0,82	0,20	0,44
MnO	0,37	0,19	0,06	0,18	0,71	0,15	0,21	0,17	0,24	0,09	0,16
MgO	19,52	20,37	21,22	20,56	18,77	20,83	20,69	20,55	20,92	18,35	19,77
CaO	30,17	29,93	29,99	30,50	30,36	30,19	30,42	30,03	30,26	34,22	31,92
SrO	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02
CO₂	46,31	46,50	47,00	47,02	46,73	47,08	47,11	46,62	47,23	47,08	47,01
Summe	98,16	98,05	98,70	99,12	99,79	99,17	99,27	98,22	99,47	99,96	99,32
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,048	0,028	0,011	0,022	0,085	0,023	0,022	0,022	0,021	0,005	0,011
Mn	0,010	0,005	0,001	0,005	0,019	0,004	0,006	0,004	0,006	0,002	0,004
Mg	0,920	0,956	0,986	0,955	0,877	0,966	0,959	0,962	0,967	0,851	0,918
Ca	1,022	1,010	1,001	1,018	1,020	1,006	1,014	1,011	1,005	1,141	1,066
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr. Ds. Nr.	900 26863	901 26863	902 26863	903 26863	905 26863	907 26863	909 26863	910 26863	917 26863	918 26863	919 26863
Gew.-%											
FeO	0,38	0,70	0,65	0,63	0,93	0,67	1,79	0,63	0,42	0,95	1,35
MnO	0,12	0,22	0,19	0,19	0,21	0,14	0,48	0,14	0,19	0,24	0,41
MgO	19,77	20,04	20,06	19,28	19,55	19,67	18,99	18,99	14,98	20,07	19,59
CaO	31,77	31,35	31,67	32,77	31,20	32,02	30,72	32,78	37,55	31,14	30,36
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,03	0,04	0,03
CO₂	46,83	47,05	47,27	47,27	46,53	47,12	46,23	46,93	46,20	47,10	46,31
Summe	98,87	99,36	99,84	100,14	98,43	99,67	98,21	99,46	99,36	99,55	98,05
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,010	0,018	0,017	0,016	0,025	0,018	0,047	0,016	0,011	0,025	0,036
Mn	0,003	0,006	0,005	0,005	0,006	0,004	0,013	0,004	0,005	0,006	0,011
Mg	0,922	0,930	0,927	0,891	0,917	0,911	0,897	0,884	0,708	0,930	0,924
Ca	1,065	1,046	1,052	1,088	1,052	1,067	1,043	1,096	1,276	1,038	1,029
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr. Ds. Nr.	921 26863	922 26863	923 26863	924 26863	930 26863	931 26865	935 26865	942 26865	972 26865	988 26865	993 26865
Gew.-%											
FeO	0,25	0,38	1,36	1,49	3,76	0,27	0,29	0,83	1,23	1,82	0,27
MnO	0,13	0,10	0,40	0,52	0,62	0,08	0,08	0,37	0,56	0,68	0,11
MgO	19,36	19,77	19,65	19,28	17,94	20,36	20,44	20,49	20,08	19,53	17,02
CaO	32,63	31,79	30,47	30,78	31,43	31,02	31,20	30,00	29,87	30,20	35,10
SrO	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
CO₂	46,98	46,84	46,45	46,44	46,95	46,79	47,02	46,66	46,46	46,56	46,37
Summe	99,35	98,92	98,32	98,51	100,72	98,53	99,03	98,36	98,20	98,79	98,90
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,007	0,010	0,036	0,039	0,098	0,007	0,008	0,022	0,032	0,048	0,007
Mn	0,003	0,003	0,011	0,014	0,016	0,002	0,002	0,010	0,015	0,018	0,003
Mg	0,900	0,921	0,924	0,906	0,834	0,950	0,949	0,959	0,943	0,916	0,801
Ca	1,090	1,065	1,030	1,040	1,051	1,040	1,041	1,009	1,009	1,018	1,188
Sr	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-8: Dolomitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	997	998	999	1000	1001	1003	1050	1051	1059	1060	1061
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26864	26864	26864	26864	26864
Gew.-%											
FeO	0,83	0,75	0,93	1,86	0,75	0,85	0,97	0,35	4,71	2,39	0,36
MnO	0,13	0,14	0,15	0,37	0,10	0,16	0,22	0,11	0,92	0,35	0,12
MgO	20,83	20,89	20,41	19,76	20,88	20,73	20,58	20,87	17,81	19,32	20,86
CaO	30,08	29,70	30,12	29,81	30,28	29,78	30,00	30,35	29,72	29,90	30,48
SrO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CO₂	46,94	46,66	46,59	46,33	47,09	46,62	46,74	46,89	46,22	46,24	46,99
Summe	98,81	98,14	98,22	98,12	99,10	98,15	98,52	98,57	99,39	98,19	98,80

Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,022	0,020	0,024	0,049	0,019	0,022	0,026	0,009	0,125	0,063	0,009
Mn	0,004	0,004	0,004	0,010	0,003	0,004	0,006	0,003	0,025	0,009	0,003
Mg	0,969	0,977	0,956	0,931	0,968	0,971	0,961	0,972	0,841	0,912	0,969
Ca	1,006	0,999	1,015	1,010	1,009	1,002	1,007	1,016	1,009	1,015	1,018
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	1062	1081	1083	1084	1089	1090	1091	1093	1094	1095	1097
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Gew.-%											
FeO	0,50	2,06	1,40	0,34	0,62	0,63	0,69	1,01	0,97	1,19	0,91
MnO	0,14	0,56	0,27	0,08	0,15	0,16	0,13	0,21	0,42	0,41	0,38
MgO	20,72	19,09	19,41	17,06	20,63	20,65	20,76	20,35	20,38	20,56	20,41
CaO	30,05	30,93	31,11	35,71	30,11	30,40	30,19	30,29	30,11	29,98	29,91
SrO	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	46,60	46,72	46,65	46,90	46,64	46,89	46,85	46,74	46,74	46,95	46,54
Summe	98,02	99,36	98,87	100,09	98,18	98,74	98,60	98,60	98,62	99,09	98,15

Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,013	0,054	0,037	0,009	0,016	0,016	0,018	0,026	0,026	0,031	0,024
Mn	0,004	0,015	0,007	0,002	0,004	0,004	0,003	0,006	0,011	0,011	0,010
Mg	0,971	0,892	0,909	0,794	0,966	0,962	0,967	0,951	0,952	0,956	0,957
Ca	1,012	1,039	1,047	1,195	1,013	1,018	1,011	1,017	1,011	1,002	1,009
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	1105	1106	1113	1114	1117	1118	1120	1121	1122	1135	1136
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Gew.-%											
FeO	0,32	0,37	0,94	1,00	0,81	0,87	1,23	1,18	0,83	1,04	2,14
MnO	0,13	0,13	0,40	0,45	0,37	0,33	0,44	0,37	0,41	0,34	0,34
MgO	19,08	19,12	20,03	20,43	20,26	20,16	19,97	20,06	20,33	20,28	19,83
CaO	33,17	33,10	30,23	30,35	30,35	30,35	30,13	30,02	29,96	30,17	30,45
SrO	0,00	0,02	0,03	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,04	0,00
CO₂	47,14	47,16	46,43	47,01	46,66	46,57	46,47	46,41	46,48	46,68	47,08
Summe	99,84	99,88	98,06	99,23	98,45	98,28	98,24	98,03	98,04	98,54	99,84

Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,008	0,010	0,025	0,026	0,021	0,023	0,032	0,031	0,022	0,027	0,056
Mn	0,003	0,003	0,011	0,012	0,010	0,009	0,012	0,010	0,011	0,009	0,009
Mg	0,884	0,885	0,942	0,949	0,948	0,945	0,938	0,944	0,955	0,949	0,920
Ca	1,104	1,102	1,022	1,013	1,021	1,023	1,018	1,015	1,012	1,014	1,015
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-8: Dolomitzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	1137	1138	1144	1145	1150	1158	1159	720	721	724	727
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	1,14	1,48	1,11	0,73	1,10	1,08	2,14	5,21	6,75	4,28	1,09
MnO	0,57	0,55	0,16	0,11	0,18	0,16	0,26	0,86	1,11	0,83	0,50
MgO	20,08	19,91	20,41	20,59	20,44	20,18	19,36	17,13	15,48	17,57	20,08
CaO	30,22	29,99	30,47	30,48	30,02	30,60	30,59	29,69	30,10	30,26	30,17
SrO	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01
CO ₂	46,70	46,52	46,98	46,91	46,67	46,81	46,62	45,74	45,34	46,07	46,58
Summe	98,72	98,44	99,13	98,81	98,42	98,85	98,96	98,66	98,79	99,01	98,43
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe ²⁺	0,030	0,039	0,029	0,019	0,029	0,028	0,056	0,140	0,182	0,114	0,029
Mn	0,015	0,015	0,004	0,003	0,005	0,004	0,007	0,023	0,030	0,022	0,013
Mg	0,939	0,935	0,949	0,958	0,956	0,941	0,907	0,818	0,745	0,833	0,941
Ca	1,016	1,012	1,018	1,020	1,010	1,026	1,030	1,019	1,042	1,031	1,017
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr.	652	654	655	656	658	691	692	693	694	695	701
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	0,83	0,83	0,98	1,12	4,44	0,79	0,67	0,69	0,96	0,70	0,48
MnO	0,43	0,40	0,54	0,48	0,86	0,26	0,30	0,19	0,20	0,19	0,20
MgO	20,48	20,52	20,38	20,37	17,98	20,62	20,49	20,63	20,62	20,92	20,74
CaO	30,31	29,99	29,91	29,95	30,11	30,54	30,45	29,96	29,93	30,17	30,37
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
CO ₂	46,91	46,69	46,66	46,74	46,51	47,13	46,87	46,57	46,71	47,06	46,89
Summe	98,95	98,43	98,48	98,67	99,91	99,35	98,78	98,05	98,41	99,04	98,68
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe ²⁺	0,022	0,022	0,026	0,029	0,117	0,021	0,017	0,018	0,025	0,018	0,013
Mn	0,011	0,010	0,014	0,013	0,023	0,007	0,008	0,005	0,005	0,005	0,005
Mg	0,953	0,960	0,954	0,952	0,844	0,955	0,955	0,967	0,964	0,971	0,966
Ca	1,014	1,008	1,006	1,006	1,016	1,017	1,020	1,010	1,006	1,006	1,016
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr.	702	703	706	707	712	717	718				
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863				
Gew.-%											
FeO	0,92	0,96	2,29	1,50	5,01	3,37	1,50				
MnO	0,48	0,42	0,57	0,52	0,84	0,64	0,57				
MgO	20,17	20,13	19,10	20,05	17,33	18,27	19,83				
CaO	30,20	30,27	30,15	30,14	30,08	30,18	30,18				
SrO	0,04	0,04	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00				
CO ₂	46,60	46,60	46,27	46,80	46,12	46,09	46,61				
Summe	98,41	98,41	98,37	99,03	99,38	98,54	98,69				
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe ²⁺	0,024	0,025	0,061	0,039	0,133	0,090	0,039				
Mn	0,013	0,011	0,015	0,014	0,022	0,017	0,015				
Mg	0,945	0,943	0,901	0,936	0,821	0,866	0,929				
Ca	1,017	1,020	1,023	1,011	1,024	1,028	1,016				
Sr	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000				
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000				

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-9: Ankeritzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	1004	1005	1008	1009	1010	816	820	839	862	864	866
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	15,01	16,47	18,66	17,28	17,18	10,99	19,48	19,43	17,82	19,16	19,29
MnO	1,53	2,06	2,41	1,88	1,80	1,46	2,57	2,59	2,26	2,53	2,39
MgO	8,74	7,69	6,73	7,38	7,73	12,57	4,89	4,86	6,61	5,31	4,71
CaO	30,72	30,35	29,25	30,37	30,30	30,99	30,95	30,43	30,57	30,46	30,68
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,05	0,02	0,03
CO₂	43,80	43,58	43,23	43,64	43,86	45,67	43,15	42,70	43,55	43,01	42,53
Summe	99,80	100,16	100,28	100,56	100,88	101,66	101,04	100,02	100,86	100,48	99,63
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,420	0,463	0,529	0,485	0,480	0,295	0,553	0,558	0,501	0,546	0,556
Mn	0,043	0,059	0,069	0,053	0,051	0,040	0,074	0,075	0,065	0,073	0,070
Mg	0,436	0,385	0,340	0,369	0,385	0,601	0,247	0,248	0,332	0,269	0,242
Ca	1,101	1,093	1,062	1,092	1,084	1,065	1,126	1,119	1,102	1,111	1,132
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	873	874	881	888	890	891	911	912	913	914	926
Ds. Nr.	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863	26863
Gew.-%											
FeO	19,95	11,80	17,52	7,33	4,74	19,46	15,69	17,01	16,87	13,39	19,18
MnO	3,30	1,69	1,91	1,23	0,64	1,93	1,77	1,86	1,78	1,51	2,59
MgO	4,19	11,80	6,93	15,71	17,78	4,77	8,83	7,79	8,39	10,96	5,27
CaO	30,63	29,91	31,09	30,04	30,29	31,12	30,33	29,60	29,37	29,75	30,55
SrO	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02
CO₂	42,88	44,63	43,89	45,98	46,47	42,76	44,16	43,30	43,64	44,45	43,09
Summe	100,97	99,84	101,35	100,28	99,92	100,06	100,79	99,56	100,05	100,06	100,69
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,570	0,324	0,489	0,195	0,125	0,558	0,435	0,481	0,474	0,369	0,545
Mn	0,095	0,047	0,054	0,033	0,017	0,056	0,050	0,053	0,051	0,042	0,074
Mg	0,213	0,577	0,345	0,746	0,835	0,243	0,437	0,393	0,420	0,539	0,267
Ca	1,121	1,052	1,112	1,025	1,023	1,142	1,078	1,073	1,056	1,050	1,113
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	927	928	1047	1048	1049	1053	1054	1055	1056	1057	1064
Ds. Nr.	26863	26863	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Gew.-%											
FeO	19,19	19,74	14,92	19,51	15,39	19,28	14,54	14,78	19,59	20,00	16,67
MnO	2,58	2,63	1,69	2,11	1,71	2,06	1,59	1,58	2,11	2,36	1,91
MgO	5,23	4,29	8,79	5,24	9,09	5,56	9,16	8,78	5,16	4,71	8,09
CaO	30,31	30,75	31,09	30,61	30,39	30,23	31,02	30,82	30,27	30,25	30,05
SrO	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,01
CO₂	42,85	42,55	44,19	43,01	44,27	42,88	44,24	43,81	42,71	42,59	43,81
Summe	100,15	99,97	100,69	100,48	100,85	100,01	100,55	99,79	99,86	99,91	100,54
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,549	0,568	0,414	0,556	0,426	0,551	0,403	0,413	0,562	0,575	0,466
Mn	0,075	0,077	0,047	0,061	0,048	0,059	0,045	0,045	0,061	0,069	0,054
Mg	0,266	0,220	0,435	0,266	0,448	0,283	0,452	0,438	0,264	0,241	0,403
Ca	1,110	1,134	1,104	1,117	1,078	1,107	1,101	1,104	1,113	1,115	1,076
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünn Schliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-9: Ankeritzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	1065	1067	1068	1075	1076	1077	1080	1085	1086	1087	1088
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Gew.-%											
FeO	15,44	18,46	19,34	17,15	12,35	14,73	14,85	15,57	18,45	19,54	19,53
MnO	1,60	1,89	2,09	1,95	1,33	1,50	1,55	1,65	2,61	2,14	1,97
MgO	8,66	5,41	5,27	7,07	11,55	9,16	9,20	8,64	5,06	4,84	5,04
CaO	30,74	31,43	30,90	30,48	30,66	30,57	30,72	30,82	31,08	30,63	30,97
SrO	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02
CO₂	44,03	43,05	43,14	43,35	45,05	43,95	44,21	44,19	42,83	42,62	43,00
Summe	100,47	100,24	100,73	100,01	100,93	99,92	100,53	100,89	100,02	99,78	100,52
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,430	0,525	0,549	0,485	0,336	0,411	0,412	0,432	0,528	0,562	0,556
Mn	0,045	0,055	0,060	0,056	0,037	0,042	0,044	0,046	0,076	0,062	0,057
Mg	0,429	0,274	0,267	0,356	0,560	0,455	0,454	0,427	0,258	0,248	0,256
Ca	1,096	1,146	1,124	1,104	1,068	1,092	1,091	1,095	1,139	1,128	1,131
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr.	1096	1098	1099	1102	1107	1108	1141	1142	1143	1147	1148
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Gew.-%											
FeO	15,06	16,08	16,11	19,49	15,85	18,65	17,61	8,93	8,72	19,75	10,12
MnO	1,74	1,68	1,65	2,59	1,78	2,36	1,74	1,49	1,50	2,39	1,90
MgO	8,90	9,10	8,95	4,73	7,95	6,92	7,24	14,17	14,14	4,93	13,13
CaO	30,97	29,56	29,24	30,81	30,70	29,28	30,60	29,98	30,17	30,62	29,86
SrO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	44,32	44,02	43,62	42,89	43,59	43,42	43,78	45,39	45,38	42,99	45,15
Summe	100,98	100,45	99,57	100,53	99,87	100,63	100,97	99,96	99,91	100,67	100,16
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,416	0,447	0,453	0,557	0,445	0,526	0,493	0,241	0,235	0,563	0,274
Mn	0,049	0,047	0,047	0,075	0,051	0,067	0,049	0,041	0,041	0,069	0,052
Mg	0,438	0,451	0,448	0,241	0,398	0,348	0,361	0,682	0,680	0,250	0,635
Ca	1,097	1,054	1,052	1,128	1,105	1,059	1,097	1,036	1,043	1,118	1,038
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr.	1149	1151	1152	1153	1155	1156	1157	1160	1161	933	934
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26865	26865
Gew.-%											
FeO	12,78	19,91	9,84	9,78	12,99	20,20	11,49	18,61	21,14	19,34	19,21
MnO	2,65	2,55	1,97	1,81	2,37	3,01	2,40	2,22	3,48	2,53	2,60
MgO	10,11	4,82	13,35	12,66	10,28	4,16	11,50	5,74	3,78	4,87	5,08
CaO	30,49	30,59	30,12	30,66	30,42	30,36	30,30	30,88	29,65	30,84	30,56
SrO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	44,43	43,05	45,47	45,00	44,53	42,61	44,85	43,28	42,51	42,94	42,90
Summe	100,45	100,92	100,76	99,90	100,61	100,34	100,54	100,73	100,56	100,52	100,35
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,352	0,567	0,265	0,266	0,357	0,581	0,314	0,527	0,609	0,552	0,548
Mn	0,074	0,073	0,054	0,050	0,066	0,088	0,066	0,064	0,102	0,073	0,075
Mg	0,497	0,245	0,641	0,614	0,504	0,213	0,560	0,290	0,194	0,248	0,259
Ca	1,077	1,115	1,040	1,070	1,072	1,118	1,060	1,120	1,095	1,127	1,118
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-9: Ankeritzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	937	938	940	944	947	948	949	950	951	952	968
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Gew.-%											
FeO	13,12	19,08	12,47	19,30	17,10	15,78	15,19	16,72	18,05	14,46	17,86
MnO	2,21	2,86	2,23	2,12	1,80	1,68	1,56	1,86	2,13	1,91	2,28
MgO	9,60	5,25	10,66	5,26	7,86	8,48	8,72	7,40	5,94	9,01	6,47
CaO	31,17	30,26	30,42	30,65	30,10	30,77	30,63	30,57	30,63	30,60	30,24
SrO	0,00	0,02	0,00	0,02	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	44,35	42,94	44,53	42,95	43,80	44,11	43,83	43,46	42,90	43,89	43,15
Summe	100,45	100,40	100,30	100,30	100,68	100,83	99,93	100,00	99,65	99,87	100,00
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,362	0,544	0,343	0,551	0,478	0,438	0,425	0,471	0,516	0,403	0,507
Mn	0,062	0,083	0,062	0,061	0,051	0,047	0,044	0,053	0,062	0,054	0,066
Mg	0,472	0,267	0,523	0,268	0,392	0,420	0,434	0,372	0,302	0,448	0,327
Ca	1,103	1,106	1,072	1,120	1,079	1,095	1,097	1,104	1,121	1,094	1,100
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr.	969	970	971	980	981	982	983	984	986	500	507
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Gew.-%											
FeO	18,66	18,70	3,01	17,26	14,85	15,60	19,20	17,77	15,93	16,08	19,61
MnO	2,73	2,72	0,43	1,81	1,68	1,93	2,00	3,98	1,93	1,99	2,52
MgO	5,44	5,56	17,87	6,93	8,48	8,07	4,99	5,41	8,18	7,96	5,48
CaO	30,28	30,21	31,54	30,22	30,86	30,91	30,85	30,11	30,51	30,76	30,07
SrO	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,04
CO₂	42,83	42,91	46,37	42,98	43,62	43,83	42,66	42,89	43,82	43,92	43,17
Summe	99,96	100,10	99,22	99,21	99,49	100,37	99,69	100,15	100,37	100,70	100,88
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,534	0,534	0,079	0,492	0,417	0,436	0,551	0,508	0,445	0,448	0,556
Mn	0,079	0,079	0,011	0,052	0,048	0,054	0,058	0,115	0,055	0,056	0,072
Mg	0,277	0,283	0,842	0,352	0,425	0,402	0,255	0,275	0,408	0,396	0,277
Ca	1,110	1,105	1,068	1,104	1,110	1,107	1,135	1,102	1,093	1,099	1,093
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr.	508	516	520	554	561	650	659	708	709	710	713
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	18,47	14,95	14,81	15,65	15,82	16,40	19,14	18,26	16,26	15,52	20,86
MnO	3,33	1,59	1,61	1,77	1,80	1,77	2,30	2,32	1,79	1,62	3,10
MgO	4,87	8,69	9,05	8,04	8,73	7,87	5,17	5,89	7,86	8,78	3,52
CaO	30,36	31,27	30,58	30,89	29,99	30,61	29,69	30,82	30,93	30,29	30,11
SrO	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00
CO₂	42,53	44,17	43,95	43,71	43,87	43,77	42,10	43,24	43,94	43,88	42,16
Summe	99,59	100,69	100,00	100,07	100,22	100,44	98,40	100,52	100,80	100,12	99,74
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,532	0,415	0,413	0,439	0,442	0,459	0,557	0,517	0,453	0,433	0,606
Mn	0,097	0,045	0,046	0,050	0,051	0,050	0,068	0,067	0,051	0,046	0,091
Mg	0,250	0,429	0,450	0,402	0,434	0,393	0,268	0,297	0,391	0,437	0,182
Ca	1,120	1,111	1,092	1,109	1,073	1,098	1,107	1,119	1,105	1,084	1,121
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-9: Ankeritzusammensetzung in den Gängen 1-3 (Zone 1). Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	715	719	723	725	726	730	731	734	736	737	751
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862
Gew.-%											
FeO	15,72	20,12	6,56	14,76	5,44	9,07	16,22	6,08	6,80	5,22	14,37
MnO	1,76	2,35	1,00	1,69	0,97	1,25	1,89	0,99	0,99	0,84	1,70
MgO	8,09	4,45	16,10	9,12	16,95	13,87	7,57	16,24	15,67	16,92	9,45
CaO	30,90	30,66	29,97	30,51	30,25	29,91	29,93	29,98	29,85	29,75	30,90
SrO	0,01	0,00	0,02	0,03	0,01	0,03	0,00	0,01	0,02	0,00	0,01
CO₂	43,81	42,70	45,74	43,99	46,18	44,96	42,87	45,60	45,32	45,54	44,43
Summe	100,28	100,28	99,39	100,09	99,81	99,09	98,48	98,89	98,65	98,26	100,85
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,440	0,577	0,176	0,411	0,144	0,247	0,464	0,163	0,184	0,140	0,396
Mn	0,050	0,068	0,027	0,048	0,026	0,034	0,055	0,027	0,027	0,023	0,047
Mg	0,403	0,227	0,768	0,453	0,801	0,674	0,386	0,778	0,755	0,811	0,464
Ca	1,107	1,127	1,028	1,088	1,028	1,044	1,096	1,032	1,034	1,025	1,092
Sr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	754	757	758	759	760	812	813	814	1017	995	996
Ds. Nr.	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26862	26863	26863
Gew.-%											
FeO	20,01	16,88	19,49	15,08	18,81	12,42	14,23	15,03	12,85	19,22	15,55
MnO	2,89	1,94	1,97	1,77	3,23	1,28	1,56	1,66	1,61	2,37	1,78
MgO	4,69	7,13	5,86	8,40	5,18	10,94	9,35	8,34	10,85	4,90	8,24
CaO	29,83	30,96	29,69	30,96	30,13	30,21	30,85	31,22	29,42	30,41	31,14
SrO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03
CO₂	42,58	43,62	42,86	43,81	42,83	44,06	44,11	43,84	43,81	42,46	44,07
Summe	100,01	100,54	99,87	100,03	100,18	98,92	100,11	100,09	98,54	99,36	100,81
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,576	0,474	0,557	0,422	0,538	0,345	0,395	0,420	0,359	0,555	0,432
Mn	0,084	0,055	0,057	0,050	0,093	0,036	0,044	0,047	0,046	0,069	0,050
Mg	0,241	0,357	0,298	0,419	0,264	0,542	0,463	0,415	0,541	0,252	0,408
Ca	1,099	1,114	1,087	1,109	1,104	1,076	1,098	1,118	1,054	1,124	1,109
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-10: Zusammensetzung von Zinkblende in den Gängen 1-3. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Cd	0,88	1,21	4,94	0,66	1,16	4,28	0,80	0,31	0,35	1,32	4,68
Zn	66,40	66,54	63,38	66,95	65,74	63,98	67,26	67,16	67,38	66,06	63,42
S	32,02	32,13	31,64	32,25	31,94	31,78	32,42	32,28	32,30	32,02	31,61
Fe	0,01	0,01	0,06	0,01	0,01	0,03	0,00	0,01	0,01	0,00	0,05
Summe	99,31	99,89	100,02	99,87	98,85	100,07	100,48	99,76	100,04	99,41	99,76

An. Nr.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Cd	1,86	1,83	2,67	1,17	1,26	5,58	0,37	2,59	1,39	1,15	1,05
Zn	65,87	65,25	64,83	66,14	66,43	62,85	67,53	64,61	66,19	66,19	67,11
S	32,13	32,14	31,56	32,08	32,49	32,02	32,51	32,03	31,67	32,14	32,35
Fe	0,01	0,01	0,05	0,01	0,01	0,05	0,00	0,02	0,03	0,01	0,01
Summe	99,87	99,23	99,10	99,39	100,18	100,49	100,42	99,25	99,27	99,49	100,53

An. Nr.	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Cd	5,01	1,57	0,36	1,88	1,34	1,97	1,72	3,66	0,45	1,33	1,19
Zn	63,39	66,50	66,98	65,49	65,72	66,07	65,40	64,38	66,72	65,54	65,90
S	31,97	32,78	32,20	31,68	32,10	32,51	31,88	32,03	32,66	32,12	32,13
Fe	0,05	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,00	0,02	0,01
Summe	100,42	100,86	99,55	99,08	99,18	100,58	99,02	100,10	99,82	99,00	99,24

An. Nr.	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Cd	1,16	1,01	2,58	1,46	0,93	0,48	0,41	1,27	2,76	0,84	1,92
Zn	65,67	65,86	65,63	65,50	66,87	67,50	67,34	65,57	64,87	66,06	65,28
S	32,04	31,90	32,19	32,10	32,42	32,36	32,52	31,91	32,40	32,36	31,81
Fe	0,02	0,00	0,04	0,02	0,00	0,00	0,01	0,02	0,03	0,01	0,01
Summe	98,88	98,77	100,45	99,09	100,22	100,33	100,27	98,78	100,06	99,27	99,02

An. Nr.	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Cd	3,26	0,29	0,99	0,30	2,93	3,14	2,27	0,55	0,25	1,75	0,80
Zn	64,46	67,80	67,14	67,36	65,06	64,77	64,87	67,12	67,65	65,51	65,41
S	31,67	32,74	33,03	32,47	31,92	31,92	31,74	32,23	32,42	31,91	31,82
Fe	0,03	0,01	0,02	0,01	0,04	0,04	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00
Summe	99,42	100,83	101,19	100,15	99,96	99,86	98,90	99,89	100,32	99,20	98,03

An. Nr.	56	57	60	61	62	63	64	65	66	67	68
Ds. Nr.	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867	26867
Cd	1,86	1,15	2,00	2,03	0,44	0,45	1,26	2,24	1,86	4,61	2,34
Zn	64,91	67,03	65,87	65,08	67,43	66,99	66,62	65,49	65,13	63,75	65,11
S	32,10	32,32	32,15	32,07	32,78	32,42	32,48	32,21	32,07	32,26	32,47
Fe	0,02	0,02	0,03	0,02	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01	0,05	0,03
Summe	98,89	100,52	100,06	99,20	100,65	99,88	100,37	99,98	99,08	100,68	99,94

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-10: Zusammensetzung von Zinkblende in den Gängen 1-3. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Cd	1,50	0,63	4,13	0,63	1,64	0,89	0,54	1,03	1,47	2,51	2,75
Zn	65,76	67,43	64,11	66,61	66,21	66,69	67,18	66,87	66,46	65,41	65,05
S	32,42	32,72	32,30	32,33	32,90	32,59	32,19	32,21	32,47	32,07	32,21
Fe	0,02	0,02	0,06	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Summe	99,69	100,80	100,60	99,57	100,75	100,18	99,92	100,14	100,40	100,01	100,01

An. Nr.	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Cd	0,86	1,27	5,82	0,91	2,41	2,80	2,42	0,31	0,34	5,12	5,66
Zn	67,11	65,65	63,07	67,00	65,18	65,15	64,83	67,75	67,72	63,54	63,33
S	32,49	31,94	31,62	32,34	31,65	31,88	31,88	32,39	32,17	32,00	31,75
Fe	0,00	0,02	0,05	0,01	0,02	0,03	0,04	0,01	0,01	0,07	0,05
Summe	100,46	98,88	100,56	100,25	99,26	99,85	99,17	100,46	100,25	100,73	100,78

An. Nr.	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101
Ds. Nr.	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860	26860
Cd	6,20	2,59	0,82	5,18	0,34	0,67	0,66	1,27	1,29	1,20	0,54
Zn	62,64	64,73	67,02	63,44	67,24	66,81	67,03	66,76	66,68	66,81	67,41
S	31,72	31,75	32,03	31,60	32,35	32,32	32,36	32,23	32,39	32,43	32,42
Fe	0,06	0,02	0,01	0,05	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,02
Summe	100,62	99,09	99,88	100,26	99,94	99,81	100,05	100,27	100,37	100,44	100,39

An. Nr.	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112
Ds. Nr.	26594	26594	26594	26594	26594	26594	26594	26594	26594	26594	26594
Cd	1,05	0,80	3,05	1,51	2,17	4,18	0,63	0,73	0,15	0,80	0,92
Zn	65,94	66,81	64,77	66,21	65,93	64,00	66,72	66,61	8,29	66,32	67,09
S	32,47	32,32	31,93	32,18	32,42	32,06	32,07	32,47	13,99	31,67	31,72
Fe	0,01	0,00	0,04	0,01	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,03	0,03
Summe	99,47	99,93	99,79	99,91	100,54	100,31	99,44	99,83	22,45	98,82	99,76

An. Nr.	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123
Ds. Nr.	16594	16594	16594	16594	16594	16594	16594	16594	16594	16594	16594
Cd	1,40	3,06	2,62	5,54	1,24	3,41	1,25	3,52	1,06	0,60	0,95
Zn	65,99	64,97	65,11	63,01	66,23	64,90	66,09	64,08	66,44	67,37	66,77
S	32,12	31,94	32,00	31,80	32,65	32,19	32,28	31,92	32,32	32,59	32,45
Fe	0,03	0,05	0,05	0,06	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,01	0,00
Summe	99,54	100,02	99,78	100,40	100,14	100,54	99,63	99,57	99,84	100,57	100,17

An. Nr.	124	125	126	127	128	129	130
Ds. Nr.	26594	26594	26594	26594	26594	26594	26594
Cd	0,51	1,97	0,37	1,24	0,84	0,36	0,41
Zn	67,95	65,94	67,64	66,77	67,39	67,96	67,65
S	32,78	32,36	32,32	32,75	32,71	32,56	32,27
Fe	0,00	0,01	0,01	0,03	0,05	0,00	0,01
Summe	101,23	100,28	100,33	100,79	100,99	100,88	100,33

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-11: Zusammensetzung von Chalkopyrit in den Gängen 1-3. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26958
S	33,72	33,82	34,04	33,92	34,35	34,18	34,24	34,40	34,06	34,08	34,14
Zn	0,06	0,02	0,03	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,04	0,01	0,01
Fe	29,68	29,85	29,90	29,65	29,74	29,67	29,70	29,98	29,59	29,70	29,71
Ni	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
Cu	35,20	35,23	35,27	35,05	35,02	35,39	34,96	35,12	34,83	35,03	34,97
Co	0,01	0,02	0,04	0,07	0,04	0,12	0,13	0,08	0,09	0,06	0,02
Cd	0,01	0,02	0,00	0,04	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Summe	98,68	98,96	99,28	98,75	99,17	99,42	99,09	99,59	98,61	98,88	98,86

An. Nr.	14	18	19	23	24	25	26	27	29	30	83
Ds. Nr.	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26967
S	33,32	34,29	34,00	34,43	34,54	34,11	34,60	34,86	33,51	34,12	33,76
Zn	0,07	0,03	0,01	0,02	0,01	0,03	0,06	0,02	0,04	0,01	0,01
Fe	29,29	29,11	29,56	29,75	29,73	29,77	29,72	29,44	29,30	29,52	29,24
Ni	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00
Cu	34,61	34,64	35,09	35,03	35,08	34,97	35,02	34,92	34,72	34,84	35,02
Co	0,12	0,02	0,07	0,09	0,04	0,11	0,15	0,04	0,04	0,06	0,08
Cd	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	97,44	98,12	98,74	99,33	99,41	99,00	99,58	99,30	97,63	98,55	98,11

An. Nr.	88	97	98	101	102	103
Ds. Nr.	26967	26967	26967	26967	26967	26967
S	34,09	34,34	34,04	33,68	33,62	33,59
Zn	0,01	0,01	0,04	0,07	0,05	0,03
Fe	29,40	29,38	29,22	29,49	29,39	29,48
Ni	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Cu	34,97	35,03	35,04	35,17	35,26	35,06
Co	0,03	0,07	0,06	0,12	0,13	0,09
Cd	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	98,51	98,84	98,41	98,53	98,46	98,26

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-12: Zusammensetzung von Bleiglanz in den Gängen 1-3. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Cd	0,09	0,11	0,12	0,06	0,04	0,08	0,11	0,06	0,14	0,13	0,09
Fe	0,03	0,02	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,02
Pb	86,82	87,05	86,16	86,03	87,11	86,67	86,43	87,21	86,21	86,53	85,93
S	13,19	13,14	13,49	13,28	13,54	13,45	13,46	13,28	13,24	13,31	13,46
Total	100,13	100,32	99,80	99,39	100,71	100,22	100,02	100,58	99,62	100,02	99,50

An. Nr.	12	13	14	16	17	19	20	21	22	23	25
Ds. Nr.	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864	26864
Cd	0,10	0,08	0,09	0,05	0,05	0,04	0,07	0,06	0,07	0,06	0,06
Fe	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,01	0,02	0,03	0,05	0,02
Pb	87,07	86,38	86,20	86,03	84,82	86,43	86,71	85,74	86,64	87,07	86,06
S	13,50	13,45	13,38	13,55	13,55	13,48	13,75	13,66	13,48	13,47	13,43
Total	100,70	99,95	99,71	99,66	98,45	100,00	100,53	99,48	100,22	100,64	99,57

An. Nr.	26	27	29	30	31	32	33	34	35	36	37
Ds. Nr.	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968
Cd	0,11	0,05	0,11	0,02	0,03	0,02	0,15	0,10	0,04	0,09	0,08
Fe	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05	0,03	0,02	0,04	0,01
Pb	87,07	86,28	86,30	85,82	85,59	85,93	86,27	87,34	87,29	85,97	87,00
S	13,52	13,36	13,42	13,53	13,67	13,26	13,64	13,43	13,49	13,37	13,47
Total	100,73	99,72	99,86	99,40	99,32	99,25	100,11	100,89	100,83	99,46	100,56

An. Nr.	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48
Ds. Nr.	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968
Cd	0,13	0,05	0,08	0,08	0,10	0,11	0,11	0,05	0,03	0,07	0,08
Fe	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,01	0,05	0,04	0,03
Pb	86,44	86,10	85,82	86,15	86,49	86,72	86,73	86,07	85,69	85,97	86,76
S	13,52	13,45	13,56	13,57	13,41	13,53	13,55	13,61	13,62	13,53	13,69
Total	100,13	99,64	99,50	99,84	100,02	100,38	100,41	99,73	99,39	99,61	100,55

An. Nr.	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59
Ds. Nr.	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968	26968
Cd	0,06	0,03	0,08	0,12	0,04	0,10	0,11	0,09	0,04	0,01	0,11
Fe	0,03	0,03	0,04	0,05	0,03	0,03	0,04	0,02	0,00	0,03	0,01
Pb	85,87	87,24	85,86	85,34	85,49	86,64	86,50	87,00	85,93	86,92	86,13
S	13,34	13,38	13,72	13,49	13,70	13,61	13,64	13,59	13,61	13,53	13,47
Total	99,30	100,68	99,70	99,00	99,26	100,38	100,30	100,70	99,58	100,48	99,72

An. Nr.	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	71
Ds. Nr.	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958	26958
Cd	0,10	0,03	0,05	0,06	0,08	0,11	0,07	0,11	0,10	0,08	0,00
Fe	0,01	0,03	0,02	0,05	0,04	0,03	0,02	0,04	0,04	0,01	0,04
Pb	86,20	85,73	86,30	86,75	85,43	86,16	86,67	85,28	85,58	85,17	87,01
S	13,45	13,53	13,63	13,41	13,55	13,61	13,42	13,18	13,56	13,60	13,62
Total	99,77	99,32	99,99	100,26	99,10	99,92	100,19	98,59	99,27	98,86	100,67

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-12: Zusammensetzung von Bleiglanz in den Gangprofile 1-3. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
Ds. Nr.	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865	26865
Cd	0,078	0,033	0,038	0,054	0,103	0,033	0,047	0,03	0,054	0,135	0,103
Fe	0,029	0,029	0,04	0,031	0,029	0,025	0,009	0,03	0,028	0,049	0,027
Pb	85,96	86,091	86,383	85,515	86,414	86,768	85,482	86,361	85,22	85,969	86,212
S	13,492	13,267	13,398	13,487	13,619	13,197	13,554	13,562	13,401	13,518	13,592
Total	99,559	99,42	99,859	99,087	100,165	100,023	99,092	99,983	98,703	99,671	99,934

An. Nr.	83	84	85
Ds. Nr.	26865	26865	26865
Cd	0,09	0,10	0,12
Fe	0,03	0,04	0,03
Pb	85,91	86,26	87,27
S	13,41	13,39	13,46
Total	99,44	99,78	100,89

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-13: Calcitzusammensetzung in den Gängen des unterkarbonischen Nebengesteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	172
Ds. Nr.	26962	26962	26962	26962	26962	26962	26962	26962	26962	26962	26962
Gew.-%											
FeO	0,01	0,05	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,07	0,64	0,02
MnO	0,04	0,03	0,00	0,00	0,01	0,01	0,03	0,02	0,10	0,70	0,02
MgO	0,23	0,17	0,27	0,10	0,42	0,41	0,06	0,03	0,16	0,18	0,08
CaO	55,11	55,27	55,69	55,49	54,99	55,01	55,50	56,00	55,23	53,58	55,46
SrO	0,01	0,09	0,07	0,03	0,03	0,05	0,00	0,03	0,01	0,00	0,04
CO₂	43,54	43,65	44,05	43,67	43,66	43,65	43,65	44,03	43,63	43,07	43,65
Summe	98,94	99,26	100,07	99,28	99,14	99,14	99,25	100,11	99,20	98,17	99,27
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,009	0,000
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,010	0,000
Mg	0,006	0,004	0,007	0,002	0,011	0,010	0,002	0,001	0,004	0,005	0,002
Ca	0,994	0,994	0,993	0,997	0,989	0,989	0,998	0,999	0,994	0,976	0,997
Sr	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	173	174	175	176	177	178	179	180	201	202	203
Ds. Nr.	26963	26963	26963	26963	26963	26963	26963	26963	26960	26960	26960
Gew.-%											
FeO	0,04	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,01	0,00
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,01	0,00	0,00	0,01
MgO	0,12	0,06	0,06	0,24	0,16	0,10	0,10	0,20	0,30	0,23	0,03
CaO	56,21	55,99	55,73	55,38	55,42	55,50	55,81	55,53	55,17	54,75	55,75
SrO	0,04	0,04	0,02	0,00	0,03	0,04	0,01	0,05	0,02	0,07	0,02
CO₂	44,31	44,03	43,82	43,75	43,68	43,71	43,94	43,84	43,66	43,26	43,80
Summe	100,71	100,12	99,65	99,40	99,29	99,37	99,90	99,66	99,16	98,32	99,61
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,003	0,002	0,001	0,006	0,004	0,002	0,002	0,005	0,008	0,006	0,001
Ca	0,996	0,998	0,998	0,994	0,996	0,997	0,997	0,994	0,992	0,993	0,999
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-13: Calcitzusammensetzung in den Gängen des unterkarbonischen Nebengesteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	201	202	203	204	205	206	207	208	209	210
Ds. Nr.	26960	26960	26960	26960	26960	26964	26964	26964	26964	26964
Gew.-%										
FeO	0,01	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,03
MgO	0,30	0,23	0,03	0,19	0,24	0,03	0,13	0,03	0,08	0,43
CaO	55,17	54,75	55,75	54,98	54,67	55,36	55,26	55,71	55,47	55,55
SrO	0,02	0,07	0,02	0,07	0,08	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,66	43,26	43,80	43,40	43,21	43,50	43,57	43,77	43,63	44,09
Summe	99,16	98,32	99,61	98,66	98,22	98,90	99,02	99,52	99,20	100,11
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,008	0,006	0,001	0,005	0,006	0,001	0,003	0,001	0,002	0,011
Ca	0,992	0,993	0,999	0,994	0,993	0,999	0,996	0,999	0,998	0,989
Sr	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-14: Dolomitzusammensetzung in den Gängen des unterkarbonischen Nebengesteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	49	50	56	57	58	59	156	157	158	159	160
Ds. Nr.	26964	26964	26964	26964	26964	26962	26962	26962	26964	26964	26964
Gew.-%											
FeO	0,57	0,57	0,53	0,32	0,92	0,58	0,43	0,33	0,39	1,32	1,62
MnO	0,23	0,20	0,19	0,14	0,29	0,25	0,15	0,13	0,13	0,35	0,45
MgO	18,11	17,95	18,38	17,30	17,45	18,13	17,84	18,62	17,73	19,11	18,98
CaO	32,46	32,60	32,30	33,80	32,33	32,08	32,84	31,79	33,33	29,89	30,35
SrO	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01	0,04	0,03	0,03	0,00	0,02	0,00
CO₂	45,73	45,68	45,85	45,71	45,17	45,50	45,66	45,58	45,86	45,35	45,92
Summe	97,10	97,02	97,25	97,30	96,17	96,58	96,97	96,48	97,45	96,04	97,40
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,015	0,015	0,014	0,009	0,025	0,016	0,012	0,009	0,010	0,036	0,043
Mn	0,006	0,006	0,005	0,004	0,008	0,007	0,004	0,003	0,003	0,010	0,012
Mg	0,865	0,858	0,875	0,827	0,844	0,870	0,853	0,892	0,844	0,920	0,903
Ca	1,114	1,120	1,105	1,161	1,123	1,107	1,129	1,095	1,141	1,035	1,038
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,002
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	3,998

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-15: Calcitzusammensetzung des unterkarbonischen Kalksteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	136	137	138	139	140	141	142	143	144	145
Ds. Nr.	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961
Gew.-%										
FeO	0,03	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03	0,03	0,00	0,00	0,01
MnO	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,02
MgO	0,38	0,26	0,49	0,02	0,23	0,03	0,16	0,09	0,18	0,11
CaO	55,01	56,18	55,87	55,51	55,98	55,73	55,80	55,75	55,40	56,08
SrO	0,02	0,05	0,06	0,02	0,01	0,03	0,06	0,05	0,02	0,00
CO₂	42,84	42,82	43,63	43,60	43,42	43,81	43,46	43,91	43,56	43,49
Summe	98,31	99,31	100,06	99,15	99,66	99,62	99,52	99,83	99,18	99,73
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,010	0,007	0,012	0,001	0,006	0,001	0,004	0,002	0,005	0,003
Ca	0,989	0,993	0,987	0,999	0,994	0,998	0,995	0,996	0,985	0,995
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,005	1,001
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,995	1,999

An. Nr.	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155
Ds. Nr.	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961
Gew.-%										
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03
MnO	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
MgO	0,08	0,24	0,08	0,15	0,13	0,12	0,03	0,07	0,04	0,02
CaO	55,98	55,73	55,52	55,86	56,01	56,04	55,53	56,17	55,65	56,21
SrO	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,27	43,24	43,68	43,24	43,36	43,34	43,61	43,40	43,74	43,37
Summe	99,36	99,24	99,30	99,29	99,53	99,52	99,17	99,66	99,44	99,63
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,002	0,006	0,002	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002	0,001	0,001
Ca	0,997	0,993	0,998	0,996	0,996	0,997	0,999	0,998	0,999	0,999
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ds. Nr.	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592
Gew.-%										
FeO	0,04	0,09	0,02	0,03	0,22	0,04	0,01	0,13	0,05	0,00
MnO	0,00	0,16	0,02	0,00	0,25	0,03	0,02	0,10	0,01	0,00
MgO	0,13	0,08	0,01	0,13	0,08	0,12	0,06	0,02	0,05	0,01
CaO	56,12	55,86	56,16	56,39	55,54	56,16	56,43	55,85	56,47	56,15
SrO	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	44,21	44,08	44,10	44,42	43,97	44,25	44,36	43,99	44,40	44,08
Summe	100,50	100,29	100,30	100,98	100,07	100,61	100,88	100,10	100,98	100,24
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000
Mn	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,003	0,002	0,000	0,003	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,000
Ca	0,996	0,995	1,000	0,996	0,992	0,996	0,998	0,996	0,998	1,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-15: Calcitzusammensetzung des unterkarbonischen Kalksteins. Steinbruch der Hastenrath Kalkwerke.

An. Nr.	352	354	355	356	357	358	359	360	361	362
Ds. Nr.	26597	26597	26597	26597	26597	26597	26597	26597	26597	26597
Gew.-%										
FeO	0,18	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,05	0,01	0,00	0,00
MnO	0,12	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,06	0,01	0,01	0,03
MgO	0,04	0,05	0,03	0,05	0,10	0,15	0,07	0,12	0,03	0,04
CaO	55,60	56,52	56,35	56,05	55,75	55,93	56,18	55,70	55,96	56,09
SrO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,07	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,87	44,41	44,26	44,05	43,92	44,10	44,23	43,85	43,95	44,08
Summe	99,83	100,99	100,66	100,17	99,89	100,26	100,59	99,69	99,95	100,24
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
Mn	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,002	0,004	0,002	0,003	0,001	0,001
Ca	0,995	0,999	0,999	0,999	0,996	0,995	0,997	0,997	0,999	0,999
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ds. Nr.	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592
Gew.-%										
FeO	0,04	0,09	0,02	0,03	0,22	0,04	0,01	0,13	0,05	0,00
MnO	0,00	0,16	0,02	0,00	0,25	0,03	0,02	0,10	0,01	0,00
MgO	0,13	0,08	0,01	0,13	0,08	0,12	0,06	0,02	0,05	0,01
CaO	56,12	55,86	56,16	56,39	55,54	56,16	56,43	55,85	56,47	56,15
SrO	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
CO₂	44,21	44,08	44,10	44,42	43,97	44,25	44,36	43,99	44,40	44,08
Summe	100,50	100,29	100,30	100,98	100,07	100,61	100,88	100,10	100,98	100,24
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,000	0,001	0,000	0,000	0,003	0,001	0,000	0,002	0,001	0,000
Mn	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,003	0,002	0,000	0,003	0,002	0,003	0,001	0,001	0,001	0,000
Ca	0,996	0,995	1,000	0,996	0,992	0,996	0,998	0,996	0,998	1,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ds. Nr.	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592	26592
Gew.-%										
FeO	0,00	0,28	0,29	0,28	0,03	0,12	0,25	0,00	0,02	0,02
MnO	0,00	0,28	0,24	0,25	0,04	0,11	0,21	0,00	0,00	0,00
MgO	0,11	0,10	0,07	0,12	0,12	0,13	0,11	0,21	0,18	0,31
CaO	55,93	55,26	55,21	55,44	55,88	55,21	56,03	56,07	56,32	55,99
SrO	0,03	0,00	0,05	0,00	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,05
CO₂	44,02	43,82	43,75	43,96	44,05	43,62	44,38	44,24	44,42	44,31
Summe	100,08	99,73	99,60	100,04	100,16	99,22	101,00	100,54	100,96	100,68
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,000	0,004	0,004	0,004	0,000	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,004	0,003	0,003	0,001	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000
Mg	0,003	0,002	0,002	0,003	0,003	0,003	0,003	0,005	0,004	0,008
Ca	0,997	0,990	0,991	0,990	0,996	0,993	0,991	0,995	0,995	0,992
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr. = Analysen Nummer, Ds. Nr. = Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-15: Calcitzusammensetzung des unterkarbonischen Kalksteins. Steinbruch der Hastenrath Kalkwerke.

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ds. Nr.	26964	26964	26964	26964	26964	26964	26964	26964	26964	26964
Gew.-%										
FeO	0,04	0,16	0,10	0,00	0,03	0,00	0,05	0,04	0,07	0,11
MnO	0,00	0,14	0,08	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,04	0,11
MgO	0,13	0,10	0,17	0,12	0,10	0,09	0,16	0,21	0,17	0,19
CaO	55,10	55,54	55,39	56,25	56,18	56,26	56,24	56,09	56,01	55,37
SrO	0,01	0,00	0,00	0,01	0,04	0,05	0,00	0,02	0,01	0,03
CO₂	43,41	43,88	43,77	44,28	44,24	44,27	44,34	44,29	44,22	43,80
Summe	98,69	99,82	99,51	100,66	100,61	100,66	100,79	100,67	100,52	99,61

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,001	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,002
Mn	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
Mg	0,003	0,002	0,004	0,003	0,002	0,002	0,004	0,005	0,004	0,005
Ca	0,996	0,994	0,993	0,997	0,997	0,998	0,996	0,994	0,994	0,992
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	11	12	13	14
Ds. Nr.	26964	26964	26964	26964
Gew.-%				
FeO	0,00	0,03	0,05	0,00
MnO	0,00	0,00	0,00	0,03
MgO	0,15	0,06	0,08	0,20
CaO	56,02	55,76	56,21	55,97
SrO	0,01	0,00	0,06	0,01
CO₂	44,14	43,85	44,25	44,17
Summe	100,322	99,701	100,635	100,382

Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,000	0,000	0,001	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,004	0,002	0,002	0,005
Ca	0,996	0,998	0,997	0,995
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-16: Dolomitzusammensetzung des unterkarbonischen Kalksteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	161	162	163	164	165	166	167	169	170	171	172
Ds. Nr.	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961
Gew.-%											
FeO	0,38	0,89	0,94	1,08	0,31	1,12	0,77	0,45	0,85	0,55	0,53
MnO	0,17	0,34	0,29	0,45	0,11	0,39	0,17	0,18	0,29	0,14	0,13
MgO	18,18	17,71	18,97	19,21	18,72	19,37	17,04	18,56	19,33	17,96	18,60
CaO	32,46	32,12	30,56	29,76	32,12	29,83	33,26	31,86	30,82	32,24	32,39
SrO	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00
CO₂	45,73	45,34	45,98	45,29	45,91	45,55	45,32	45,66	46,03	45,32	46,14
Summe	96,97	96,43	97,11	95,81	97,19	96,32	96,57	96,72	97,36	96,20	97,80
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,010	0,024	0,025	0,029	0,008	0,030	0,021	0,012	0,023	0,015	0,014
Mn	0,005	0,009	0,008	0,012	0,003	0,011	0,005	0,005	0,008	0,004	0,003
Mg	0,869	0,853	0,904	0,926	0,890	0,929	0,821	0,888	0,917	0,865	0,880
Ca	1,115	1,112	1,047	1,031	1,098	1,028	1,152	1,095	1,051	1,116	1,102
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,001	2,001	2,008	2,000	2,000	2,001	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	3,999	3,999	3,992	4,000	4,000	3,999	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr.	173	174	175	176	177	179	180	186	187	188	189
Ds. Nr.	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26961	26960	26960	26960	26960
Gew.-%											
FeO	0,43	0,36	1,48	0,80	0,33	0,51	0,34	1,00	0,37	0,88	1,17
MnO	0,18	0,15	0,35	0,31	0,11	0,14	0,10	0,23	0,14	0,34	0,25
MgO	18,00	17,99	19,04	19,67	18,17	19,32	19,06	18,11	17,83	19,21	18,90
CaO	32,38	32,54	29,61	29,76	31,90	31,11	31,78	31,15	32,89	29,87	30,51
SrO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
CO₂	45,45	45,54	45,19	45,54	45,19	45,91	46,02	44,98	45,66	45,37	46,19
Summe	96,44	96,61	95,72	96,09	95,72	96,98	97,30	95,47	96,94	95,82	97,52
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,012	0,010	0,040	0,021	0,009	0,014	0,009	0,027	0,010	0,024	0,031
Mn	0,005	0,004	0,010	0,008	0,003	0,004	0,003	0,006	0,004	0,009	0,007
Mg	0,865	0,863	0,920	0,943	0,878	0,919	0,904	0,879	0,853	0,926	0,898
Ca	1,118	1,122	1,029	1,026	1,108	1,064	1,084	1,087	1,131	1,035	1,042
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,001	2,001	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,001	2,003	2,011
Summe	4,000	3,999	3,999	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	3,999	3,997	3,989
An.Nummer	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
DS.	26960	26960	26960	26960	26960	26960	26960	26960	26960	26960	26960
Gew.-%											
FeO	0,37	1,02	0,67	0,64	1,12	0,87	1,04	0,29	0,98	0,67	0,99
MnO	0,09	0,27	0,25	0,18	0,45	0,25	0,22	0,16	0,35	0,23	0,33
MgO	19,38	17,47	17,75	19,35	18,92	19,01	17,59	17,96	19,37	18,53	19,15
CaO	31,13	32,67	32,29	31,21	30,09	30,09	31,94	32,06	30,27	31,48	29,90
SrO	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,03	0,03	0,00	0,02	0,03
CO₂	46,01	45,53	45,30	46,14	45,25	45,06	45,06	45,15	45,75	45,65	45,80
Summe	97,07	96,99	96,28	97,54	95,84	95,30	95,88	95,70	96,75	96,68	96,61
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,010	0,028	0,018	0,017	0,030	0,024	0,028	0,008	0,026	0,018	0,027
Mn	0,002	0,007	0,007	0,005	0,012	0,007	0,006	0,004	0,010	0,006	0,009
Mg	0,921	0,838	0,856	0,916	0,913	0,921	0,852	0,869	0,925	0,888	0,917
Ca	1,063	1,126	1,119	1,062	1,044	1,048	1,113	1,115	1,039	1,084	1,029
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
C	2,002	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,002	2,009
Summe	3,998	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	3,998	3,991

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-17: Ankeritzusammensetzung des unterkarbonischen Kalksteins. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An.Nr.	61	62	63	64	65	66	67	72	73	75	76
Ds. Nr.	26960	26960	26960	26960	26960	26960	26960	26960	26961	26961	26961
Gew.-%											
FeO	15,95	18,06	19,00	19,77	19,13	19,21	19,37	21,34	17,73	19,76	17,53
MnO	2,01	2,05	2,08	2,81	2,21	2,68	2,33	3,46	2,12	4,15	2,08
MgO	8,09	6,43	5,55	4,78	5,24	4,79	5,36	3,84	7,49	4,28	6,78
CaO	29,70	29,58	29,92	29,47	29,82	29,88	29,75	28,97	29,13	29,26	29,32
SrO	0,02	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,03
CO₂	43,17	42,57	42,49	42,21	42,22	42,11	42,54	42,14	43,22	42,35	42,45
Summe	98,93	98,70	99,05	99,07	98,62	98,67	99,41	99,74	99,68	99,81	98,19
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,453	0,520	0,548	0,574	0,555	0,559	0,558	0,620	0,503	0,572	0,506
Mn	0,058	0,060	0,061	0,083	0,065	0,079	0,068	0,102	0,061	0,122	0,061
Mg	0,409	0,330	0,285	0,247	0,271	0,248	0,275	0,199	0,378	0,221	0,348
Ca	1,080	1,091	1,106	1,096	1,109	1,114	1,098	1,079	1,058	1,085	1,084
Sr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An.Nr.	78	35	37	38	40
Ds. Nr.	26961	26961	26961	26961	26961
Gew.-%					
FeO	16,21	14,05	15,47	15,31	15,25
MnO	2,72	2,08	2,25	2,24	2,20
MgO	6,86	9,36	8,33	7,97	8,58
CaO	29,99	29,50	29,70	29,81	29,35
SrO	0,01	0,00	0,04	0,02	0,00
CO₂	42,65	43,27	43,33	42,87	43,10
Summe	98,43	98,27	99,11	98,21	98,47
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit					
Fe²⁺	0,466	0,398	0,438	0,438	0,433
Mn	0,079	0,060	0,064	0,065	0,063
Mg	0,351	0,472	0,420	0,406	0,435
Ca	1,104	1,070	1,076	1,091	1,069
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-18: Calcitzusammensetzung des Kalksinters. Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

An. Nr.	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111
Ds. Nr.	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965
Gew.-%											
FeO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,04	0,01
MnO	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00
MgO	0,05	0,03	0,05	0,03	0,03	0,04	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03
CaO	54,94	54,95	55,41	55,54	55,69	55,74	55,26	55,32	55,14	54,44	55,11
SrO	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
CO₂	43,19	43,15	43,56	43,64	43,75	43,82	43,41	43,46	43,33	42,80	43,29
Summe	98,20	98,13	99,04	99,25	99,49	99,63	98,71	98,83	98,54	97,34	98,44
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,998	0,999	0,998	0,999	0,999	0,998	0,999	0,999	0,999	0,998	0,999
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr.	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122
Ds. Nr.	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965
Gew.-%											
FeO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,01
MgO	0,04	0,03	0,03	0,03	0,01	0,05	0,06	0,04	0,02	0,04	0,04
CaO	55,36	54,99	55,38	55,13	55,51	55,32	54,89	54,55	55,02	55,37	55,39
SrO	0,00	0,02	0,01	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00
CO₂	43,48	43,21	43,49	43,33	43,60	43,49	43,16	43,04	43,21	43,53	43,52
Summe	98,88	98,27	98,91	98,54	99,15	98,89	98,14	97,78	98,28	98,97	98,97
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,002	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,998	0,998	0,996	0,999	0,998	0,999
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000	2,000
An. Nr.	123	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134
Ds. Nr.	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965	26965
Gew.-%											
FeO	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00
MnO	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,03	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01
MgO	0,05	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,02	0,04	0,01	0,02	0,03
CaO	55,37	55,30	55,16	55,23	55,01	55,66	55,46	55,27	54,90	54,44	55,81
SrO	0,00	0,00	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
CO₂	43,52	43,43	43,37	43,44	43,22	43,74	43,54	43,43	43,10	42,77	43,84
Summe	98,97	98,75	98,63	98,78	98,30	99,48	99,03	98,75	98,01	97,28	99,70
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
Ca	0,998	0,999	0,998	0,998	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	0,999	0,999
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-19: Zusammensetzung der Zinkblende aus dem Vorkommen Diepenlienen.

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Cd	0,36	0,31	0,39	0,23	0,62	0,17	0,35	0,29	0,28	0,46	0,43
Fe	0,11	0,11	0,10	0,14	0,03	0,15	0,08	0,11	0,12	0,25	0,08
Zn	66,67	66,77	66,75	66,39	66,49	66,94	66,61	66,88	67,06	65,91	66,63
Ga	0,00	0,04	0,04	0,10	0,01	0,18	0,10	0,00	0,18	0,08	0,12
Ge	0,01	0,01	0,01	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
S	32,13	32,41	32,57	32,53	32,27	32,21	32,26	32,35	32,34	32,40	32,39
Summe	99,28	99,66	99,85	99,40	99,46	99,68	99,41	99,66	99,99	99,11	99,66

An. Nr.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Cd	0,32	0,30	0,26	0,04	0,09	0,28	0,00	0,20	0,25	0,07	0,05
Fe	0,12	0,17	0,11	0,18	0,17	0,32	0,50	0,36	0,75	0,56	1,48
Zn	66,58	66,18	66,84	67,19	66,81	66,51	66,73	66,72	66,18	66,70	65,65
Ga	0,00	0,16	0,07	0,12	0,10	0,03	0,17	0,00	0,16	0,13	0,00
Ge	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
S	32,38	32,07	32,38	32,49	32,80	32,38	32,47	32,39	32,09	32,50	32,39
Summe	99,40	98,90	99,67	100,04	99,97	99,51	99,89	99,68	99,43	99,97	99,59

An. Nr.	23	25	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Ds. Nr.	27328	27328	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327
Cd	0,07	0,46	0,03	0,02	0,05	0,39	0,03	0,04	0,00	0,04	0,04
Fe	0,20	0,08	1,16	0,16	0,09	0,16	0,45	1,40	1,08	2,90	2,08
Zn	67,24	66,50	66,13	67,26	67,22	66,81	66,64	65,39	65,90	64,01	64,88
Ga	0,03	0,08	0,10	0,00	0,11	0,02	0,09	0,09	0,12	0,00	0,11
Ge	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
S	32,72	32,27	32,49	32,63	32,45	32,43	32,66	32,30	32,33	32,51	32,75
Summe	100,29	99,40	99,90	100,08	99,93	99,82	99,91	99,22	99,44	99,48	99,87

An. Nr.	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65
Ds. Nr.	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327
Cd	0,01	0,07	0,25	0,00	0,16	0,25	0,38	0,00	0,07	0,00	0,02
Fe	1,41	2,37	1,25	0,47	2,62	0,21	0,61	0,53	1,81	0,14	0,69
Zn	65,97	64,67	65,67	66,69	64,45	66,99	66,27	66,79	65,30	67,35	66,56
Ga	0,11	0,07	0,04	0,03	0,12	0,09	0,00	0,06	0,00	0,06	0,04
Ge	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05
S	32,75	32,63	32,51	32,30	32,31	32,37	32,16	32,43	32,60	32,65	32,41
Summe	100,26	99,82	99,72	99,50	99,70	99,94	99,45	99,81	99,79	100,22	99,78

An. Nr.	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77
Ds. Nr.	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327
Cd	0,05	0,08	0,12	0,07	0,17	0,09	0,17	0,22	0,23	0,12	0,10
Fe	0,32	1,88	0,73	0,28	0,15	0,31	0,08	0,13	0,41	0,93	0,29
Zn	66,84	65,16	66,35	67,04	66,96	66,69	67,23	67,06	66,65	66,01	67,00
Ga	0,11	0,00	0,10	0,06	0,00	0,02	0,10	0,14	0,08	0,02	0,00
Ge	0,00	0,03	0,05	0,03	0,00	0,00	0,00	0,04	0,03	0,01	0,03
S	32,16	32,71	32,27	32,47	32,43	32,57	32,39	32,42	32,65	32,31	32,61
Summe	99,49	99,89	99,62	99,95	99,72	99,69	99,99	100,03	100,03	99,41	100,05

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-19: Zusammensetzung der Zinkblende aus dem Vorkommen Diepenlienen.

An. Nr.	78	79	80	81
Ds. Nr.	27327	27327	27327	27327
Cd	0,34	0,43	0,06	0,05
Fe	0,26	0,49	0,31	0,30
Zn	66,67	66,45	67,00	66,82
Ga	0,13	0,02	0,02	0,17
Ge	0,00	0,03	0,00	0,03
S	32,26	32,07	32,37	32,07
Summe	99,68	99,46	99,78	99,49

Tabelle III-20: Zusammensetzung von Bleiglanz aus dem Vorkommen Diepenlienen.

An. Nr.	26	27	28	31	32	33	35	36	37	38	40
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Cd	0,14	0,10	0,10	0,12	0,11	0,11	0,08	0,18	0,10	0,13	0,04
Fe	0,02	0,03	0,01	0,04	0,02	0,01	0,00	0,03	0,04	0,01	0,04
Pb	86,24	85,92	85,79	86,53	86,95	86,49	85,96	85,94	86,46	85,82	85,37
Ni	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,03	0,00	0,00
Zn	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08
Ga	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06	0,04	0,02	0,01
Ge	0,07	0,07	0,05	0,01	0,01	0,06	0,00	0,05	0,02	0,00	0,03
S	13,10	13,39	13,33	13,21	13,35	13,38	13,29	13,28	13,29	13,40	13,63
Total	99,59	99,55	99,28	99,90	100,48	100,06	99,34	99,54	100,01	99,40	99,19

An. Nr.	1	3	4	6	7	8	12	13	14	18	20
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Cd	0,12	0,12	0,05	0,12	0,14	0,08	0,13	0,07	0,08	0,03	0,14
Fe	0,04	0,02	0,02	0,03	0,04	0,03	0,02	0,03	0,03	0,04	0,04
Pb	86,35	86,29	85,86	87,20	86,33	85,51	86,04	86,07	86,25	85,87	85,81
Ni	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00
Zn	0,03	0,22	0,01	0,15	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02
Ga	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,06	0,04	0,02	0,01	0,00	0,03
Ge	0,05	0,01	0,01	0,06	0,06	0,00	0,05	0,02	0,00	0,03	0,05
S	13,57	13,48	13,76	13,45	13,41	13,66	13,52	13,35	13,54	13,58	13,53
Total	100,16	100,15	99,69	101,07	99,99	99,38	99,81	99,57	99,90	99,59	99,60

An. Nr.	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Cd	0,09	0,07	0,11	0,13	0,00	0,12	0,11	0,12	0,13	0,11
Fe	0,02	0,06	0,04	0,04	0,01	0,04	0,01	0,03	0,04	0,05
Pb	86,71	86,07	85,90	85,70	85,60	85,21	86,14	85,95	86,30	86,31
Ni	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
Zn	0,01	0,02	0,01	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ga	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,06	0,04	0,02	0,01
Ge	0,01	0,01	0,06	0,06	0,00	0,05	0,02	0,00	0,03	0,06
S	13,31	13,47	13,46	13,15	13,47	13,49	13,40	13,47	13,34	13,33
Total	100,16	99,69	99,61	99,07	99,13	98,92	99,74	99,65	99,86	99,86

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-21: Calcitzusammensetzung aus dem Vorkommen Diepenlienen.

An. Nr.	3	4	5	7	8	10	11	12	13	14	15
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Gew.-%											
FeO	0,61	0,85	1,53	1,06	1,07	0,89	0,93	0,75	1,07	0,84	1,04
MnO	0,87	0,92	1,18	0,88	0,99	0,91	0,78	0,59	0,75	0,72	0,73
MgO	0,02	0,03	0,10	0,06	0,05	0,02	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06
CaO	53,82	53,68	52,46	53,16	53,36	53,47	53,61	54,26	53,94	53,70	53,77
BaO	0,04	0,02	0,01	0,00	0,02	0,02	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
SrO	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01	0,03	0,03	0,01	0,04	0,00
CO₂	43,18	43,26	42,95	42,99	43,20	43,10	43,18	43,48	43,51	43,19	43,35
Summe	98,52	98,75	98,22	98,19	98,68	98,42	98,56	99,16	99,33	98,56	98,94
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,009	0,012	0,022	0,015	0,015	0,013	0,013	0,010	0,015	0,012	0,015
Mn	0,012	0,013	0,017	0,013	0,014	0,013	0,011	0,008	0,011	0,010	0,010
Mg	0,000	0,001	0,003	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Ca	0,978	0,974	0,959	0,970	0,969	0,974	0,974	0,979	0,973	0,976	0,973
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

An. Nr.	16	43	44	45	46	47	49	50
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Gew.-%								
FeO	0,99	0,99	0,70	0,79	0,42	0,42	0,49	0,93
MnO	0,78	0,85	0,62	0,89	0,86	0,86	0,77	1,01
MgO	0,06	0,05	0,02	0,02	0,03	0,00	0,02	0,04
CaO	53,77	53,51	53,69	53,93	54,49	54,22	53,93	53,29
BaO	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
SrO	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02
CO₂	43,38	43,20	43,00	43,39	43,63	43,36	43,13	43,07
Summe	99,02	98,62	98,09	99,03	99,47	98,90	98,34	98,36
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit								
Fe²⁺	0,014	0,014	0,010	0,011	0,006	0,006	0,007	0,013
Mn	0,011	0,012	0,009	0,013	0,012	0,012	0,011	0,015
Mg	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
Ca	0,973	0,972	0,980	0,975	0,980	0,981	0,981	0,971
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-22: Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit aus dem Vorkommen Diepenlienchen.

An. Nr.	18	19	20	21	23	24	25	30	40	41	51
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27327
Gew.-%											
FeO	5,09	5,11	6,11	12,57	13,10	12,67	16,59	0,08	18,48	18,34	10,26
MnO	0,05	0,06	0,05	2,68	2,91	2,42	2,96	0,04	5,28	5,20	1,76
MgO	16,78	16,92	17,24	9,86	9,37	10,78	7,02	16,95	3,46	3,37	12,17
CaO	30,77	30,68	29,13	29,79	30,18	29,29	29,45	34,94	30,08	30,15	30,08
BaO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,00	0,04
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,03	0,03	0,00	0,03
CO₂	45,68	45,48	45,71	43,52	43,77	44,02	42,78	46,02	42,53	42,36	44,30
Summe	98,36	98,23	98,24	98,43	99,36	99,19	98,82	98,06	100,26	99,80	98,64
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,002	0,003	0,003	0,354	0,367	0,353	0,475	0,002	0,535	0,533	0,284
Mn	0,001	0,002	0,001	0,076	0,083	0,068	0,086	0,001	0,155	0,153	0,049
Mg	0,797	0,806	0,819	0,495	0,467	0,534	0,358	0,804	0,178	0,174	0,600
Ca	1,222	1,222	1,200	1,075	1,082	1,044	1,080	1,192	1,115	1,122	1,066
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
C	1,989	1,984	1,989	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,008	2,009	2,000
Summe	4,011	4,016	4,011	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,992	3,991	4,000
An. Nr.	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
Ds. Nr.	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327
Gew.-%											
FeO	14,14	12,44	14,25	16,94	14,39	15,38	12,85	14,41	14,24	15,88	14,90
MnO	2,53	2,16	2,34	2,49	2,26	3,69	2,06	1,80	2,30	2,29	2,35
MgO	9,26	10,74	9,61	7,80	9,62	7,93	10,62	10,24	9,49	8,35	8,78
CaO	29,51	30,07	29,20	28,88	28,82	29,22	29,79	29,08	29,66	29,09	29,39
BaO	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,00	0,03	0,00
SrO	0,02	0,00	0,02	0,05	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01
CO₂	43,51	44,28	43,59	43,16	43,36	43,30	44,12	43,99	43,78	43,10	43,25
Summe	98,98	99,67	99,01	99,35	98,45	99,52	99,45	99,57	99,47	98,73	98,69
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,398	0,344	0,400	0,481	0,407	0,435	0,357	0,401	0,398	0,451	0,422
Mn	0,072	0,060	0,067	0,072	0,065	0,106	0,058	0,051	0,065	0,066	0,067
Mg	0,465	0,530	0,481	0,395	0,484	0,400	0,525	0,508	0,473	0,423	0,443
Ca	1,065	1,066	1,051	1,051	1,043	1,059	1,060	1,038	1,063	1,059	1,067
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr. = Analysen Nummer, Ds. Nr. = Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-22: Zusammensetzung von Dolomit und Ankerit aus dem Vorkommen Diepenlienchen.

An. Nr.	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	74
Ds. Nr.	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327	27327
Gew.-%											
FeO	14,83	15,53	13,00	19,40	19,67	14,13	11,92	13,69	15,05	15,31	14,75
MnO	2,05	2,17	1,98	2,91	2,75	2,30	2,56	2,75	2,29	1,96	2,51
MgO	9,41	8,94	10,02	5,91	6,48	9,75	11,06	9,76	9,22	9,95	8,76
CaO	28,91	29,06	29,90	28,16	28,13	29,25	29,30	29,20	29,32	28,64	29,67
BaO	0,00	0,07	0,00	0,00	0,04	0,04	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00
SrO	0,00	0,00	0,04	0,02	0,01	0,03	0,03	0,02	0,03	0,04	0,00
CO₂	43,31	43,44	43,61	42,25	42,93	43,70	43,96	43,71	43,74	43,96	43,44
Summe	98,51	99,19	98,55	98,65	100,01	99,20	98,82	99,21	99,66	99,87	99,13
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,419	0,438	0,365	0,563	0,561	0,396	0,332	0,384	0,422	0,427	0,416
Mn	0,059	0,062	0,056	0,085	0,080	0,065	0,072	0,078	0,065	0,055	0,072
Mg	0,474	0,449	0,501	0,306	0,330	0,487	0,549	0,488	0,460	0,494	0,440
Ca	1,047	1,050	1,076	1,046	1,029	1,051	1,046	1,049	1,052	1,023	1,072
Ba	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-23: Sideritzusammensetzung aus dem Vorkommen Diepenlienen.

An. Nr.	6	13	14	17	19	20	21	22	23	24	25
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Gew.-%											
FeO	61,17	61,83	61,36	60,81	61,57	61,30	61,04	62,20	61,95	61,45	61,54
MnO	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
CaO	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00
SrO	0,08	0,02	0,06	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,06	0,01	0,00
CO₂	37,53	37,93	37,64	37,31	37,77	37,60	37,40	38,12	38,05	37,69	37,70
Summe	98,81	99,88	99,09	98,25	99,45	98,95	98,47	100,36	100,16	99,23	99,27
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	1,000	1,000	0,998	0,999	1,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,001	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	2,000	2,000
An. Nr.	26	27	28	29	31	32	33	34	35	36	37
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Gew.-%											
FeO	61,47	61,76	61,99	61,80	61,24	61,22	61,31	62,03	62,15	62,47	61,49
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	0,03
MgO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
CaO	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,11	0,01	0,03	0,01	0,01
SrO	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,05	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00
CO₂	37,66	37,85	37,98	37,90	37,55	37,55	37,66	38,06	38,10	38,29	37,73
Summe	99,15	99,64	99,98	99,77	98,84	98,88	99,11	100,18	100,30	100,78	99,38
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	0,999	0,997	0,999	0,999	0,999	0,999
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,001	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-23: Sideritzzusammensetzung aus dem Vorkommen Diepenlienzen.

An. Nr.	38	45	46	47	49	50	51	52	53	54	57
Ds. Nr.	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328	27328
Gew.-%											
FeO	61,64	61,50	61,69	62,05	61,54	61,47	61,89	61,26	61,29	61,41	61,49
MnO	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02
MgO	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00
CaO	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,04	0,00	0,02	0,02
SrO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,03
CO₂	37,78	37,68	37,85	38,02	37,74	37,70	37,91	37,57	37,57	37,67	37,70
Summe	99,45	99,18	99,61	100,10	99,34	99,25	99,80	98,89	98,90	99,17	99,26
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,999	1,000	0,999	1,000	0,999	0,999	1,000	0,999	0,999	0,999	0,999
Mn	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Ca	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-24: Zusammensetzung von Zinkblende aus der Bohrung Albertsgrube (AG-1).

An. Nr.	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51
Ds. Nr.	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318
Cd	0,05	0,22	0,14	0,16	0,04	0,04	0,20	0,19	0,22	0,17	0,10
Fe	1,00	0,23	0,34	0,20	0,23	1,09	0,19	0,18	0,19	0,41	0,26
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00
Ni	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
Cu	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,01
Zn	65,74	66,30	66,13	66,59	66,81	64,96	66,37	66,58	66,65	66,02	66,46
Ga	0,00	0,10	0,00	0,00	0,05	0,12	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01
Ge	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
S	32,35	32,11	31,89	32,12	32,56	32,01	32,19	32,33	32,36	32,20	32,04
Summe	99,16	98,96	98,54	99,07	99,76	98,29	98,95	99,30	99,47	98,89	98,91

An. Nr.	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
Ds. Nr.	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318
Cd	0,16	0,13	0,07	0,09	0,17	0,04	0,04	0,09	0,13	0,08	0,13
Fe	0,23	0,42	0,37	0,28	0,74	0,23	0,24	0,20	0,39	0,34	0,39
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Cu	0,00	0,02	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01
Zn	66,44	66,10	66,32	66,52	65,61	67,09	66,88	66,96	66,31	66,63	66,48
Ga	0,06	0,00	0,11	0,15	0,10	0,06	0,08	0,05	0,00	0,00	0,11
Ge	0,01	0,04	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
S	31,93	32,28	32,12	32,43	32,21	32,43	32,77	32,25	32,51	32,38	31,97
Summe	98,82	98,98	99,01	99,49	98,86	99,88	100,04	99,55	99,39	99,46	99,11

An. Nr.	63	65	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Ds. Nr.	27318	27318	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317
Cd	0,04	0,05	0,02	0,02	0,00	0,97	0,06	0,04	0,02	0,04	0,05
Fe	1,51	1,74	2,10	0,67	2,73	0,06	0,49	1,41	2,74	0,49	2,62
Pb	0,00	0,00	0,22	0,09	0,26	0,00	0,00	0,14	0,24	0,03	0,15
Ni	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Zn	65,11	65,56	64,51	66,09	63,64	66,46	66,29	64,94	63,93	66,58	63,87
Ga	0,00	0,14	0,04	0,15	0,07	0,00	0,07	0,00	0,05	0,02	0,00
Ge	0,00	0,00	0,07	0,00	0,03	0,00	0,03	0,06	0,06	0,00	0,02
S	32,63	31,59	32,59	32,09	32,52	32,02	32,34	32,33	33,10	32,43	32,39
Summe	99,31	99,09	99,54	99,14	99,25	99,57	99,28	98,93	100,14	99,60	99,11

An. Nr.	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
Ds. Nr.	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317
Cd	0,67	0,80	0,39	0,62	0,07	0,26	0,19	0,93	0,03	0,68	0,02
Fe	0,04	0,22	0,11	0,07	0,89	0,17	0,20	0,06	0,39	0,16	3,93
Pb	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,06	0,00	0,26
Ni	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,03	0,00	0,00	0,02	0,02	0,01
Cu	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Zn	66,10	66,20	66,46	66,12	65,86	66,64	66,60	65,83	66,19	66,26	62,69
Ga	0,09	0,00	0,03	0,08	0,00	0,06	0,09	0,02	0,06	0,05	0,05
Ge	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00
S	32,19	32,28	32,09	32,09	32,30	32,04	32,49	31,94	32,29	32,48	32,65
Summe	99,14	99,50	99,12	98,98	99,14	99,24	99,58	98,82	99,05	99,66	99,61

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-25: Zusammensetzung von Bleiglanz aus der Bohrung Albertsgrube (AG-1).

An. Nr.	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ds. Nr.	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318
Cd	0,11	0,12	0,16	0,09	0,09	0,08	0,06	0,07	0,11	0,05	0,10
Fe	0,06	0,03	0,03	0,05	0,03	0,02	0,06	0,05	0,03	0,06	0,03
Pb	86,27	86,55	86,94	87,34	84,84	85,28	87,21	86,54	86,14	86,54	86,17
Zn	0,41	0,06	0,08	0,03	0,17	0,52	1,03	0,31	0,19	0,02	0,07
S	13,36	13,58	13,50	13,40	13,59	13,44	13,49	13,82	13,64	13,43	13,69
Summe	100,23	100,42	100,71	100,91	98,71	99,37	101,87	100,78	100,17	100,12	100,07

An. Nr.	72	74	77	78	79	80	82	83	84	85	86
Ds. Nr.	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318	27318
Cd	0,13	0,10	0,08	0,10	0,06	0,08	0,04	0,11	0,08	0,02	0,11
Fe	0,12	0,13	0,02	0,03	0,02	0,03	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
Pb	86,29	86,55	85,58	85,26	87,31	86,34	86,00	86,83	86,11	86,64	85,09
Zn	0,24	0,08	0,39	0,09	0,07	0,16	0,02	0,19	0,69	0,25	0,24
S	13,60	13,52	13,58	13,63	13,40	13,61	13,23	13,63	13,83	13,33	13,64
Summe	100,40	100,37	99,64	99,12	100,87	100,23	99,34	100,81	100,74	100,27	99,12

An. Nr.	87	88	89	90	111	112	113	114	116	117	118
Ds. Nr.	27318	27318	27318	27318	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317
Cd	0,08	0,12	0,08	0,08	0,12	0,07	0,12	0,10	0,04	0,05	0,08
Fe	0,04	0,08	0,08	0,03	0,01	0,04	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02
Pb	86,91	86,32	87,27	86,71	86,11	86,89	86,16	85,99	86,25	86,47	86,25
Zn	0,28	0,16	0,22	0,19	0,18	0,01	0,06	0,01	0,00	0,04	0,65
S	13,45	13,63	13,29	13,39	13,58	13,57	13,58	13,51	13,55	13,77	13,44
Summe	100,75	100,31	100,98	100,47	100,01	100,60	99,99	99,67	99,90	100,37	100,43

An. Nr.	119	120	121	123	124	125	126	127	128	129
Ds. Nr.	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317	27317
Cd	0,10	0,07	0,09	0,07	0,12	0,11	0,08	0,10	0,12	0,11
Fe	0,02	0,03	0,02	0,04	0,04	0,04	0,07	0,04	0,03	0,09
Pb	87,26	86,82	86,22	86,72	87,05	86,70	86,09	86,12	86,12	86,58
Zn	0,00	0,00	0,02	0,12	0,02	0,15	0,09	0,05	0,06	0,23
S	13,41	13,55	13,54	13,61	13,42	13,70	13,67	13,49	13,58	13,43
Summe	100,79	100,47	99,89	100,57	100,68	100,70	100,00	99,81	99,93	100,43

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-26: Zusammensetzung der Zinkblende aus der Bohrung Bleiberg (Bohrung A).

An. Nr.	3	5	6	7	9	10	12	14	18	21	26
Ds. Nr.	27330	27330	27330	27330	27330	27330	27330	27330	27330	27330	27330
Cd	0,01	0,01	0,01	0,04	0,33	0,26	0,04	0,03	0,06	0,02	0,05
Fe	1,72	1,80	1,89	1,21	0,14	0,07	0,08	0,08	0,89	0,11	0,10
Pb	0,94	1,01	1,00	0,37	0,31	0,06	0,77	0,39	0,56	0,86	0,15
Ni	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
Zn	63,36	63,24	63,22	64,33	65,92	66,92	65,61	65,69	64,55	65,33	66,87
Ga	0,09	0,08	0,00	0,06	0,00	0,00	0,11	0,00	0,00	0,10	0,08
Ge	0,03	0,13	0,00	0,00	0,00	0,01	0,07	0,06	0,00	0,05	0,07
S	32,02	31,98	32,13	32,18	32,07	31,23	32,06	32,00	32,09	31,64	31,24
Summe	98,16	98,24	98,22	98,20	98,77	98,54	98,75	98,26	98,16	98,11	98,56

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Cd	0,28	0,41	0,28	0,18	0,30	0,65	0,20	0,21	0,21	0,42	0,19
Fe	0,75	1,15	0,76	0,79	0,65	1,09	0,81	0,81	0,84	0,95	0,25
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,05	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,02	0,00	0,07
Zn	66,74	66,41	66,73	66,48	66,44	65,75	66,39	66,61	66,37	66,00	66,86
Ga	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,08	0,02	0,15	0,00
Ge	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
S	32,59	32,82	32,69	33,13	32,67	32,82	32,67	32,73	32,63	32,61	32,52
Summe	100,37	100,81	100,54	100,61	100,10	100,32	100,09	100,46	100,11	100,14	99,90

An. Nr.	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Cd	0,20	0,21	0,52	0,31	0,33	0,50	0,29	0,23	0,34
Fe	2,56	0,27	0,94	0,92	1,07	1,23	0,75	0,64	0,65
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Ni	0,02	0,00	0,01	0,00	0,06	0,00	0,00	0,00	0,16
Zn	64,59	67,11	66,09	66,34	66,18	65,71	66,61	66,40	66,17
Ga	0,03	0,01	0,01	0,05	0,08	0,04	0,15	0,00	0,00
Ge	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,00	0,00	0,04
S	32,93	32,73	33,16	33,30	33,50	32,68	33,11	32,75	32,85
Summe	100,36	100,38	100,73	100,93	101,23	100,20	100,91	100,03	100,22

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-27: Zusammensetzung vom Bleiglanz aus der Bohrung Bleiberg (Bohrung A).

An. Nr.	83	84	86	87	88	89	91	92	93	94	95
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Cd	0,14	0,09	0,15	0,12	0,09	0,11	0,16	0,09	0,13	0,07	0,11
Fe	0,06	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03	0,02	0,03	0,03	0,02	0,03
Pb	85,48	85,30	85,61	85,56	85,01	85,99	85,08	85,54	86,36	86,88	85,13
Ni	0,00	0,03	0,01	0,02	0,01	0,02	0,04	0,00	0,01	0,00	0,00
Zn	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ga	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,03	0,01	0,00	0,01
Ge	0,05	0,03	0,04	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,01	0,05	0,00
S	13,73	13,36	13,08	13,27	13,22	12,96	13,36	13,22	13,34	13,22	13,49
Summe	99,48	98,84	98,93	99,07	98,39	99,14	98,70	98,95	99,88	100,25	98,76

An. Nr.	96	97	100	101	28	29	30	31	32	34	36
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27330	27330	27330	27330	27330	27330	27330
Cd	0,12	0,12	0,12	0,07	0,18	0,07	0,07	0,13	0,10	0,06	0,15
Fe	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,04	0,06	0,03	0,02
Pb	85,63	85,15	85,23	85,74	85,21	85,86	85,50	85,41	85,65	85,33	84,89
Ni	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,03	0,01	0,01
Zn	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,17	0,23	0,11
Ga	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Ge	0,02	0,04	0,04	0,01	0,06	0,04	0,02	0,03	0,02	0,00	0,03
S	13,31	13,39	13,47	13,32	13,47	13,30	13,22	13,23	13,30	13,36	13,27
Summe	99,10	98,74	98,91	99,20	98,98	99,29	98,85	98,87	99,34	99,03	98,48

An. Nr.	37	38	39	31	32	33	34	35	36	37	38
Ds. Nr.	27330	27330	27330	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Cd	0,13	0,06	0,13	0,04	0,07	0,11	0,12	0,10	0,09	0,10	0,09
Fe	0,02	0,00	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02
Pb	84,72	85,51	85,01	85,58	86,20	85,64	87,20	86,14	86,69	86,76	85,50
Ni	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,04	0,00	0,01	0,00
Zn	0,00	0,04	0,09	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00
Ga	0,00	0,03	0,01	0,03	0,01	0,00	0,03	0,00	0,03	0,01	0,00
Ge	0,03	0,07	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,04	0,01	0,04	0,06
S	13,49	13,40	13,28	13,38	13,27	13,51	13,41	13,39	13,43	13,36	13,39
Summe	98,40	99,11	98,56	99,04	99,60	99,31	100,74	99,66	100,25	100,30	99,00

An. Nr.	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Cd	0,15	0,12	0,11	0,16	0,06	0,13	0,02	0,05	0,09	0,20	0,08
Fe	0,03	0,05	0,03	0,02	0,07	0,02	0,04	0,02	0,02	0,02	0,02
Pb	85,70	86,44	87,76	86,67	85,61	86,36	86,28	87,36	85,95	85,19	85,63
Ni	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00
Zn	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,08	0,02	0,00	0,02	0,00
Ga	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,01	0,01
Ge	0,04	0,02	0,03	0,02	0,00	0,00	0,04	0,01	0,04	0,06	0,04
S	13,53	13,46	13,59	13,48	13,51	13,51	13,63	13,45	13,44	13,76	13,60
Summe	99,42	100,13	101,50	100,34	99,30	100,07	100,05	100,91	99,50	99,20	99,33

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-27: Zusammensetzung vom Bleiglanz aus der Bohrung Bleiberg (Bohrung A).

An. Nr.	50	51	52	54	55	56	57	58	59	60
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Cd	0,08	0,04	0,03	0,11	0,08	0,14	0,07	0,08	0,13	0,10
Fe	0,04	0,04	0,02	0,03	0,05	0,04	0,04	0,04	0,02	0,05
Pb	85,55	86,59	87,35	85,46	85,58	85,25	86,66	87,25	86,33	86,04
Ni	0,00	0,03	2,33	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,02
Zn	0,02	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,05	0,03	0,01	0,01
Ga	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,04	0,00	0,01	0,04
Ge	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01	0,04	0,06	0,04	0,02	0,03
S	13,41	13,44	13,51	13,37	13,33	13,46	13,42	13,56	13,40	13,61
Summe	99,11	100,18	100,96	98,98	99,03	98,88	100,24	100,98	99,93	99,81

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-28: Calcitzusammensetzung aus der Bohrung Bleiberg (Bohrung A).

An. Nr.	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Gew.-%											
FeO	0,33	0,38	0,26	0,39	0,24	0,46	0,38	0,32	0,49	0,60	0,28
MnO	0,91	0,94	0,86	0,86	0,86	1,01	0,86	0,83	1,01	1,00	0,80
MgO	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02
CaO	54,24	54,31	54,23	54,06	54,44	53,61	54,44	53,86	53,48	53,38	53,93
BaO	0,01	0,07	0,04	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
SrO	0,00	0,01	0,04	0,00	0,02	0,01	0,06	0,01	0,00	0,06	0,04
CO₂	43,37	43,49	43,29	43,23	43,42	43,00	43,54	43,00	42,91	42,96	43,04
Summe	98,88	99,22	98,73	98,56	98,98	98,10	99,30	98,05	97,89	98,03	98,12
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,005	0,005	0,004	0,006	0,003	0,007	0,005	0,005	0,007	0,009	0,004
Mn	0,013	0,013	0,012	0,012	0,012	0,015	0,012	0,012	0,015	0,014	0,012
Mg	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Ca	0,982	0,980	0,983	0,982	0,984	0,978	0,981	0,983	0,978	0,975	0,983
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr.	98	99	100	101	102	105	106	107	108	109	110
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Gew.-%											
FeO	0,61	0,49	0,49	0,39	0,46	0,48	0,51	0,47	0,51	0,33	0,62
MnO	0,87	0,89	0,73	0,67	1,02	0,96	0,90	0,95	1,03	0,73	1,21
MgO	0,03	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02	0,02
CaO	53,71	53,98	54,26	54,38	53,62	54,03	53,91	53,72	53,50	53,85	53,41
BaO	0,00	0,06	0,05	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00	0,00	0,04	0,09
SrO	0,00	0,02	0,01	0,04	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
CO₂	43,11	43,27	43,37	43,37	43,02	43,34	43,21	43,07	42,96	42,95	43,10
Summe	98,34	98,75	98,93	98,89	98,15	98,88	98,55	98,24	98,03	97,92	98,46
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,009	0,007	0,007	0,006	0,007	0,007	0,007	0,007	0,007	0,005	0,009
Mn	0,013	0,013	0,010	0,010	0,015	0,014	0,013	0,014	0,015	0,010	0,017
Mg	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
Ca	0,978	0,979	0,982	0,984	0,978	0,978	0,979	0,979	0,977	0,984	0,973
Ba	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-29: Sideritzusammensetzung aus der Bohrung Bleiberg (Bohrung A).

An. Nr.	61	62	64	65	67	70	71	73	74	75	76
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332
Gew.-%											
FeO	61,13	61,44	60,75	61,09	61,49	60,46	61,97	61,39	61,18	60,75	61,79
MnO	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,00	0,00
MgO	1,23	0,87	1,49	1,17	0,75	1,86	0,13	0,67	1,03	1,61	0,31
CaO	0,05	0,05	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00	0,06	0,04	0,02	0,04
CO₂	37,48	37,68	37,23	37,42	37,68	37,09	37,97	37,66	37,54	37,27	37,90
Summe	99,90	100,05	99,49	99,68	99,94	99,44	100,07	99,78	99,82	99,64	100,04
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,987	0,990	0,985	0,989	0,992	0,981	0,999	0,992	0,989	0,983	0,996
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000
Mg	0,035	0,025	0,043	0,034	0,022	0,054	0,004	0,019	0,030	0,046	0,009
Ca	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001
C	0,988	0,992	0,986	0,989	0,993	0,982	0,999	0,994	0,990	0,985	0,997
Summe	2,012	2,008	2,014	2,011	2,007	2,018	2,001	2,006	2,010	2,015	2,003
An. Nr.	77	78	79	80	81	82	85	86	87	89	
Ds. Nr.	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	27332	
Gew.-%											
FeO	61,27	60,83	60,10	60,76	60,63	60,61	60,70	61,21	60,25	60,83	
MnO	0,04	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	
MgO	0,89	1,49	1,98	1,57	1,99	1,45	1,67	1,05	1,39	1,71	
CaO	0,01	0,01	0,00	0,03	0,01	0,02	0,02	0,00	0,03	0,01	
CO₂	37,58	37,28	36,85	37,29	37,17	37,16	37,23	37,57	36,98	37,29	
Summe	99,79	99,60	98,96	99,65	99,80	99,24	99,62	99,83	98,65	99,86	
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit											
Fe²⁺	0,990	0,985	0,980	0,983	0,980	0,985	0,983	0,989	0,985	0,983	
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	
Mg	0,026	0,043	0,058	0,045	0,057	0,042	0,048	0,030	0,040	0,049	
Ca	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	
C	0,992	0,986	0,981	0,985	0,981	0,986	0,984	0,991	0,987	0,984	
Summe	2,008	2,014	2,019	2,015	2,019	2,014	2,016	2,009	2,013	2,016	

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-30: Zusammensetzung der Zinkblende aus dem Vorkommen Altenberg.

An. Nr.	119	137	138	175	176	177	178	179	180	182	188
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,04	0,02	0,05	0,04	0,13	0,05	0,14	0,08	0,01	0,06	0,10
Fe	3,71	2,30	0,69	0,30	0,73	0,38	0,72	0,33	0,40	1,73	0,29
Pb	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00	0,00	0,10
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	62,64	64,26	65,76	66,84	66,42	66,80	65,88	66,22	66,51	65,45	65,99
Ga	0,07	0,06	0,08	0,04	0,00	0,07	0,02	0,16	0,00	0,13	0,04
Ge	0,08	0,04	0,09	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06
S	32,69	32,69	32,58	32,74	32,41	32,50	32,36	32,28	32,48	32,87	32,55
Summe	99,23	99,37	99,27	100,02	99,71	99,81	99,12	99,19	99,43	100,24	99,12

An. Nr.	192	193	194	195	201	203	204	210	211	212	215
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,00	0,03	0,01	0,02	0,04	0,00	0,05	0,09	0,06	0,15	0,08
Fe	0,38	1,96	1,67	2,13	1,66	2,39	2,17	0,15	5,81	1,16	4,05
Pb	0,27	0,02	0,08	0,04	0,03	0,46	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	65,81	64,61	65,23	64,24	64,21	63,03	64,25	66,17	60,55	65,84	62,54
Ga	0,00	0,07	0,02	0,11	0,00	0,10	0,04	0,00	0,07	0,02	0,02
Ge	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,06	0,01	0,00	0,00	0,00
S	31,95	32,49	32,63	32,51	33,85	32,29	33,25	32,43	32,44	32,57	32,51
Summe	98,43	99,19	99,63	99,06	99,83	98,27	99,86	98,86	98,92	99,74	99,20

An. Nr.	216	217	223	226	228	230	21	22	24	28	29
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	27326	27326	27326	27326	27326
Cd	0,02	0,12	0,05	0,05	0,02	0,03	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	2,11	9,63	0,93	0,30	0,81	1,17	0,46	0,37	0,60	2,09	2,45
Pb	0,00	2,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,12	0,47
Ni	0,02	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	64,78	52,21	66,03	65,76	65,81	65,90	65,95	66,35	65,81	64,41	63,58
Ga	0,16	0,00	0,00	0,07	0,02	0,16	0,12	0,07	0,06	0,08	0,04
Ge	0,00	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,04	0,09	0,06
S	32,57	36,25	32,07	34,08	32,51	32,88	32,21	32,41	32,36	32,35	32,48
Summe	99,65	100,46	99,08	100,27	99,18	100,17	98,85	99,38	99,01	99,13	99,07

An. Nr.	31	39	40	104	118	119	120
Ds. Nr.	27326	27326	27326	27325	27325	27325	27325
Cd	1,30	0,50	0,05	0,14	0,35	0,56	0,23
Fe	1,51	0,61	1,69	0,48	0,29	0,35	1,03
Pb	0,00	0,04	0,15	0,18	0,00	0,00	0,00
Ni	0,02	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02
Cu	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	64,32	65,97	64,95	66,20	66,17	66,04	65,57
Ga	0,00	0,07	0,02	0,11	0,00	0,11	0,04
Ge	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00
S	32,27	32,36	32,22	32,04	32,45	32,22	32,32
Summe	99,43	99,54	99,08	99,19	99,32	99,28	99,21

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-31: Zusammensetzung von Bleiglanz aus dem Vorkommen Altenberg.

An. Nr.	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,07	0,12	0,09	0,09	0,09	0,07	0,05	0,05	0,14	0,15	0,12
Fe	0,02	0,02	0,03	0,02	0,04	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03	0,03
Pb	85,90	86,19	86,40	86,71	86,30	86,32	86,40	86,61	86,46	87,04	85,88
Ni	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00
Zn	0,02	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,70	0,06	0,06
S	13,30	13,38	13,34	13,37	13,37	13,31	13,25	13,23	13,42	13,42	13,39
Summe	99,31	99,72	99,88	100,19	99,83	99,73	99,76	99,90	100,74	100,71	99,48

An. Nr.	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	25
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,05	0,11	0,12	0,10	0,13	0,11	0,06	0,07	0,11	0,12	0,14
Fe	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,01	0,04	0,03	0,01	0,02	0,04
Pb	86,82	85,86	86,99	85,98	86,54	86,25	86,64	86,36	86,88	86,79	86,41
Ni	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,03	0,00	0,02	0,00	0,01	0,02
Zn	0,15	0,22	0,00	0,03	0,11	0,01	0,03	0,13	0,00	0,04	0,20
S	13,31	13,62	13,41	13,25	13,51	13,53	13,47	13,56	13,55	13,53	13,41
Summe	100,39	99,86	100,56	99,42	100,32	99,93	100,27	100,20	100,56	100,50	100,22

An. Nr.	26	27	28	29	31	33	35	37	38	39	40
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,13	0,05	0,09	0,08	0,13	0,12	0,16	0,16	0,08	0,08	0,08
Fe	0,03	0,03	0,01	0,04	0,02	0,02	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03
Pb	85,18	85,54	86,84	86,35	86,05	86,24	86,78	86,94	86,71	86,37	87,01
Ni	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00
Zn	0,30	0,33	0,15	0,21	0,00	0,01	0,01	0,18	0,25	0,30	0,23
S	13,59	13,55	13,34	13,44	13,32	13,57	13,36	13,60	13,60	13,47	13,39
Summe	99,27	99,50	100,47	100,12	99,52	100,00	100,36	100,95	100,67	100,25	100,73

An. Nr.	46	48	49	51	53	54	55	56	57	58	61
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,12	0,09	0,12	0,14	0,06	0,16	0,08	0,12	0,18	0,08	0,07
Fe	0,02	0,01	0,02	0,01	0,03	0,02	0,03	0,04	0,03	0,05	0,09
Pb	85,97	86,26	86,38	86,25	86,63	86,19	86,47	84,87	86,07	86,64	85,16
Ni	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01
Cu	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01
Zn	0,32	0,02	0,03	0,01	0,13	0,23	0,51	0,83	0,47	0,49	0,80
S	13,73	13,43	13,33	13,44	13,55	13,42	13,47	13,71	13,33	13,34	13,52
Summe	100,17	99,81	99,90	99,84	100,40	100,02	100,58	99,56	100,10	100,62	99,65

An. Nr.	62	64	67	69	70	72	74	75	76	78	79
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,09	0,18	0,11	0,14	0,06	0,10	0,07	0,10	0,05	0,10	0,04
Fe	0,01	0,03	0,04	0,03	0,03	0,03	0,05	0,06	0,04	0,06	0,09
Pb	86,20	86,46	86,21	85,03	85,05	86,12	86,27	86,68	86,94	85,63	86,69
Ni	0,00	0,00	0,03	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04
Cu	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,04	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00
Zn	0,03	0,00	0,03	0,14	0,60	0,01	0,04	0,05	0,38	0,02	0,01
S	13,31	13,50	13,28	13,66	13,64	13,34	13,77	13,38	13,55	13,35	13,43
Summe	99,63	100,19	99,69	99,04	99,37	99,64	100,20	100,27	100,96	99,18	100,30

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-31: Zusammensetzung von Bleiglanz aus dem Vorkommen Altenberg.

An. Nr.	80	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
Ds. Nr.	26515	27326	27326	27326	27326	27326	27326	27326	27326	27326	27326
Cd	0,12	0,11	0,07	0,05	0,05	0,12	0,09	0,06	0,09	0,04	0,10
Fe	0,04	0,01	0,03	0,05	0,04	0,01	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03
Pb	86,96	85,43	84,88	86,46	86,18	84,74	85,64	85,61	86,26	85,91	86,16
Ni	0,03	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03
Cu	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
Zn	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
S	13,29	13,75	13,50	13,63	13,55	13,59	13,44	13,61	13,67	13,57	13,52
Summe	100,44	99,35	98,48	100,19	99,87	98,46	99,21	99,31	100,06	99,57	99,86

An. Nr.	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
Ds. Nr.	27326	27326	27326	27326	27326	27326	27326	27326	27326	27326
Cd	0,11	0,07	0,11	0,08	0,07	0,08	0,09	0,06	0,11	0,09
Fe	0,02	0,04	0,02	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,01	0,02
Pb	86,01	86,40	86,81	85,97	85,20	85,52	86,69	85,67	86,06	85,87
Ni	0,04	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,04	0,03	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00
Zn	0,18	0,59	0,03	0,04	0,00	0,01	0,02	0,00	0,02	0,01
S	13,55	13,52	13,65	13,66	13,48	13,62	13,33	13,61	13,65	13,64
Summe	99,91	100,61	100,62	99,81	98,79	99,25	100,17	99,41	99,88	99,62

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-32: Zusammensetzung von Markasit aus dem Vorkommen Altenberg.

An. Nr.	2	3	4	9	10	11	12	13	15	16	17
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,04	0,00	0,00
Fe	45,84	46,06	45,79	45,34	45,94	45,87	45,56	45,94	45,38	45,58	46,02
Pb	0,02	0,00	0,22	0,76	0,07	0,00	0,84	0,36	0,99	0,52	0,00
Ni	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01
Zn	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
S	52,93	53,23	52,98	52,91	53,19	52,86	52,75	53,02	52,63	53,10	53,63
Summe	98,79	99,30	99,02	99,03	99,20	98,74	99,19	99,33	99,05	99,23	99,66

An. Nr.	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00
Fe	46,06	46,06	45,89	45,86	46,05	46,22	45,62	45,97	45,44	45,69	45,93
Pb	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,39	0,03	0,76	0,51	0,00
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00
Zn	0,00	0,06	0,08	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,00	0,01	0,02
S	53,35	52,99	53,01	52,99	53,11	52,87	52,76	52,97	52,85	53,04	53,08
Summe	99,41	99,12	98,99	98,88	99,22	99,09	98,82	99,00	99,06	99,28	99,03

An. Nr.	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,01	0,00	0,03	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Fe	45,89	45,78	45,62	46,01	45,54	45,49	45,61	45,46	45,61	45,21	45,52
Pb	0,00	0,33	0,15	0,06	1,00	0,51	0,49	0,28	0,63	1,10	0,57
Ni	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Cu	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00	0,00
Zn	0,04	0,00	0,02	0,01	0,01	0,04	0,00	0,05	0,06	0,00	0,00
S	53,37	53,33	53,19	53,13	52,66	53,14	53,01	52,84	52,77	52,81	52,97
Summe	99,33	99,46	99,01	99,23	99,22	99,18	99,12	98,67	99,12	99,14	99,06

An. Nr.	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00
Fe	45,50	45,57	45,85	45,72	45,66	45,52	45,46	45,25	45,49	45,27	45,48
Pb	0,62	0,65	0,07	0,03	0,36	0,80	0,74	1,15	0,63	0,77	0,73
Ni	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02
Zn	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01
S	53,11	52,99	53,03	52,81	53,09	52,63	52,76	52,65	52,77	52,56	52,90
Summe	99,24	99,22	98,97	98,56	99,12	98,97	98,98	99,07	98,89	98,63	99,14

An. Nr.	51	52	53	54	58	139	140	141	142	146	147
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
Fe	45,73	45,86	45,46	45,34	45,71	46,13	46,42	46,63	46,51	46,51	46,65
Pb	0,55	0,50	0,61	0,60	0,31	0,77	0,52	0,11	0,00	0,07	0,00
Ni	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01
Cu	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Zn	0,01	0,01	0,02	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,01
S	52,91	52,67	52,75	52,41	52,94	52,69	51,82	52,45	52,91	52,85	52,45
Summe	99,23	99,08	98,86	98,38	98,97	99,60	98,77	99,20	99,44	99,46	99,12

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-32: Zusammensetzung von Markasit aus dem Vorkommen Altenberg.

An. Nr.	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	159
Ds. Nr.	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515	26515
Cd	0,03	0,00	0,04	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02	0,00
Fe	46,61	46,50	46,48	46,70	46,76	46,72	46,53	46,37	46,70	47,00	46,47
Pb	0,00	0,27	0,33	0,00	0,04	0,00	0,26	0,31	0,09	0,01	0,30
Ni	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,03	0,00
Cu	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00
Zn	0,00	0,00	0,03	0,02	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,00
S	52,83	52,72	52,72	52,86	52,95	52,71	52,22	52,64	52,88	52,92	52,70
Summe	99,46	99,48	99,60	99,60	99,79	99,44	99,03	99,36	99,70	100,00	99,48

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-33: Zusammensetzung von Zinkblende aus der Bohrung Thermae 2002 (Zone i).

An. Nr.	66	67	68	70	71	72	73	78	79	80	81
Ds. Nr.	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331
Cd	0,06	0,09	0,06	0,02	0,01	0,59	0,39	0,01	0,00	0,00	0,06
Fe	0,18	0,14	0,10	0,20	0,06	0,07	0,09	2,56	2,15	3,12	0,63
Pb	1,02	0,00	0,00	0,05	0,92	0,69	0,24	0,11	1,75	0,64	0,00
Ni	0,00	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
Cu	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	65,32	66,13	65,69	65,55	65,39	65,63	65,71	64,74	62,86	62,49	65,37
Ga	0,12	0,00	0,10	0,12	0,00	0,02	0,15	0,09	0,17	0,03	0,00
Ge	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,06	0,08	0,03	0,08
S	32,63	32,26	33,01	33,11	32,73	32,19	31,88	32,70	32,07	32,44	32,43
Summe	99,22	98,64	98,87	98,92	99,13	99,18	98,31	100,18	98,91	98,72	98,58

An. Nr.	82	84	85	86	92	93	94	95	96	98	100
Ds. Nr.	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331
Cd	0,05	0,47	0,02	0,22	0,03	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,04
Fe	0,31	0,16	0,37	0,16	1,31	0,37	0,36	0,28	0,44	1,27	2,06
Pb	0,00	0,57	1,06	0,61	0,17	1,57	1,64	0,68	0,76	1,47	0,92
Ni	0,03	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Cu	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	65,78	65,45	65,88	64,31	65,25	65,26	65,39	64,68	65,20	63,51	63,62
Ga	0,08	0,00	0,09	0,05	0,06	0,13	0,06	0,06	0,11	0,05	0,02
Ge	0,00	0,00	0,07	0,06	0,08	0,00	0,05	0,03	0,00	0,07	0,05
S	32,28	31,84	32,66	32,73	32,19	31,79	31,90	33,18	33,19	31,77	31,93
Summe	98,46	98,49	100,06	98,10	99,02	99,00	99,34	98,86	99,60	98,09	98,62

An. Nr.	101	102
Ds. Nr.	27331	27331
Cd	0,03	0,23
Fe	0,10	0,09
Pb	0,14	0,14
Ni	0,00	0,03
Cu	0,00	0,00
Zn	65,77	65,25
Ga	0,08	0,07
Ge	0,04	0,00
S	33,66	32,77
Summe	99,74	98,52

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-34: Zusammensetzung von Bleiglanz aus der Bohrung Thermae 2002 (Zone i).

An. Nr.	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141
Ds. Nr.	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331
Cd	0,10	0,09	0,06	0,08	0,09	0,12	0,03	0,14	0,18	0,08	0,09
Fe	0,03	0,02	0,01	0,04	0,03	0,04	0,05	0,03	0,02	0,03	0,04
Pb	85,11	86,19	86,74	85,65	86,61	85,19	85,84	83,86	85,03	85,82	86,64
Zn	0,06	0,02	0,11	0,11	0,07	0,08	0,09	0,34	1,04	0,22	0,29
S	13,69	13,56	13,49	13,65	13,41	13,58	13,75	13,93	13,81	13,35	13,16
Summe	98,98	99,87	100,41	99,53	100,25	99,06	99,80	98,33	100,09	99,51	100,23

An. Nr.	142	143	144	145	146	147	148	149
Ds. Nr.	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331	27331
Cd	0,10	0,11	0,12	0,02	0,07	0,04	0,09	0,04
Fe	0,09	0,04	0,02	0,02	0,05	0,04	0,08	0,04
Pb	84,65	84,62	85,11	84,55	84,39	85,59	85,68	85,40
Zn	0,30	0,01	0,01	0,14	0,11	0,23	0,12	0,29
S	13,78	13,55	13,67	13,70	13,84	13,58	13,71	13,63
Summe	98,92	98,36	98,96	98,43	98,48	99,48	99,77	99,40

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-35: Calcitzusammensetzung in Gängen der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	6	8	9	10	11	13	24	30	33	37
Ds. Nr.	26781	26781	26781	26781	26781	26781	26781	26781	26781	26781
Gew.-%										
FeO	1,54	1,57	1,61	1,51	1,46	1,39	1,65	1,54	1,77	1,59
MnO	1,04	1,10	1,29	1,34	1,22	0,98	1,01	1,07	0,99	1,53
MgO	0,79	0,80	0,72	0,81	0,71	0,75	0,83	0,82	0,88	0,68
CaO	51,36	51,17	51,21	50,78	51,50	51,81	51,32	51,13	51,11	50,88
SrO	0,40	0,31	0,20	0,17	0,22	0,36	0,25	0,36	0,37	0,18
CO₂	42,94	42,83	42,89	42,61	42,98	43,13	43,00	42,85	42,93	42,67
Summe	98,06	97,79	97,91	97,21	98,10	98,41	98,07	97,77	98,04	97,53
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,022	0,022	0,023	0,022	0,021	0,020	0,024	0,022	0,025	0,023
Mn	0,015	0,016	0,019	0,019	0,018	0,014	0,015	0,015	0,014	0,022
Mg	0,020	0,020	0,018	0,021	0,018	0,019	0,021	0,021	0,022	0,017
Ca	0,939	0,938	0,937	0,936	0,941	0,943	0,937	0,937	0,934	0,936
Sr	0,004	0,003	0,002	0,002	0,002	0,004	0,003	0,004	0,004	0,002
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,001	1,001	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	1,999	1,999	2,000	2,000
An. Nr.	39	40	1163	1164	1172	1174	1179	1180	1196	1198
Ds. Nr.	26781	26781	26763	26763	26763	26763	26763	26763	26763	26763
Gew.-%										
FeO	1,61	1,41	0,80	1,25	0,70	0,57	0,63	0,74	0,76	0,79
MnO	1,32	1,22	0,17	0,23	0,10	0,14	0,13	0,13	0,21	0,24
MgO	0,87	0,74	0,76	1,19	0,45	0,49	0,39	0,60	0,49	0,54
CaO	50,37	51,00	53,37	52,77	53,69	53,61	54,04	53,54	53,82	53,52
SrO	0,37	0,23	0,11	0,14	0,20	0,41	0,07	0,37	0,12	0,09
CO₂	42,45	42,55	43,36	43,68	43,20	43,22	43,33	43,36	43,42	43,25
Summe	96,99	97,15	98,57	99,26	98,33	98,44	98,58	98,74	98,83	98,42
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,023	0,020	0,011	0,017	0,010	0,008	0,009	0,010	0,011	0,011
Mn	0,019	0,018	0,002	0,003	0,001	0,002	0,002	0,002	0,003	0,003
Mg	0,022	0,019	0,019	0,030	0,011	0,012	0,010	0,015	0,012	0,014
Ca	0,931	0,941	0,966	0,948	0,976	0,974	0,979	0,969	0,973	0,971
Sr	0,004	0,002	0,001	0,001	0,002	0,004	0,001	0,004	0,001	0,001
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
An. Nr.	1221	1236	1	2	3	4	5	6	7	8
Ds. Nr.	26763	26763	26766	26766	26766	26766	26766	26766	26766	26766
Gew.-%										
FeO	0,71	0,11	0,67	0,48	0,64	0,38	0,39	0,52	0,42	0,43
MnO	0,17	0,21	0,14	0,09	0,12	0,09	0,10	0,17	0,11	0,07
MgO	0,63	0,09	0,99	0,49	0,86	0,31	0,23	0,80	0,60	0,61
CaO	53,60	55,07	53,26	53,81	53,15	54,39	54,48	53,49	54,38	53,91
SrO	0,12	0,00	0,13	0,11	0,12	0,09	0,10	0,06	0,10	0,12
CO₂	43,35	43,52	43,44	43,19	43,17	43,35	43,37	43,30	43,71	43,35
Summe	98,59	99,00	98,63	98,17	98,06	98,62	98,67	98,33	99,32	98,48
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe²⁺	0,010	0,002	0,009	0,007	0,009	0,005	0,006	0,007	0,006	0,006
Mn	0,002	0,003	0,002	0,001	0,002	0,001	0,001	0,002	0,002	0,001
Mg	0,016	0,002	0,025	0,012	0,022	0,008	0,006	0,020	0,015	0,015
Ca	0,971	0,993	0,962	0,978	0,966	0,985	0,986	0,970	0,976	0,976
Sr	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-35: Calcitzusammensetzung in Gängen der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	9	10	11	13	14	16
Ds. Nr.	26766	26766	26766	26766	26766	26766
Gew.-%						
FeO	0,68	0,55	0,62	0,53	0,60	0,50
MnO	0,15	0,09	0,13	0,12	0,14	0,08
MgO	0,98	0,82	0,85	0,59	0,73	0,59
CaO	53,26	53,53	53,83	53,64	53,49	53,65
SrO	0,10	0,11	0,11	0,04	0,06	0,12
CO₂	43,42	43,38	43,67	43,19	43,27	43,17
Summe	98,58	98,49	99,20	98,11	98,28	98,11
Anzahl der Kationen auf der Basis von 3 Sauerstoffatomen/Formeleinheit						
Fe²⁺	0,010	0,008	0,009	0,008	0,008	0,007
Mn	0,002	0,001	0,002	0,002	0,002	0,001
Mg	0,025	0,021	0,021	0,015	0,018	0,015
Ca	0,963	0,969	0,967	0,975	0,970	0,975
Sr	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001
C	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
Summe	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-36: Dolomitzusammensetzung in Gängen der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	1168	1169	1185	1186	1187	1189	1190	1191	1194	1195
Ds. Nr.	26763	26763	26763	26763	26763	26763	26763	26763	26763	26763
Gew.-%										
FeO	6,58	6,65	7,15	2,28	2,78	1,49	2,74	2,96	2,60	1,52
MnO	0,39	0,37	0,43	0,24	0,31	0,23	0,37	0,30	0,41	0,22
MgO	15,01	14,84	14,06	16,65	16,79	17,75	16,31	16,76	16,65	19,61
CaO	31,87	31,87	32,04	31,72	32,36	32,80	32,81	32,30	32,92	30,73
SrO	0,05	0,05	0,08	0,03	0,01	0,04	0,03	0,00	0,05	0,00
CO ₂	45,70	45,54	45,18	44,62	45,63	46,19	45,48	45,64	45,88	46,59
Summe	99,61	99,32	98,94	95,54	97,87	98,49	97,75	97,96	98,50	98,66
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe ²⁺	0,176	0,179	0,194	0,063	0,075	0,039	0,074	0,080	0,070	0,040
Mn	0,011	0,010	0,012	0,007	0,008	0,006	0,010	0,008	0,011	0,006
Mg	0,717	0,712	0,680	0,814	0,804	0,839	0,783	0,802	0,792	0,919
Ca	1,095	1,099	1,113	1,116	1,113	1,115	1,132	1,111	1,126	1,035
Sr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	1200	1201	1202	1203	1205	1208	1212	1213	1227	1228
Ds. Nr.	26754	26754	26754	26754	26754	26754	26754	26754	26754	26754
Gew.-%										
FeO	6,99	7,19	6,79	6,45	1,60	1,91	2,91	3,03	6,41	6,05
MnO	0,41	0,43	0,44	0,41	0,19	0,22	0,31	0,33	0,39	0,41
MgO	13,98	14,14	14,44	14,82	17,70	17,15	17,04	17,19	14,74	14,99
CaO	32,00	32,09	31,16	31,80	32,46	32,67	31,74	31,86	31,81	32,12
SrO	0,05	0,07	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,03	0,05	0,04
CO ₂	44,93	45,32	44,67	45,37	45,90	45,67	45,48	45,84	45,24	45,55
Summe	98,35	99,24	97,54	98,90	97,85	97,62	97,47	98,27	98,63	99,16
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe ²⁺	0,190	0,194	0,186	0,174	0,043	0,051	0,078	0,081	0,174	0,163
Mn	0,011	0,012	0,012	0,011	0,005	0,006	0,008	0,009	0,011	0,011
Mg	0,680	0,681	0,706	0,713	0,842	0,820	0,818	0,819	0,711	0,718
Ca	1,118	1,111	1,095	1,100	1,110	1,123	1,095	1,091	1,104	1,107
Sr	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	1229	1238	1239	1240
Ds. Nr.	26754	26754	26754	26754
Gew.-%				
FeO	5,99	1,68	1,37	8,06
MnO	0,31	0,21	0,20	0,41
MgO	14,96	18,40	17,29	14,79
CaO	31,90	31,11	32,38	29,24
SrO	0,05	0,01	0,05	0,04
CO ₂	45,26	45,67	45,27	44,30
Summe	98,48	97,07	96,56	96,84
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit				
Fe ²⁺	0,162	0,045	0,037	0,223
Mn	0,009	0,006	0,006	0,012
Mg	0,722	0,880	0,834	0,729
Ca	1,106	1,069	1,123	1,036
Sr	0,001	0,000	0,001	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-37: Ankeritzusammensetzung in Gängen der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	158	161	164	165	166	169	176	178	180	181
Ds. Nr.	26754	26754	26754	26754	26754	26754	26754	26754	26754	26754
Gew.-%										
FeO	11,34	10,90	10,77	11,16	10,91	10,55	10,78	10,64	10,82	10,69
MnO	6,48	6,43	6,70	7,65	6,84	7,35	8,39	8,45	8,15	7,42
MgO	9,37	9,25	9,95	8,20	8,70	9,64	7,00	7,34	8,66	9,33
CaO	28,61	28,93	28,17	28,75	28,98	28,15	29,93	29,55	28,22	28,18
SrO	0,01	0,04	0,04	0,04	0,06	0,02	0,03	0,02	0,00	0,04
CO ₂	43,66	43,49	43,75	43,13	43,55	43,67	42,98	43,01	43,28	43,47
Summe	99,47	99,05	99,38	98,94	99,03	99,37	99,10	99,01	99,12	99,12
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe ²⁺	0,318	0,307	0,302	0,317	0,308	0,296	0,307	0,303	0,306	0,301
Mn	0,184	0,183	0,190	0,220	0,195	0,209	0,242	0,244	0,234	0,212
Mg	0,469	0,465	0,497	0,415	0,438	0,482	0,356	0,373	0,437	0,469
Ca	1,029	1,044	1,011	1,046	1,047	1,012	1,093	1,079	1,023	1,018
Sr	0,000	0,001	0,001	0,001	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,006	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	3,994	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000
An. Nr.	4	7	8	9	10	11	12	13	17	20
Ds. Nr.	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758
Gew.-%										
FeO	9,15	9,24	9,17	9,17	9,34	12,15	12,83	12,56	11,95	12,35
MnO	7,59	7,45	7,24	7,28	7,56	8,08	7,92	8,86	8,60	7,77
MgO	7,72	7,62	7,37	7,53	7,46	7,01	6,18	5,87	5,29	6,56
CaO	31,11	31,47	30,99	32,16	31,57	29,04	29,85	29,80	30,67	29,80
SrO	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,02	0,03	0,00	0,05	0,00
CO ₂	43,78	43,32	43,53	43,64	43,34	42,90	42,97	42,98	42,52	42,93
Summe	99,35	99,11	98,30	99,79	99,29	99,19	99,78	100,07	99,07	99,41
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe ²⁺	0,257	0,261	0,260	0,258	0,264	0,347	0,366	0,358	0,344	0,352
Mn	0,216	0,213	0,208	0,207	0,217	0,234	0,229	0,256	0,251	0,225
Mg	0,387	0,384	0,373	0,377	0,376	0,357	0,314	0,298	0,272	0,333
Ca	1,121	1,140	1,126	1,157	1,143	1,062	1,090	1,088	1,132	1,089
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000
C	2,010	2,000	2,016	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	3,990	4,000	3,984	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000
An. Nr.	45	46	49	51	59	4	6	16	17	18
Ds. Nr.	26759	26759	26759	26759	26759	26776	26776	26776	26776	26776
Gew.-%										
FeO	12,12	12,00	11,91	12,17	11,68	11,80	11,80	11,64	11,40	11,60
MnO	9,81	9,06	9,34	9,43	9,41	8,50	8,55	11,50	11,77	11,62
MgO	5,23	6,10	5,71	5,41	5,23	7,60	7,33	5,89	5,65	5,92
CaO	29,95	29,61	29,84	29,94	30,66	28,57	28,92	27,90	28,29	28,03
SrO	0,02	0,00	0,05	0,02	0,06	0,04	0,04	0,01	0,00	0,01
CO ₂	42,74	42,87	42,77	42,73	42,79	43,25	43,26	42,61	42,65	42,83
Summe	99,86	99,64	99,61	99,68	99,83	99,75	99,89	99,54	99,74	100,00
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe ²⁺	0,348	0,343	0,341	0,349	0,334	0,334	0,334	0,335	0,327	0,332
Mn	0,285	0,262	0,271	0,274	0,273	0,244	0,245	0,335	0,342	0,337
Mg	0,267	0,311	0,292	0,276	0,267	0,384	0,370	0,302	0,289	0,302
Ca	1,100	1,084	1,095	1,100	1,125	1,037	1,049	1,028	1,041	1,028
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-37: Ankeritzusammensetzung in Gängen der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	20	21	23	25	36	122	127	128	131	132
Ds. Nr.	26776	26776	26776	26776	26776	26751	26751	26751	26751	26751
Gew.-%										
FeO	11,83	12,38	12,75	12,40	12,05	12,99	13,30	11,43	12,44	12,57
MnO	11,62	9,50	9,51	9,45	8,37	9,69	8,84	8,23	8,51	8,04
MgO	6,02	6,38	6,57	6,43	7,28	6,19	6,02	6,59	6,65	6,59
CaO	27,87	28,39	28,45	28,53	29,04	28,05	29,34	30,41	29,05	29,54
SrO	0,01	0,00	0,06	0,01	0,04	0,01	0,00	0,00	0,06	0,00
CO ₂	42,96	42,75	43,25	42,89	43,33	42,75	43,27	43,17	42,99	43,08
Summe	100,30	99,40	100,60	99,71	100,12	99,68	100,78	99,83	99,70	99,82
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe ²⁺	0,337	0,355	0,361	0,354	0,341	0,372	0,377	0,324	0,355	0,357
Mn	0,336	0,276	0,273	0,273	0,240	0,281	0,254	0,237	0,246	0,232
Mg	0,306	0,326	0,332	0,327	0,367	0,316	0,304	0,333	0,338	0,334
Ca	1,019	1,042	1,033	1,044	1,052	1,030	1,065	1,105	1,061	1,076
Sr	0,000	0,000	0,001	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000
C	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000
Summe	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	133	136	137	138	143	144	149	150	6	10
Ds. Nr.	26751	26751	26751	26751	26751	26751	26751	26751	26773	26773
Gew.-%										
FeO	13,13	13,02	13,04	13,08	14,13	14,07	13,33	13,56	11,95	12,33
MnO	8,13	7,90	8,26	7,87	8,04	8,08	7,97	7,83	9,12	9,09
MgO	7,16	7,15	7,08	7,43	6,65	6,70	6,85	6,91	7,04	7,03
CaO	28,34	28,28	28,34	28,33	27,96	27,79	28,59	28,74	28,85	28,23
SrO	0,03	0,03	0,00	0,00	0,04	0,05	0,04	0,01	0,01	0,01
CO ₂	43,15	42,91	43,12	43,24	42,86	42,79	43,05	43,26	43,30	43,02
Summe	99,93	99,28	99,85	99,96	99,67	99,48	99,83	100,30	100,27	99,71
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe ²⁺	0,373	0,372	0,371	0,371	0,404	0,403	0,379	0,384	0,322	0,335
Mn	0,234	0,228	0,238	0,226	0,233	0,234	0,230	0,224	0,259	0,255
Mg	0,362	0,364	0,358	0,375	0,339	0,342	0,348	0,349	0,362	0,380
Ca	1,031	1,035	1,032	1,028	1,024	1,020	1,042	1,043	1,057	1,030
Sr	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,001
C	2,000	2,000	2,001	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	3,999	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	11	12	14	15	17	18	21	23	24	25
Ds. Nr.	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26773
Gew.-%										
FeO	12,56	12,07	12,00	12,02	12,28	13,29	12,01	11,81	12,25	11,72
MnO	9,09	8,88	8,92	8,98	9,16	8,28	8,99	8,63	9,00	8,70
MgO	7,05	7,35	7,45	7,38	7,37	7,22	7,36	7,27	7,27	7,26
CaO	27,92	28,13	28,12	28,22	28,06	28,12	28,40	28,80	28,47	28,91
SrO	0,02	0,04	0,02	0,00	0,03	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00
CO ₂	42,95	43,03	43,09	43,14	43,28	43,24	43,26	43,15	43,40	43,21
Summe	99,58	99,50	99,59	99,73	100,17	100,15	100,03	99,67	100,42	99,81
Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit										
Fe ²⁺	0,351	0,358	0,343	0,341	0,329	0,348	0,329	0,342	0,335	0,346
Mn	0,262	0,263	0,246	0,257	0,250	0,263	0,262	0,265	0,248	0,257
Mg	0,357	0,359	0,373	0,378	0,380	0,372	0,371	0,353	0,368	0,366
Ca	1,030	1,020	1,038	1,024	1,040	1,018	1,038	1,040	1,048	1,030
Sr	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-37: Ankeritzusammensetzung in Gängen der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	1	2	7	8	9	16	18	19	22	23
Ds. Nr.	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761
Gew.-%										
FeO	12,75	12,90	12,67	12,77	12,77	13,11	13,26	13,37	12,76	13,17
MnO	6,27	6,19	6,00	5,88	6,21	6,24	6,11	8,51	5,99	6,23
MgO	8,12	8,32	8,54	8,57	7,73	8,03	8,07	6,83	7,57	7,53
CaO	29,11	28,72	28,98	29,08	30,05	29,37	28,91	28,44	29,98	29,70
SrO	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,03	0,02	0,04	0,04
CO₂	43,44	43,38	43,55	43,67	43,69	43,74	43,44	43,25	43,36	43,47
Summe	99,72	99,52	99,74	99,98	100,46	100,51	99,82	100,41	99,71	100,14

Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,360	0,364	0,356	0,358	0,358	0,367	0,374	0,379	0,361	0,371
Mn	0,179	0,177	0,171	0,167	0,176	0,177	0,175	0,244	0,171	0,178
Mg	0,408	0,419	0,428	0,429	0,386	0,401	0,406	0,345	0,381	0,378
Ca	1,052	1,039	1,044	1,045	1,079	1,054	1,045	1,032	1,085	1,072
Sr	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001
C	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000	2,000
Summe	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000	4,000

An. Nr.	24	25	28	29
Ds. Nr.	26761	26761	26761	26761

Gew.-%				
FeO	12,66	12,42	12,15	12,82
MnO	5,41	5,47	7,51	5,49
MgO	8,59	8,52	8,12	8,93
CaO	29,47	29,65	28,65	29,07
SrO	0,04	0,02	0,01	0,01
CO₂	43,62	43,62	43,45	43,82
Summe	99,78	99,72	99,89	100,13

Anzahl der Kationen auf der Basis von 6 Sauerstoffatomen/Formeleinheit

Fe²⁺	0,355	0,349	0,343	0,359
Mn	0,154	0,156	0,214	0,155
Mg	0,430	0,427	0,408	0,445
Ca	1,060	1,067	1,035	1,041
Sr	0,001	0,000	0,000	0,000
C	2,000	2,001	2,000	2,000
Summe	4,000	3,999	4,000	4,000

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-38: Chloritzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An.Nr.	16	17	18	19	20	21	22	23	24
Ds. Nr.	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758
Gew.-%									
SiO₂	24,24	23,97	23,84	23,46	23,89	22,50	23,71	23,90	24,01
TiO₂	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00
Al₂O₃	23,93	23,51	23,40	24,00	23,53	24,03	23,43	23,51	23,51
FeO	32,99	33,23	32,91	34,10	33,05	35,34	33,24	33,29	32,32
MnO	0,29	0,33	0,29	0,30	0,32	0,35	0,22	0,31	0,28
MgO	7,03	7,46	7,69	7,01	7,46	6,23	7,11	7,26	7,67
CaO	0,01	0,01	0,04	0,02	0,05	0,02	0,07	0,03	0,01
Na₂O	0,00	0,00	0,01	0,03	0,03	0,00	0,01	0,00	0,02
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01
Summe	88,50	88,51	88,18	88,93	88,35	88,49	87,78	88,33	87,82
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit									
Si	5,212	5,208	5,110	5,201	4,936	5,214	5,232	5,261	5,154
Al^{IV}	2,788	2,792	2,890	2,799	3,064	2,786	2,768	2,739	2,846
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,344	3,260	3,117	3,360	3,019	3,440	3,275	3,335	3,188
Ti	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,002	0,000
Fe²	6,042	6,011	6,210	6,019	6,484	6,111	6,093	5,924	6,093
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,054	0,060	0,053	0,056	0,059	0,065	0,042	0,058	0,051
Mg	2,279	2,429	2,496	2,275	2,441	2,042	2,320	2,372	2,490
Ca	0,002	0,002	0,009	0,004	0,012	0,005	0,015	0,007	0,003
Na	0,000	0,000	0,004	0,012	0,012	0,000	0,003	0,000	0,006
K	0,001	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,000	0,004	0,002
Σ-O	11,723	11,764	11,889	11,725	12,030	11,668	11,748	11,702	11,833
Σ-Kationen	19,723	19,764	19,889	19,725	20,030	19,668	19,748	19,702	19,833
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	25	26	27	28	29	30	31	32	33
Ds. Nr.	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758
Gew.-%									
SiO₂	23,67	23,94	23,47	23,62	23,24	23,49	23,97	23,74	23,47
TiO₂	0,01	0,00	0,02	0,01	0,03	0,00	0,02	0,00	0,00
Al₂O₃	23,41	23,62	23,67	23,32	23,70	23,49	23,80	23,50	23,38
FeO	33,46	33,67	33,75	33,19	34,21	34,13	33,25	33,03	33,61
MnO	0,31	0,32	0,38	0,27	0,29	0,36	0,29	0,28	0,33
MgO	7,39	7,08	7,07	7,32	6,68	7,23	7,41	7,59	7,36
CaO	0,01	0,10	0,16	0,00	0,06	0,04	0,01	0,00	0,01
Na₂O	0,02	0,04	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02
K₂O	0,00	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Summe	88,28	88,80	88,54	87,74	88,21	88,75	88,75	88,14	88,20
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit									
Si	5,206	5,138	5,170	5,105	5,150	5,226	5,172	5,128	5,180
Al^{IV}	2,794	2,862	2,830	2,895	2,850	2,774	2,828	2,872	2,820
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,207	3,232	3,276	3,141	3,273	3,264	3,283	3,179	3,171
Ti	0,002	0,000	0,004	0,002	0,005	0,000	0,003	0,000	0,000
Fe²	6,124	6,178	6,076	6,284	6,257	6,064	6,019	6,142	6,200
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,056	0,060	0,071	0,051	0,053	0,066	0,054	0,051	0,061
Mg	2,397	2,312	2,306	2,396	2,183	2,349	2,408	2,473	2,385
Ca	0,002	0,023	0,037	0,000	0,014	0,010	0,002	0,000	0,002
Na	0,009	0,017	0,001	0,001	0,000	0,003	0,000	0,002	0,006
K	0,000	0,005	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002
Σ-O	11,796	11,826	11,776	11,876	11,784	11,756	11,769	11,848	11,829
Σ-Kationen	19,796	19,826	19,776	19,876	19,784	19,756	19,769	19,848	19,829
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43
Ds. Nr.	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26773	26773	26773
Gew.-%										
SiO₂	23,83	23,93	24,30	24,49	23,91	24,384	23,799	23,297	23,449	23,682
TiO₂	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,024	0	0,006	0,001	0,007
Al₂O₃	23,61	23,48	24,00	23,40	24,05	23,512	24,217	24,92	23,801	23,861
FeO	34,11	33,44	31,71	32,68	32,30	32,298	32,744	34,485	33,331	34,295
MnO	0,31	0,31	0,29	0,28	0,37	0,294	0,244	0,338	0,325	0,333
MgO	6,96	7,50	7,70	7,31	7,43	7,426	7,247	5,932	6,114	6,25
CaO	0,05	0,01	0,00	0,01	0,00	0,027	0,014	0,006	0	0,007
Na₂O	0,02	0,03	0,01	0,02	0,00	0,007	0,009	0,012	0	0,007
K₂O	0,01	0,00	0,01	0,00	0,01	0	0,008	0	0,011	0
Summe	88,89	88,69	88,03	88,21	88,07	87,981	88,282	88,996	87,042	88,442
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,224	5,312	5,255	5,255	5,264	5,209	5,046	5,130	5,200	5,257
Al^{IV}	2,776	2,688	2,745	2,745	2,736	2,791	2,954	2,870	2,800	2,743
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,297	3,360	3,324	3,318	3,384	3,273	3,227	3,556	3,359	3,454
Ti	0,001	0,000	0,000	0,003	0,000	0,004	0,000	0,001	0,000	0,001
Fe²	6,105	5,797	5,865	5,938	5,831	5,993	6,246	6,098	6,297	6,070
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,058	0,057	0,053	0,051	0,068	0,054	0,045	0,063	0,060	0,062
Mg	2,263	2,442	2,464	2,394	2,391	2,423	2,340	1,935	2,001	2,053
Ca	0,011	0,002	0,000	0,002	0,000	0,006	0,003	0,001	0,000	0,002
Na	0,008	0,014	0,004	0,010	0,000	0,003	0,004	0,005	0,000	0,003
K	0,001	0,000	0,003	0,000	0,002	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000
Σ-O	11,744	11,671	11,714	11,716	11,677	11,757	11,867	11,659	11,722	11,645
Σ-Kationen	19,744	19,671	19,714	19,716	19,677	19,757	19,867	19,659	19,722	19,645
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	44	45	46	47	49	50	52	53	54	55
Ds. Nr.	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26773
Gew.-%										
SiO₂	23,85	24,40	23,70	23,12	23,68	23,83	23,90	23,44	23,56	23,95
TiO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00
Al₂O₃	24,82	24,57	24,01	24,63	23,83	23,60	23,78	24,21	24,16	24,47
FeO	32,94	32,96	33,75	34,23	33,67	34,26	33,41	34,04	33,59	32,91
MnO	0,31	0,33	0,37	0,39	0,30	0,32	0,29	0,33	0,37	0,33
MgO	6,48	6,36	6,38	6,43	6,53	6,58	6,52	6,33	6,61	6,87
CaO	0,02	0,06	0,02	0,02	0,02	0,02	0,08	0,02	0,04	0,01
Na₂O	0,02	0,00	0,03	0,00	0,02	0,01	0,02	0,00	0,02	0,00
K₂O	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,00	0,00	0,02
Summe	88,45	88,69	88,25	88,81	88,08	88,62	88,04	88,36	88,34	88,56
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,247	5,148	5,089	5,141	5,193	5,246	5,147	5,164	5,225	5,090
Al^{IV}	2,753	2,852	2,911	2,859	2,807	2,754	2,853	2,836	2,775	2,910
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,538	3,439	3,320	3,440	3,313	3,350	3,303	3,420	3,437	3,367
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,001	0,003	0,000	0,000	0,000
Fe²	5,928	6,133	6,303	6,112	6,243	6,132	6,253	6,157	6,003	6,110
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,056	0,060	0,069	0,071	0,056	0,059	0,054	0,061	0,069	0,061
Mg	2,076	2,059	2,095	2,081	2,120	2,153	2,135	2,067	2,148	2,230
Ca	0,005	0,014	0,004	0,004	0,005	0,004	0,018	0,004	0,009	0,001
Na	0,010	0,000	0,011	0,000	0,009	0,005	0,009	0,000	0,007	0,000
K	0,002	0,004	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002	0,000	0,000	0,004
Σ-O	11,614	11,708	11,801	11,710	11,752	11,704	11,777	11,708	11,673	11,774
Σ-Kationen	19,614	19,708	19,801	19,710	19,752	19,704	19,777	19,708	19,673	19,774
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	56	57	58	59	60	61	67	68	69	71
Ds. Nr.	26773	26773	26773	26773	26773	26773	26761	26761	26761	26761
Gew.-%										
SiO₂	23,39	23,34	23,16	23,31	23,48	21,74	23,24	23,50	23,30	23,82
TiO₂	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al₂O₃	24,65	23,99	24,31	23,17	23,87	26,06	23,62	22,71	23,81	23,48
FeO	33,57	32,92	33,96	33,05	34,10	33,56	31,49	33,56	32,54	32,86
MnO	0,36	0,32	0,33	0,33	0,38	0,34	0,24	0,40	0,28	0,33
MgO	6,53	6,68	6,35	6,71	6,47	5,36	8,38	7,88	8,40	7,83
CaO	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,00
Na₂O	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,03	0,03	0,03	0,02
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,02
Summe	88,53	87,27	88,12	86,61	88,32	87,09	87,01	88,10	88,37	88,36
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,111	5,091	5,139	5,187	4,920	4,968	5,078	5,174	5,130	5,119
Al^{IV}	2,889	2,909	2,861	2,813	3,080	3,032	2,922	2,826	2,870	2,881
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	3,473	3,306	3,455	3,219	3,285	3,678	3,094	3,117	3,172	3,131
Ti	0,000	0,000	0,001	0,002	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe²	6,029	6,244	6,095	6,298	6,351	6,185	6,067	6,043	5,918	6,142
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,067	0,060	0,061	0,061	0,073	0,064	0,044	0,074	0,051	0,061
Mg	2,130	2,190	2,088	2,210	2,181	1,744	2,700	2,608	2,697	2,536
Ca	0,004	0,000	0,001	0,003	0,001	0,004	0,003	0,005	0,005	0,000
Na	0,011	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,010	0,012	0,014	0,007
K	0,000	0,000	0,000	0,005	0,000	0,004	0,002	0,002	0,000	0,004
Σ-O	11,714	11,802	11,702	11,798	11,896	11,679	11,921	11,862	11,856	11,881
Σ-Kationen	19,714	19,802	19,702	19,798	19,896	19,679	19,921	19,862	19,856	19,881
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81
Ds. Nr.	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761
Gew.-%										
SiO₂	23,56	23,83	23,57	24,00	23,86	23,62	24,04	23,72	23,74	24,11
TiO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02
Al₂O₃	22,88	23,13	23,60	23,77	23,61	22,90	22,74	22,73	22,95	22,56
FeO	33,81	31,97	31,53	31,13	31,68	34,14	33,08	33,97	33,92	34,16
MnO	0,36	0,31	0,27	0,26	0,33	0,36	0,40	0,40	0,35	0,39
MgO	7,32	7,93	8,19	8,60	8,66	7,28	7,41	7,43	7,61	7,76
CaO	0,01	0,01	0,05	0,02	0,04	0,02	0,18	0,02	0,02	0,00
Na₂O	0,02	0,01	0,03	0,01	0,00	0,03	0,00	0,01	0,00	0,00
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00	0,00
Summe	87,96	87,19	87,24	87,82	88,18	88,39	87,85	88,27	88,59	88,99
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,291	5,218	5,239	5,166	5,057	5,281	5,204	5,214	5,232	5,504
Al^{IV}	2,709	2,782	2,761	2,834	2,943	2,719	2,796	2,786	2,768	2,496
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,281	3,251	3,310	3,232	3,014	3,210	3,084	3,098	3,103	3,380
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003
Fe²	5,939	5,836	5,683	5,736	6,114	6,077	6,233	6,232	6,199	5,545
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,067	0,058	0,050	0,048	0,059	0,068	0,073	0,075	0,064	0,073
Mg	2,422	2,616	2,666	2,777	2,765	2,385	2,423	2,434	2,461	2,555
Ca	0,002	0,001	0,011	0,005	0,008	0,005	0,042	0,004	0,003	0,000
Na	0,008	0,006	0,012	0,004	0,001	0,014	0,000	0,002	0,000	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,000	0,002	0,000	0,000
Σ-O	11,718	11,768	11,732	11,802	11,964	11,758	11,856	11,844	11,831	11,555
Σ-Kationen	19,718	19,768	19,732	19,804	19,964	19,764	19,856	19,846	19,831	19,555
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ds. Nr.	26777	26777	26777	26777	26777	26777	26777	26777	26777	26777
Gew.-%										
SiO₂	23,63	23,89	24,45	23,81	23,18	23,85	23,71	23,58	24,05	23,76
TiO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,01
Al₂O₃	23,82	24,15	23,84	24,01	23,79	24,02	23,92	23,67	23,17	23,90
FeO	31,27	31,30	31,27	31,65	32,90	32,89	32,09	32,74	33,14	31,56
MnO	0,34	0,33	0,37	0,42	0,37	0,39	0,41	0,33	0,32	0,41
MgO	8,04	7,68	7,98	7,51	7,11	7,04	7,06	6,89	6,78	7,81
CaO	0,01	0,03	0,00	0,01	0,05	0,07	0,00	0,04	0,03	0,00
Na₂O	0,02	0,04	0,00	0,01	0,00	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00
K₂O	0,02	0,00	0,00	0,02	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00
Summe	87,16	87,43	87,91	87,45	87,39	88,31	87,23	87,29	87,51	87,45
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,210	5,285	5,191	5,073	5,208	5,200	5,169	5,248	5,309	5,132
Al^{IV}	2,790	2,715	2,809	2,927	2,792	2,800	2,831	2,752	2,691	2,868
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,333	3,436	3,316	3,268	3,330	3,409	3,349	3,337	3,412	3,234
Ti	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,004	0,000	0,002
Fe²	5,709	5,652	5,770	6,023	6,006	5,887	6,002	6,049	5,897	5,983
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,062	0,060	0,069	0,077	0,068	0,072	0,076	0,061	0,061	0,075
Mg	2,613	2,474	2,593	2,452	2,315	2,302	2,307	2,241	2,260	2,521
Ca	0,003	0,007	0,000	0,002	0,012	0,015	0,000	0,009	0,008	0,000
Na	0,009	0,018	0,000	0,004	0,000	0,018	0,013	0,002	0,003	0,000
K	0,005	0,000	0,000	0,006	0,000	0,001	0,000	0,004	0,001	0,000
Σ-O	11,735	11,649	11,747	11,834	11,731	11,705	11,748	11,706	11,642	11,815
Σ-Kationen	19,735	19,649	19,747	19,834	19,731	19,705	19,748	19,706	19,642	19,815
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Ds. Nr.	26777	26777	26777	26777	26777	26777	26777	26777	26777	26777
Gew.-%										
SiO₂	23,69	23,52	23,53	23,74	23,63	23,76	24,15	24,07	23,66	23,93
TiO₂	0,01	0,02	0,00	0,10	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00	0,01
Al₂O₃	24,28	23,96	23,47	24,01	24,63	23,95	24,27	23,89	23,90	23,61
FeO	33,02	32,78	33,31	32,75	33,15	33,05	31,77	32,23	32,49	31,81
MnO	0,36	0,32	0,31	0,33	0,33	0,37	0,38	0,34	0,31	0,33
MgO	7,07	7,32	7,12	7,18	6,98	7,12	7,17	7,16	7,32	7,50
CaO	0,03	0,01	0,00	0,06	0,03	0,02	0,00	0,04	0,00	0,00
Na₂O	0,01	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01	0,04	0,00	0,02	0,02
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01
Summe	88,47	87,96	87,77	88,21	88,76	88,28	87,80	87,80	87,71	87,22
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,134	5,126	5,223	5,143	5,139	5,276	5,222	5,183	5,239	5,172
Al^{IV}	2,866	2,874	2,777	2,857	2,861	2,724	2,778	2,817	2,761	2,828
Σ-T	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000	8,000
Al^{VI}	3,380	3,279	3,308	3,301	3,420	3,443	3,429	3,352	3,404	3,288
Ti	0,002	0,004	0,000	0,017	0,000	0,000	0,000	0,007	0,000	0,001
Fe²	5,984	6,069	6,026	6,033	5,980	5,804	5,848	5,953	5,824	5,953
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,067	0,059	0,058	0,061	0,060	0,068	0,070	0,063	0,057	0,062
Mg	2,300	2,377	2,335	2,328	2,249	2,317	2,318	2,338	2,388	2,459
Ca	0,007	0,001	0,001	0,014	0,006	0,005	0,000	0,009	0,000	0,000
Na	0,002	0,009	0,011	0,012	0,012	0,003	0,017	0,002	0,009	0,009
K	0,000	0,000	0,000	0,003	0,000	0,002	0,004	0,004	0,000	0,004
Σ-O	11,742	11,798	11,740	11,769	11,726	11,643	11,685	11,728	11,683	11,775
Σ-Kationen	19,742	19,798	19,740	19,769	19,726	19,643	19,685	19,728	19,683	19,775
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	21	22	23	24	25	26	29	30	32	33
Ds. Nr.	26777	26777	26777	26777	26777	26774	26774	26774	26774	26774
Gew.-%										
SiO₂	23,53	23,47	23,51	23,92	23,33	25,16	25,16	25,20	24,68	24,90
TiO₂	0,00	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02
Al₂O₃	23,89	24,32	23,79	23,76	24,40	22,16	21,55	22,70	22,66	22,66
FeO	32,38	33,17	32,22	31,69	32,90	30,29	30,17	30,01	30,48	30,04
MnO	0,32	0,32	0,35	0,35	0,35	0,39	0,33	0,32	0,32	0,37
MgO	7,34	7,05	7,49	7,41	6,79	9,95	10,46	9,96	9,57	9,79
CaO	0,06	0,03	0,02	0,03	0,00	0,10	0,07	0,05	0,06	0,05
Na₂O	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,03	0,02	0,03	0,01
K₂O	0,01	0,02	0,01	0,15	0,00	0,00	0,02	0,01	0,02	0,01
Summe	87,54	88,39	87,42	87,35	87,79	88,04	87,80	88,29	87,86	87,85
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,126	5,151	5,236	5,116	5,452	5,419	5,445	5,307	5,377	5,416
Al^{IV}	2,874	2,849	2,764	2,884	2,548	2,581	2,555	2,693	2,623	2,584
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,275	3,429	3,373	3,257	3,685	3,044	2,933	3,061	3,144	3,112
Ti	0,000	0,001	0,001	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,003
Fe²	6,058	5,902	5,802	6,035	5,489	5,435	5,422	5,483	5,425	5,424
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,060	0,059	0,065	0,064	0,063	0,070	0,061	0,059	0,059	0,067
Mg	2,389	2,303	2,443	2,422	2,192	3,194	3,368	3,194	3,082	3,114
Ca	0,015	0,007	0,005	0,008	0,000	0,023	0,016	0,011	0,015	0,011
Na	0,003	0,008	0,008	0,010	0,003	0,006	0,014	0,009	0,014	0,003
K	0,003	0,005	0,002	0,042	0,000	0,000	0,006	0,002	0,006	0,004
Σ-O	11,800	11,710	11,697	11,796	11,433	11,772	11,815	11,818	11,741	11,733
Σ-Kationen	19,802	19,715	19,699	19,838	19,433	19,772	19,821	19,820	19,746	19,737
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	33	34	35	37	38	1	2	3	5	6
Ds. Nr.	26774	26774	26774	26774	26774	26752	26752	26752	26752	26752
Gew.-%										
SiO₂	24,90	25,39	24,43	25,27	24,24	23,55	23,82	24,02	22,91	22,98
TiO₂	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,08	0,03	0,00	0,03	0,07
Al₂O₃	22,66	22,46	22,27	22,59	22,76	23,76	23,70	23,72	24,07	22,70
FeO	30,04	30,41	30,23	29,97	30,39	34,78	35,17	35,55	35,40	36,06
MnO	0,37	0,33	0,31	0,35	0,33	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01
MgO	9,79	10,01	9,74	10,32	9,99	5,57	5,31	5,11	5,56	6,25
CaO	0,05	0,07	0,08	0,02	0,07	0,34	0,27	0,23	0,34	0,33
Na₂O	0,01	0,01	0,01	0,03	0,02	0,05	0,02	0,00	0,01	0,04
K₂O	0,01	0,00	0,05	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Summe	87,85	88,73	87,13	88,58	87,80	88,14	88,33	88,62	88,34	88,44
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,416	5,295	5,448	5,238	4,976	5,214	5,256	5,123	5,051	5,158
Al^{IV}	2,584	2,705	2,552	2,762	3,024	2,786	2,744	2,877	2,949	2,842
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,112	3,031	3,106	2,992	2,665	3,346	3,369	3,373	3,287	3,099
Ti	0,003	0,005	0,000	0,000	0,000	0,014	0,005	0,001	0,004	0,011
Fe²	5,424	5,480	5,404	5,491	6,276	6,439	6,506	6,620	6,629	6,592
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,067	0,060	0,057	0,064	0,060	0,001	0,001	0,001	0,000	0,003
Mg	3,114	3,234	3,129	3,323	3,157	1,818	1,733	1,702	1,823	2,069
Ca	0,011	0,017	0,018	0,004	0,016	0,079	0,063	0,054	0,080	0,079
Na	0,003	0,005	0,005	0,013	0,010	0,020	0,008	0,000	0,003	0,016
K	0,004	0,001	0,013	0,007	0,001	0,000	0,001	0,000	0,003	0,000
Σ-O	11,737	11,835	11,732	11,894	12,185	11,717	11,686	11,751	11,829	11,868
Σ-Kationen	19,737	19,835	19,732	19,894	20,185	19,717	19,686	19,751	19,829	19,868
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	7	8	9	14	15	16	18	19	20	22
Ds. Nr.	26752	26752	26752	26752	26752	26752	26752	26752	26752	26752
Gew.-%										
SiO₂	23,23	22,96	23,42	23,45	23,28	22,56	22,41	22,91	22,73	22,97
TiO₂	0,05	0,04	0,03	0,13	0,09	0,04	0,08	0,05	0,05	0,07
Al₂O₃	22,70	22,18	23,21	23,23	23,49	23,89	23,78	22,74	23,80	23,38
FeO	35,49	34,95	35,65	34,84	35,55	35,45	36,02	35,06	35,50	35,75
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00
MgO	6,49	7,03	6,30	5,61	6,23	5,93	5,75	6,68	5,86	6,09
CaO	0,37	0,33	0,33	0,34	0,27	0,31	0,33	0,29	0,28	0,30
Na₂O	0,04	0,03	0,00	0,00	0,00	0,01	0,04	0,01	0,01	0,04
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	88,39	87,53	88,93	87,61	88,94	88,20	88,44	87,74	88,23	88,60
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,123	5,173	5,177	5,161	5,013	4,964	5,080	5,062	5,063	5,024
Al^{IV}	2,877	2,827	2,823	2,839	2,987	3,036	2,920	2,938	2,937	2,976
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,093	2,945	3,214	3,232	3,165	3,199	3,294	3,033	3,247	3,149
Ti	0,009	0,007	0,004	0,022	0,014	0,006	0,014	0,009	0,008	0,011
Fe²	6,522	6,584	6,432	6,592	6,589	6,672	6,502	6,613	6,590	6,643
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,001	0,000	0,000	0,001	0,000	0,002	0,005	0,000	0,000	0,000
Mg	2,160	2,313	2,072	1,854	2,064	1,958	1,900	2,217	1,925	2,020
Ca	0,088	0,078	0,077	0,081	0,064	0,074	0,077	0,070	0,065	0,071
Na	0,018	0,012	0,000	0,000	0,000	0,003	0,016	0,003	0,003	0,016
K	0,001	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ-O	11,892	11,940	11,800	11,781	11,897	11,914	11,807	11,945	11,839	11,910
Σ-Kationen	19,892	19,940	19,800	19,781	19,897	19,914	19,807	19,945	19,839	19,910
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	24	25	27	28	29	30	31	32	33	34
Ds. Nr.	26752	26752	26752	26752	26752	26752	26752	26752	26752	26752
Gew.-%										
SiO₂	22,60	22,79	23,08	23,96	22,60	23,59	22,49	23,58	22,50	22,63
TiO₂	0,07	0,12	0,06	0,00	0,05	0,05	0,03	0,07	0,08	0,10
Al₂O₃	24,18	23,46	22,60	24,34	23,31	22,99	23,81	22,72	23,55	23,06
FeO	35,73	35,56	35,43	34,68	35,96	35,41	35,68	35,21	36,22	35,66
MnO	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,01	0,00
MgO	5,93	5,82	6,80	5,27	5,79	6,51	5,69	6,26	5,97	6,19
CaO	0,30	0,34	0,29	0,28	0,32	0,27	0,31	0,29	0,34	0,32
Na₂O	0,02	0,04	0,01	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02	0,04	0,06
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,03	0,00	0,00	0,02	0,02	0,00
Summe	88,86	88,18	88,30	88,59	88,08	88,87	88,05	88,18	88,73	88,03
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,011	5,107	5,266	5,004	5,198	5,016	5,175	5,031	5,023	5,203
Al^{IV}	2,989	2,893	2,734	2,996	2,802	2,984	2,825	2,969	2,977	2,797
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,276	3,226	3,118	3,354	3,250	3,057	3,332	3,018	3,184	3,176
Ti	0,012	0,019	0,011	0,000	0,007	0,009	0,006	0,011	0,014	0,016
Fe²	6,537	6,557	6,373	6,658	6,524	6,655	6,461	6,773	6,620	6,487
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,002	0,000	0,000	0,000	0,000	0,003	0,001	0,002	0,000
Mg	1,945	1,920	2,226	1,738	1,901	2,164	1,860	2,085	1,974	2,028
Ca	0,071	0,081	0,068	0,067	0,076	0,065	0,073	0,070	0,080	0,076
Na	0,009	0,018	0,003	0,006	0,012	0,009	0,011	0,008	0,015	0,024
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,000	0,007	0,005	0,000
Σ-O	11,849	11,823	11,799	11,824	11,771	11,959	11,746	11,965	11,889	11,807
Σ-Kationen	19,849	19,823	19,799	19,824	19,779	19,959	19,746	19,972	19,893	19,807
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	35	36	37	38	39	40	41	42	44	45
Ds. Nr.	26752	26752	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776
Gew.-%										
SiO₂	23,68	22,26	23,80	22,23	23,17	22,76	23,38	25,30	23,77	23,54
TiO₂	0,04	0,01	0,01	0,03	0,04	0,01	0,06	0,05	0,01	0,00
Al₂O₃	23,96	23,76	22,57	22,70	22,34	23,34	24,39	24,42	23,57	24,20
FeO	35,30	35,60	33,86	35,61	35,37	36,65	34,01	31,38	35,02	35,39
MnO	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01	0,01	0,01	0,02	0,00	0,01
MgO	4,98	5,79	7,36	6,49	6,48	5,45	5,99	6,06	5,43	5,12
CaO	0,30	0,33	0,32	0,36	0,34	0,27	0,35	0,29	0,33	0,30
Na₂O	0,07	0,02	0,00	0,01	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,04
K₂O	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Summe	88,37	87,77	87,92	87,45	87,78	88,49	88,21	87,80	88,15	88,59
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,005	5,250	4,961	5,142	5,066	5,241	5,475	5,140	5,197	5,182
Al^{IV}	2,995	2,750	3,039	2,858	2,934	2,759	2,525	2,860	2,803	2,818
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,354	3,427	2,897	3,078	2,927	3,407	3,697	3,365	3,330	3,481
Ti	0,006	0,001	0,001	0,005	0,007	0,002	0,009	0,008	0,002	0,000
Fe²	6,694	6,246	6,646	6,563	6,823	6,376	5,679	6,334	6,534	6,422
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,005	0,000	0,000	0,004	0,002	0,002	0,001	0,003	0,001	0,001
Mg	1,668	1,904	2,449	2,148	2,152	1,820	1,934	1,954	1,788	1,686
Ca	0,073	0,077	0,077	0,085	0,080	0,066	0,082	0,068	0,077	0,070
Na	0,031	0,008	0,001	0,003	0,011	0,003	0,006	0,010	0,003	0,017
K	0,000	0,003	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,004	0,002	0,000
Σ-O	11,830	11,666	12,071	11,887	12,002	11,675	11,408	11,746	11,737	11,677
Σ-Kationen	19,830	19,666	20,071	19,887	20,002	19,675	19,408	19,746	19,737	19,677
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	46	47	48	50	51	52	53	54	56	57
Ds. Nr.	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776
Gew.-%										
SiO₂	23,46	23,05	22,98	23,19	23,81	23,45	23,54	24,30	24,43	23,77
TiO₂	0,06	0,02	0,05	0,06	0,06	0,05	0,08	0,07	0,08	0,05
Al₂O₃	24,22	24,29	24,06	24,77	24,40	23,84	24,17	23,36	24,06	23,73
FeO	34,77	34,90	34,07	33,55	32,86	34,07	32,29	33,59	33,31	33,92
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,02	0,02
MgO	5,39	5,82	6,30	6,46	6,88	6,36	6,69	6,91	6,59	6,65
CaO	0,31	0,33	0,34	0,32	0,33	0,28	0,30	0,35	0,37	0,31
Na₂O	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,02	0,03	0,01	0,02	0,03
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01
Summe	88,20	88,40	87,83	88,40	88,36	88,08	87,11	88,58	88,89	88,47
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,100	5,089	5,121	5,170	5,081	5,226	5,240	5,311	5,166	5,151
Al^{IV}	2,900	2,911	2,879	2,830	2,919	2,774	2,760	2,689	2,834	2,849
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,416	3,428	3,382	3,507	3,309	3,465	3,381	3,296	3,330	3,297
Ti	0,009	0,003	0,008	0,010	0,010	0,008	0,012	0,011	0,013	0,008
Fe²	6,458	6,310	6,196	5,967	6,173	5,996	6,057	6,056	6,166	6,203
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,004	0,003
Mg	1,776	1,920	2,073	2,090	2,222	2,106	2,150	2,239	2,135	2,178
Ca	0,073	0,078	0,081	0,074	0,077	0,066	0,070	0,082	0,085	0,072
Na	0,000	0,000	0,000	0,005	0,006	0,010	0,012	0,002	0,008	0,011
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001
Σ-O	11,733	11,739	11,740	11,654	11,798	11,651	11,683	11,686	11,742	11,775
Σ-	19,733	19,739	19,740	19,654	19,798	19,651	19,683	19,686	19,742	19,775
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	58	59	61	63	64	66	68	69	71	72
Ds. Nr.	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776
Gew.-%										
SiO₂	23,44	23,90	23,06	23,53	23,73	23,87	24,17	23,87	23,90	23,63
TiO₂	0,02	0,00	0,03	0,04	0,03	0,07	0,04	0,06	0,02	0,05
Al₂O₃	23,67	24,47	24,41	24,74	23,77	24,12	23,93	23,82	23,18	23,49
FeO	33,75	34,43	34,88	32,38	33,12	33,23	33,04	33,49	33,92	33,65
MnO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00
MgO	6,77	5,83	5,72	7,02	6,94	6,56	7,25	6,43	6,59	6,65
CaO	0,36	0,31	0,36	0,31	0,39	0,27	0,33	0,32	0,32	0,34
Na₂O	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,04
Summe	88,03	88,96	88,49	88,07	88,03	88,11	88,78	88,02	87,96	87,85
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,189	5,061	5,218	5,120	5,205	5,256	5,169	5,215	5,226	5,230
Al^{IV}	2,811	2,939	2,782	2,880	2,795	2,744	2,831	2,785	2,774	2,770
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,246	3,390	3,599	3,410	3,314	3,435	3,278	3,339	3,268	3,328
Ti	0,003	0,000	0,005	0,007	0,005	0,011	0,006	0,010	0,004	0,009
Fe²	6,252	6,403	6,006	5,975	6,059	6,007	6,066	6,190	6,223	6,105
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,003	0,001
Mg	2,191	1,906	1,891	2,259	2,257	2,126	2,341	2,092	2,172	2,183
Ca	0,085	0,074	0,086	0,072	0,091	0,063	0,077	0,074	0,076	0,081
Na	0,004	0,000	0,000	0,000	0,008	0,000	0,006	0,014	0,006	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,009	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,011
Σ-O	11,781	11,774	11,587	11,733	11,742	11,643	11,774	11,721	11,752	11,718
Σ-Kationen	19,781	19,774	19,587	19,733	19,742	19,643	19,774	19,721	19,752	19,718
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	74	75	76	77	79	80	81	82	83	84
Ds. Nr.	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776	26776
Gew.-%										
SiO₂	23,75	23,62	24,12	23,78	23,83	23,49	23,47	23,90	22,66	23,90
TiO₂	0,05	0,03	0,06	0,07	0,03	0,04	0,01	0,08	0,05	0,06
Al₂O₃	23,93	23,52	23,73	23,39	24,05	23,79	24,10	23,53	24,60	23,73
FeO	33,15	33,63	33,18	33,46	33,95	34,01	34,19	34,25	34,25	34,13
MnO	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	6,86	6,63	6,76	6,77	6,59	6,59	6,35	6,30	5,98	6,50
CaO	0,36	0,33	0,31	0,37	0,33	0,35	0,33	0,32	0,36	0,32
Na₂O	0,02	0,00	0,04	0,02	0,02	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00
K₂O	0,04	0,02	0,02	0,03	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,00
Summe	88,18	87,79	88,25	87,90	88,80	88,28	88,47	88,43	87,92	88,64
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,152	5,282	5,200	5,211	5,132	5,139	5,191	5,057	5,179	5,285
Al^{IV}	2,848	2,718	2,800	2,789	2,868	2,861	2,809	2,943	2,821	2,715
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,301	3,353	3,316	3,238	3,324	3,280	3,361	3,246	3,461	3,339
Ti	0,009	0,005	0,010	0,011	0,004	0,007	0,001	0,013	0,007	0,010
Fe²	6,133	6,077	6,119	6,209	6,213	6,263	6,222	6,392	6,185	6,158
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,000	0,000	0,001	0,004	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mg	2,230	2,163	2,204	2,207	2,146	2,151	2,057	2,098	1,932	2,096
Ca	0,083	0,076	0,072	0,086	0,077	0,083	0,077	0,077	0,084	0,075
Na	0,007	0,002	0,016	0,007	0,008	0,000	0,008	0,013	0,006	0,000
K	0,012	0,005	0,005	0,009	0,001	0,000	0,000	0,006	0,002	0,000
Σ-O	11,775	11,681	11,743	11,772	11,773	11,783	11,726	11,845	11,677	11,678
Σ-Kationen	19,775	19,681	19,743	19,772	19,773	19,783	19,726	19,845	19,677	19,678
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	85	86	87	88	90	91	92	93	94	95
Ds. Nr.	26776	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778
Gew.-%										
SiO₂	24,42	22,77	21,77	22,13	21,81	22,65	21,89	21,83	21,72	22,15
TiO₂	0,03	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,00	0,05	0,00
Al₂O₃	23,51	23,15	23,90	24,29	24,36	23,53	24,00	23,84	23,14	23,53
FeO	34,02	36,85	37,12	37,05	37,36	36,01	37,09	37,41	37,35	37,96
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,01	0,02	0,00	0,00	0,02	0,01
MgO	6,28	5,18	4,50	4,82	4,22	5,86	5,31	4,34	5,15	4,64
CaO	0,36	0,27	0,30	0,32	0,28	0,27	0,31	0,26	0,29	0,28
Na₂O	0,01	0,02	0,01	0,00	0,02	0,03	0,01	0,00	0,03	0,01
K₂O	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
Summe	88,63	88,25	87,64	88,61	88,05	88,40	88,63	87,72	87,74	88,58
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	4,991	4,934	4,974	4,871	5,069	4,883	4,865	4,921	4,959	5,035
Al^{IV}	3,009	3,066	3,026	3,129	2,931	3,117	3,135	3,079	3,041	2,965
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,065	3,115	3,306	3,267	3,494	3,071	3,169	3,288	3,065	3,262
Ti	0,005	0,003	0,003	0,002	0,001	0,003	0,001	0,000	0,009	0,000
Fe²	6,756	7,035	6,965	6,979	6,741	6,921	6,972	7,076	7,108	6,963
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003	0,001	0,000	0,004	0,003
Mg	2,052	1,750	1,507	1,605	1,409	1,948	1,763	1,467	1,718	1,554
Ca	0,084	0,066	0,073	0,075	0,067	0,065	0,074	0,062	0,068	0,067
Na	0,005	0,009	0,005	0,000	0,008	0,014	0,005	0,000	0,014	0,003
K	0,000	0,000	0,002	0,000	0,000	0,001	0,000	0,006	0,000	0,000
Σ-O	11,969	11,978	11,861	11,928	11,721	12,027	11,984	11,899	11,986	11,853
Σ-Kationen	19,969	19,978	19,861	19,928	19,721	20,027	19,984	19,899	19,986	19,853
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	96	97	98	99	100	103	104	107	108	110
Ds. Nr.	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778
Gew.-%										
SiO₂	22,42	21,98	22,01	21,86	22,05	22,22	22,09	21,75	22,40	23,68
TiO₂	0,00	0,02	0,01	0,00	0,00	0,02	0,07	0,01	0,03	0,02
Al₂O₃	23,53	24,40	23,87	24,48	23,89	23,58	23,86	24,01	24,01	21,65
FeO	37,07	37,24	37,49	37,33	38,04	37,04	37,86	37,56	37,46	36,45
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
MgO	4,77	4,45	4,37	4,05	4,39	4,87	4,73	4,45	4,55	6,51
CaO	0,32	0,29	0,20	0,27	0,26	0,34	0,26	0,24	0,25	0,42
Na₂O	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,01	0,00	0,07
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	88,12	88,38	87,98	88,02	88,64	88,10	88,94	88,03	88,71	88,81
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	4,956	4,911	4,939	4,918	4,998	4,940	4,887	4,999	5,204	5,100
Al^{IV}	3,044	3,089	3,061	3,082	3,002	3,060	3,113	3,001	2,796	2,900
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,211	3,329	3,298	3,353	3,331	3,155	3,208	3,314	3,425	2,835
Ti	0,000	0,003	0,002	0,000	0,000	0,004	0,012	0,001	0,005	0,004
Fe²	7,024	6,996	7,056	7,094	6,967	7,080	7,060	6,990	6,699	6,894
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000
Mg	1,603	1,478	1,473	1,348	1,473	1,624	1,583	1,479	1,492	2,182
Ca	0,076	0,070	0,048	0,065	0,062	0,081	0,063	0,057	0,059	0,100
Na	0,003	0,003	0,004	0,006	0,006	0,003	0,025	0,003	0,000	0,029
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,001	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ-O	11,918	11,879	11,881	11,867	11,838	11,950	11,953	11,844	11,680	12,044
Σ-Kationen	19,918	19,879	19,881	19,867	19,838	19,951	19,953	19,844	19,680	20,044
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-38: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Karbonat und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	111	113	115	117	121	122	123	124	125	126
Ds. Nr.	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778
Gew.-%										
SiO ₂	22,69	22,46	23,75	22,84	23,25	22,80	22,26	23,66	22,31	21,98
TiO ₂	0,03	0,02	0,02	0,08	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01
Al ₂ O ₃	23,82	24,33	23,70	23,41	22,72	23,81	24,46	22,74	24,24	24,91
FeO	36,68	36,56	35,81	37,42	36,94	36,99	36,57	35,82	37,56	37,44
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01
MgO	5,35	5,08	5,10	4,40	5,54	4,69	5,07	6,00	4,06	3,84
CaO	0,27	0,24	0,28	0,29	0,32	0,34	0,32	0,29	0,28	0,27
Na ₂ O	0,00	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	88,86	88,74	88,73	88,45	88,83	88,66	88,70	88,55	88,50	88,46
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	4,995	5,182	5,042	5,176	5,091	5,003	5,157	4,975	4,942	4,937
Al ^{IV}	3,005	2,818	2,958	2,824	2,909	2,997	2,843	3,025	3,058	3,063
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al ^{VI}	3,238	3,436	3,208	3,316	3,073	3,309	3,442	2,954	3,365	3,449
Ti	0,005	0,003	0,003	0,014	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,002
Fe ²	6,798	6,533	6,910	6,877	6,910	6,872	6,530	7,007	7,039	7,020
Fe ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,004	0,002
Mg	1,772	1,652	1,679	1,459	1,845	1,572	1,646	1,993	1,361	1,270
Ca	0,064	0,056	0,065	0,070	0,077	0,082	0,074	0,069	0,068	0,063
Na	0,000	0,006	0,005	0,009	0,012	0,003	0,000	0,007	0,001	0,001
K	0,000	0,008	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ-O	11,879	11,695	11,877	11,745	11,920	11,843	11,696	12,035	11,843	11,806
Σ-Kationen	19,879	19,695	19,877	19,745	19,920	19,843	19,696	20,035	19,843	19,806
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	127	129	131	134	135	137				
Ds. Nr.	26778	26778	26778	26778	26778	26778				
Gew.-%										
SiO ₂	22,27	23,56	22,55	22,94	23,13	22,15				
TiO ₂	0,03	0,02	0,03	0,00	0,00	0,02				
Al ₂ O ₃	24,30	23,32	24,98	24,64	24,07	24,27				
FeO	37,85	36,10	36,46	35,97	36,99	37,76				
MnO	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00				
MgO	3,99	4,91	4,16	4,57	4,36	3,90				
CaO	0,25	0,28	0,29	0,19	0,21	0,29				
Na ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00				
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00				
Summe	88,70	88,20	88,49	88,32	88,82	88,38				
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,213	5,071	5,070	5,068	4,954	4,917				
Al ^{IV}	2,787	2,929	2,930	2,932	3,046	3,083				
Σ-T	8	8	8	8	8	8				
Al ^{VI}	3,550	3,254	3,576	3,432	3,299	3,312				
Ti	0,004	0,003	0,005	0,000	0,000	0,003				
Fe ²	6,680	6,859	6,647	6,779	7,062	7,203				
Fe ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
Mn	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000				
Mg	1,316	1,647	1,372	1,492	1,455	1,298				
Ca	0,060	0,067	0,070	0,044	0,050	0,068				
Na	0,006	0,007	0,003	0,005	0,000	0,000				
K	0,000	0,001	0,000	0,000	0,015	0,000				
Σ-O	11,617	11,838	11,673	11,753	11,881	11,883				
Σ-Kationen	19,617	19,838	19,673	19,753	19,881	19,883				
OH	16	16	16	16	16	16				

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-39: Chloritzzusammensetzung in Gängen (mit Pyrit und Quarz) der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	111	113	115	117	121	122	123	124	125	126
Ds. Nr.	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778	26778
Gew.-%										
SiO ₂	22,69	22,46	23,75	22,84	23,25	22,80	22,26	23,66	22,31	21,98
TiO ₂	0,03	0,02	0,02	0,08	0,02	0,02	0,03	0,03	0,03	0,01
Al ₂ O ₃	23,82	24,33	23,70	23,41	22,72	23,81	24,46	22,74	24,24	24,91
FeO	36,68	36,56	35,81	37,42	36,94	36,99	36,57	35,82	37,56	37,44
MnO	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00	0,01	0,02	0,01
MgO	5,35	5,08	5,10	4,40	5,54	4,69	5,07	6,00	4,06	3,84
CaO	0,27	0,24	0,28	0,29	0,32	0,34	0,32	0,29	0,28	0,27
Na ₂ O	0,00	0,02	0,01	0,02	0,03	0,01	0,00	0,02	0,00	0,00
K ₂ O	0,00	0,03	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Summe	88,86	88,74	88,73	88,45	88,83	88,66	88,70	88,55	88,50	88,46
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	4,995	5,182	5,042	5,176	5,091	5,003	5,157	4,975	4,942	4,937
Al ^{IV}	3,005	2,818	2,958	2,824	2,909	2,997	2,843	3,025	3,058	3,063
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al ^{VI}	3,238	3,436	3,208	3,316	3,073	3,309	3,442	2,954	3,365	3,449
Ti	0,005	0,003	0,003	0,014	0,004	0,003	0,004	0,004	0,005	0,002
Fe ²	6,798	6,533	6,910	6,877	6,910	6,872	6,530	7,007	7,039	7,020
Fe ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,002	0,001	0,000	0,000	0,000	0,002	0,001	0,001	0,004	0,002
Mg	1,772	1,652	1,679	1,459	1,845	1,572	1,646	1,993	1,361	1,270
Ca	0,064	0,056	0,065	0,070	0,077	0,082	0,074	0,069	0,068	0,063
Na	0,000	0,006	0,005	0,009	0,012	0,003	0,000	0,007	0,001	0,001
K	0,000	0,008	0,006	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Σ-O	11,879	11,695	11,877	11,745	11,920	11,843	11,696	12,035	11,843	11,806
Σ-Kationen	19,879	19,695	19,877	19,745	19,920	19,843	19,696	20,035	19,843	19,806
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	127	129	131	134	135	137				
Ds. Nr.	26778	26778	26778	26778	26778	26778				
Gew.-%										
SiO ₂	22,27	23,56	22,55	22,94	23,13	22,15				
TiO ₂	0,03	0,02	0,03	0,00	0,00	0,02				
Al ₂ O ₃	24,30	23,32	24,98	24,64	24,07	24,27				
FeO	37,85	36,10	36,46	35,97	36,99	37,76				
MnO	0,01	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00				
MgO	3,99	4,91	4,16	4,57	4,36	3,90				
CaO	0,25	0,28	0,29	0,19	0,21	0,29				
Na ₂ O	0,01	0,02	0,01	0,01	0,00	0,00				
K ₂ O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,05	0,00				
Summe	88,70	88,20	88,49	88,32	88,82	88,38				
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit										
Si	5,213	5,071	5,070	5,068	4,954	4,917				
Al ^{IV}	2,787	2,929	2,930	2,932	3,046	3,083				
Σ-T	8	8	8	8	8	8				
Al ^{VI}	3,550	3,254	3,576	3,432	3,299	3,312				
Ti	0,004	0,003	0,005	0,000	0,000	0,003				
Fe ²	6,680	6,859	6,647	6,779	7,062	7,203				
Fe ³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000				
Mn	0,001	0,000	0,000	0,001	0,001	0,000				
Mg	1,316	1,647	1,372	1,492	1,455	1,298				
Ca	0,060	0,067	0,070	0,044	0,050	0,068				
Na	0,006	0,007	0,003	0,005	0,000	0,000				
K	0,000	0,001	0,000	0,000	0,015	0,000				
Σ-O	11,617	11,838	11,673	11,753	11,881	11,883				
Σ-Kationen	19,617	19,838	19,673	19,753	19,881	19,883				
OH	16	16	16	16	16	16				

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Tabelle III-40: Chloritzzusammensetzung in feinen Adern im Nebengestein der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	2	4	5	6	7	9	10	11	12
Ds. Nr.	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758	26758
Gew.-%									
SiO₂	23,01	23,94	23,12	22,82	22,28	26,68	22,15	22,70	23,21
TiO₂	0,02	0,27	0,04	0,56	0,84	0,07	0,41	0,08	0,52
Al₂O₃	24,03	23,87	24,01	23,34	23,81	25,89	23,76	24,42	24,05
FeO	34,17	32,31	33,64	33,90	34,35	28,84	34,64	34,49	33,96
MnO	0,32	0,28	0,30	0,31	0,31	0,29	0,30	0,34	0,36
MgO	6,64	6,79	6,91	6,94	6,49	5,47	6,78	6,56	6,66
CaO	0,01	0,01	0,01	0,00	0,00	0,10	0,00	0,01	0,00
Na₂O	0,02	0,03	0,00	0,01	0,02	0,23	0,03	0,00	0,02
K₂O	0,00	0,26	0,08	0,02	0,00	1,03	0,00	0,00	0,08
Summe	88,23	87,77	88,10	87,89	88,09	88,59	88,08	88,60	88,86
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit									
Si	5,253	5,076	5,027	4,951	5,712	4,826	4,995	5,069	5,006
Al^{IV}	2,747	2,924	2,973	3,049	2,288	3,174	3,005	2,931	2,994
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,467	3,252	3,262	3,064	3,719	3,473	3,157	3,356	3,244
Ti	0,003	0,044	0,006	0,093	0,136	0,011	0,068	0,014	0,086
Fe²	5,930	6,175	6,245	6,383	5,163	6,312	6,346	6,203	6,189
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,059	0,052	0,056	0,057	0,056	0,054	0,056	0,064	0,068
Mg	2,172	2,221	2,269	2,297	2,070	1,777	2,223	2,135	2,187
Ca	0,003	0,003	0,002	0,000	0,000	0,023	0,000	0,001	0,000
Na	0,009	0,014	0,000	0,005	0,009	0,095	0,013	0,000	0,007
K	0,000	0,073	0,021	0,005	0,000	0,287	0,001	0,001	0,024
Σ-O	11,642	11,835	11,861	11,905	11,153	12,031	11,864	11,774	11,804
Σ-Kationen	19,642	19,835	19,861	19,905	19,153	20,031	19,864	19,774	19,804
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16
An. Nr.	14	15	62	63	64	65	82	83	85
Ds. Nr.	26758	26758	26761	26761	26761	26761	26761	26761	26761
Gew.-%									
SiO₂	22,74	22,97	22,75	22,97	22,25	23,96	24,91	24,55	24,38
TiO₂	0,07	0,01	0,00	0,00	0,02	0,00	0,02	0,00	0,00
Al₂O₃	23,87	23,49	24,92	25,23	25,62	24,91	24,20	24,43	23,79
FeO	33,62	34,20	33,86	34,18	33,70	32,11	30,00	30,27	30,06
MnO	0,31	0,35	0,30	0,37	0,36	0,37	0,23	0,19	0,18
MgO	6,58	6,41	5,94	6,01	5,96	6,87	9,04	9,06	8,79
CaO	0,00	0,00	0,03	0,05	0,00	0,00	0,00	0,01	0,00
Na₂O	0,02	0,03	0,02	0,00	0,01	0,01	0,00	0,01	0,00
K₂O	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,01	0,01	0,00
Summe	87,21	87,47	87,82	88,81	87,94	88,23	88,39	88,52	87,22
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 (O, OH)/Formeleinheit									
Si	5,067	5,323	5,034	4,921	5,189	5,108	5,252	5,220	5,308
Al^{IV}	2,933	2,677	2,966	3,079	2,811	2,892	2,748	2,780	2,692
Σ-T	8	8	8	8	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,272	3,403	3,472	3,496	3,728	3,560	3,353	3,385	3,369
Ti	0,011	0,001	0,000	0,000	0,002	0,000	0,003	0,000	0,000
Fe²	6,310	6,059	6,266	6,233	5,815	5,787	5,416	5,382	5,425
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,058	0,066	0,056	0,069	0,066	0,068	0,041	0,034	0,034
Mg	2,163	2,099	1,940	1,983	1,925	2,249	2,882	2,892	2,834
Ca	0,000	0,000	0,008	0,011	0,000	0,000	0,000	0,002	0,000
Na	0,010	0,014	0,010	0,000	0,004	0,005	0,000	0,003	0,000
K	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000
Σ-O	11,824	11,643	11,752	11,792	11,541	11,669	11,696	11,700	11,662
Σ-Kationen	19,824	19,643	19,752	19,792	19,541	19,669	19,696	19,700	19,662
OH	16	16	16	16	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

Fortsetzung Tabelle III-40: Chloritzzusammensetzung in feinen Adern im Nebengestein der Bohrung RWTH-1, Aachen.

An. Nr.	86	87	88	89	90
Ds. Nr.	26761	26761	26761	26761	26761
Gew.-%					
SiO₂	24,56	24,16	23,99	23,81	23,83
TiO₂	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Al₂O₃	23,96	24,12	23,91	23,39	23,10
FeO	30,02	30,13	30,69	32,28	32,80
MnO	0,19	0,22	0,26	0,30	0,28
MgO	8,82	9,24	8,65	7,42	8,03
CaO	0,00	0,00	0,00	0,03	0,04
Na₂O	0,00	0,02	0,02	0,02	0,02
K₂O	0,01	0,02	0,00	0,01	0,00
Summe	87,56	87,91	87,52	87,28	88,10
Anzahl der Kationen auf der Basis von 36 Sauerstoffen (16 OH)					
Si	5,236	5,156	5,128	5,220	5,229
Al^{IV}	2,764	2,844	2,872	2,780	2,771
Summe T	8	8	8	8	8
Al^{VI}	3,357	3,266	3,196	3,259	3,255
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe²	5,460	5,517	5,814	6,009	5,787
Fe³	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Mn	0,035	0,040	0,047	0,055	0,052
Mg	2,851	2,959	2,777	2,422	2,650
Ca	0,000	0,000	0,000	0,008	0,009
Na	0,000	0,009	0,008	0,009	0,010
K	0,002	0,005	0,000	0,004	0,000
Kationen	19,704	19,796	19,842	19,767	19,763
OH	16	16	16	16	16

Anmerkung: An. Nr.= Analysen Nummer, Ds. Nr.= Dünnschliff Nummer

IV Mikrothermometrie

Die mikrothermometrischen Untersuchungen wurden mit einem modifizierten USGS Heiz-Kühltisch durchgeführt, welcher mit einem Olympus BHSM-IR- Mikroskop und einer TV Kamera (Hamamatsu C-2400) verbunden ist. Dieses Gerät ermöglicht Messungen im Temperaturbereich von -180°C bis $+700^{\circ}\text{C}$. Durch gerätespezifische Eichkurven erfolgt die Korrektur der Messwerte. Die Messungen wurden am Geo-Forschungs-Zentrum Potsdam, Sektion 4.3 Organische Geochemie durchgeführt (Dr. Lüders).

Es können Homogenisierungsmessungen an Einschlüssen bis zu einer Größe von $2,5\text{ }\mu\text{m}$ durchgeführt werden, kryometrische Messungen sind erst ab einer Einschlussgröße von $4\text{--}5\text{ }\mu\text{m}$ möglich, da bei kleineren Einschlüssen die Phasenumwandlungen nicht mehr exakt beobachtet werden können. Der Messfehler liegt bei $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ im Bereich von -100°C bis 0°C . Im Bereich von 0°C bis $+200^{\circ}\text{C}$ beträgt er weniger als $\pm 2^{\circ}\text{C}$. Im Temperaturbereich von $-55,3$ bis $+665,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ liegt die Messgenauigkeit des Thermometers bei $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Aufgrund der großen Genauigkeit und guten Reproduzierbarkeit der Analysen wird von der Herstellerfirma empfohlen, die Eichung nur anhand von synthetischen Standards vorzunehmen. Zur Verfügung stehen synthetische Quarzproben mit Homogenisierungstemperaturen bei $-55,6^{\circ}\text{C}$, bei $0,0^{\circ}\text{C}$ und bei $+375^{\circ}\text{C}$.

Das Ziel der Untersuchungen von Flüssigkeitseinschlüssen ist die Ermittlung von physikalischen Daten wie Temperatur, Druck, Dichte und Zusammensetzung der Flüssigkeiten im Augenblick des Einschlusses in die Kristalle. Durch diese Daten kann man Rückschlüsse auf die Bildungsbedingungen ihrer Wirtsminerale erhalten. Durch Anwendung anderer, unabhängiger Geothermometer und Geobarometer kann eine relativ genaue Abschätzung der Bildungstemperaturen und -drücke durchgeführt werden (Hollister & Crawford, 1981; Roedder 1984; Sheppard et al., 1985; Goldstein, 2001).

Für die Interpretation der mikrothermometrischen Daten ist es entscheidend, dass sich der Flüssigkeitseinschluss seit seiner Bildung weder im Volumen noch in der Zusammensetzung verändert hat. Veränderungen können dadurch entstehen, dass das Volumen des Einschlusses geändert wurde oder der Einschluss vorübergehend oder vollständig geöffnet wurde. Diese Prozesse werden als „necking down“ und „leakage“ bezeichnet. Bei „necking down“ entstehen aus einem großen Einschluss mehrere kleine, die dann eine unterschiedliche Zusammensetzung und ein kleineres Volumen haben können. „Leakage“-Phänomene kommen vor, wenn durch Ansteigen der Temperatur und des Druckes der Einschlussinhalt reequilibriert. Ein Materialaustausch bzw. eine Zu- oder Abfuhr von Lösungskomponenten ist die Folge (Roedder, 1984; Goldstein & Reynolds, 1994). Solche Einschlüsse wurden in dieser Arbeit nicht berücksichtigt. Bei den mikrothermometrischen Untersuchungen wurden die folgenden Temperatur-Parameter bestimmt:

Eutektische Temperatur (T_e)

Bei der eutektischen Temperatur beginnt das erste sichtbare Schmelzen der Eisphase in einem wässrigen Einschluss. Diese Temperatur liefert Hinweise auf die An- und Kationen in der Lösung. Häufig handelt es sich um Cl^- bzw. Na^+ , Ca^{2+} , K^+ und Mg^{2+} .

Schmelztemperatur (T_m)

Die Schmelztemperatur wird durch den vollständigen Übergang von der festen in die flüssige Phase bestimmt. Dieser Zustand ist erreicht, wenn in einem zweiphasigen, wässrigen, Einschluss der letzte Eispartikel geschmolzen ist. Aus der Schmelztemperatur kann auf die Salzkonzentration im Einschluss geschlossen werden.

Homogenisierungstemperatur (T_h)

Die Homogenisierungstemperatur stellt den Phasenübergang zwei- oder mehrphasiger Einschlüsse vom flüssigen in den gasförmigen Aggregatzustand dar. Die gemessene Temperatur ist dann die Mindestbildungstemperatur, da anschließend noch eine Druckkorrektur erfolgen muss.

Die Salinität wurde nach Potter et al. (1978) berechnet. Die Ergebnisse der Untersuchten Einschlüsse sind in Tabelle IV-1 dargestellt.

Tabelle IV-1: Ergebnisse der mikrothermometrischen Untersuchungen von Flüssigkeitseinschlüssen in Gangkarbonaten des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke.

Probe	Schliffnr.	Mineralphase	Phasen	Te [°C]	Tm [°C]	Th [°C]	NaCl-Äq. [Gew.-%]
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-50,4	-15,6	156,4	19,29
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-48,5	-15,9	159,1	19,54
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-50,6	-15,1	136,7	18,87
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-52,3	-13,9	140,7	17,83
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-51,5	-12,7	128,9	16,72
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-53,7	-13,4	122,1	17,37
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	nb	-14,9	179,7	18,70
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-50,4	-14,8	146,4	18,62
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-53,1	-15,8	121,8	19,46
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-49,2	-12,9	108,8	16,91
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-52	-15,1	116,2	18,87
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-54,3	-13,7	144	17,65
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-51,9	-17,4	172,8	20,74
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-56,8	-16,4	125,7	19,95
HR24	1021	Cc (Zone 1)	l+v	-51,2	-14,4	121,4	18,27
HR25	1022	Cc (Zone 2)	l+v	nb	-15	88,4	18,79
HR25	1022	Cc (Zone 2)	l+v	-60,1	-12,9	102,2	16,91
HR25	1022	Cc (Zone 2)	l+v	-41	-11,8	102,9	15,85
HR25	1022	Cc (Zone 2)	l+v	-52	-14,8	112,3	18,62
HR25	1022	Cc (Zone 2)	l+v	-64,7	-14,7	112,5	18,53
HR25	1022	Cc (Zone 2)	l+v	-50,5	-13,6	113,8	17,55
HR26	1023	Cc (Zone 2)	l+v	-61,5	-11,8	92,7	15,85
HR26	1023	Cc (Zone 2)	l+v	-56,6	-12,1	114,4	16,14
HR26	1023	Cc (Zone 2)	l+v	-53	-8,5	116,5	12,30
HR26	1023	Cc (Zone 2)	l+v	-47,2	-10,6	115,7	14,62
HR26	1023	Cc (Zone 2)	l+v	-62,4	-12,3	118,7	16,34
HR26	1023	Cc (Zone 2)	l+v	-43,2	-6,8	110,6	10,24
HR26	1023	Cc (Zone 2)	l+v	-48,2	-10,5	108,6	14,52
HR26	1023	Cc (Zone 2)	l+v	-44,5	-11,1	93,7	15,14
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	nb	-12,1	83	16,14
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	-58,4	-12,3	80,7	16,34
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	-57,9	-14,8	86,5	18,62
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	-60,2	-14,2	85,6	18,09
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	-61,5	-13,7	112,7	17,65
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	-39,5	-8,8	104,6	12,65
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	-46,1	-20,5	83,9	23,01
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	-46,5	-20,4	86,1	22,94
HR27	1024	Cc (Zone 2)	l+v	-34,1	-9,7	95,3	13,66

T_h: Homogenisierungstemperatur

T_m: Schmelztemperatur

T_e: Eutektische Temperatur

NaCl-Äq.: Salinität in NaCl-Äquivalent

l: liquid

v: vapor

Fortsetzung Tabelle IV-1: Ergebnisse der mikrothermometrischen Untersuchungen an Flüssigkeitseinschlüssen in Gangkarbonaten des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke.

Probe	Schliffnr.	Mineralphase	Phasen	Te [°C]	Tm [°C]	Th [°C]	NaCl-Äq. [Gew.-%]
HR27	1024	Cc (Zone 3)	l+v	-37,2	-14,5	124,8	18,36
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-38,6	-13,7	115,1	17,65
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-35,1	-15,6	131,9	19,29
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-38,1	-12,5	141,7	16,53
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-47,6	-14,2	139,4	18,09
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-38,9	-13,5	136,4	17,46
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-48,6	-12,8	133,1	16,81
HR27	1024	Cc (Zone 3)	l+v	-41,9	-18,1	130,1	21,27
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-50,1	-15,9	142,8	19,54
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-50,3	-15,5	142,1	19,21
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-49,5	-17,8	131	21,05
HR25	1022	Cc (Zone 3)	l+v	-50,1	-12,6	134,7	16,62
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-60,1	-12	144,1	16,04
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-58,2	-20,6	139,7	23,08
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-54,1	-12,7	161,2	16,72
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-48,2	-14,2	127,6	18,09
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-48,8	-7,7	123,7	11,35
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-40,1	-13,6	134	17,55
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-64,3	-11,9	128,1	15,95
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-48,6	-12,6	137,5	16,62
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-43,7	-12,9	130,9	16,91
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-33,8	-12,1	122,9	16,14
HR26	1023	Cc (Zone 3)	l+v	-60,3	-13,1	146,7	17,09
HR27	1024	Cc (Zone 3)	l+v	-43,8	-14,4	143,3	18,27

T_h: Homogenisierungstemperatur

T_m: Schmelztemperatur

T_e: Eutektische Temperatur

NaCl-Äq.: Salinität in NaCl-Äquivalent

l: liquid

v: vapor

V ICP-MS (Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma)

Zur Bestimmung der Seltenerdelemente (SEE) in Karbonatmineralen wurde die Massenspektrometrie mit induktiv gekoppeltem Plasma genutzt. Für dieses analytische Verfahren wurden Pulverproben von 5 Gramm eingesetzt. Die Probe wird in Lösung gebracht und anschließend wird das zu analysierende Probenmaterial in einem Plasma bei etwa 5000°C ionisiert. Zur Erzeugung des Plasmas wird ein hochfrequenter Strom in ionisiertes Argon induziert. Bei der ICP-MS Methode werden die positiven Ionen im Plasma bestimmt, welche auf ein Quadrupol Massenspektrometer fokussiert werden. Die Nachweisgrenzen sind elementabhängig und in Tabelle IV-1 dargestellt. In Tabelle IV-2 sind die REE-Gehalte des C1-Chondriten nach McDonough & Sun (1995) in ppm dargestellt. Für die graphische Darstellung in dieser Arbeit wurden alle REE-Gehalte gegen die C1-Zusammensetzung normiert. Die Analysen wurden bei Actlabs (Activation Laboratories Ltd) in Kanada und am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen durchgeführt.

Tabelle V-1: Nachweisgrenzen der mittels ICP-MS bestimmten Seltenerdelemente.

Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
0.5	0.05	0.05	0.01	0.05	0.01	0.005	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.005	0.01	0.002

Tabelle V-2: REE-Gehalte des C1-Chondriten nach McDonough & Sun (1995) in ppm.

Y	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
1,57	0,237	0,613	0,0928	0,457	0,148	0,0563	0,199	0,0361	0,246	0,0546	0,16	0,0247	0,161	0,0246

Tabelle V-3: Seltenerdgehalte der Gangkarbonate aus der Landesbadquelle Burtscheid und den Quellsintern aus Aachen.

An. Nr.	H10	TWD1	TWD2
Pr. Nr.	TW10	TWD1	TWD2
ppm			
Y	2,10	23,08	7,37
La	2,07	23,02	8,43
Ce	3,90	44,47	13,56
Pr	0,45	5,54	2,30
Nd	1,78	22,49	9,40
Sm	0,37	4,62	1,79
Eu	0,08	1,08	0,43
Gd	0,38	5,28	1,95
Tb	0,06	0,74	0,26
Dy	0,36	4,37	1,50
Ho	0,07	0,83	0,28
Er	0,21	2,17	0,73
Tm	0,03	0,28	0,09
Yb	0,20	1,67	0,54
Lu	0,03	0,22	0,08

H10: Quellsinter /Aachen; TWD1: Sinter /Landesbadquelle Burtscheid; TWD2: Calcit/ Landesbadquelle Burtscheid

Anmerkung: An. Nr. = Analysen Nummer, Pr. Nr. = Proben Nummer

Tabelle V-4: Seltenerdgehalte der Gangkarbonate aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerken.

An. Nr.	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9
Pr. Nr.	HR2	HR4	HR21	HR5	HR20	HR16	HR1	HR5	HR21
ppm									
Y	9,70	12,80	1,60	18,60	7,50	5,80	7,20	9,10	4,80
La	12,40	13,80	3,11	6,83	5,14	4,68	6,06	4,21	1,93
Ce	13,10	10,10	0,41	14,40	5,25	5,83	11,10	8,33	1,67
Pr	1,61	1,62	0,05	2,32	0,92	0,91	1,39	1,24	0,45
Nd	6,14	6,68	0,22	11,40	3,79	3,74	5,16	5,41	1,98
Sm	1,14	1,57	0,05	3,25	0,81	0,78	0,87	1,39	0,45
Eu	0,28	0,43	0,02	1,03	0,18	0,22	0,21	0,39	0,11
Gd	1,18	1,72	0,05	3,55	0,82	0,77	0,86	1,52	0,44
Tb	0,22	0,28	0,01	0,65	0,13	0,13	0,18	0,25	0,08
Dy	1,37	1,53	0,06	3,84	0,83	0,72	1,21	1,50	0,52
Ho	0,29	0,29	0,01	0,68	0,17	0,13	0,28	0,30	0,11
Er	0,84	0,77	0,04	1,82	0,49	0,34	0,86	0,80	0,31
Tm	0,12	0,10	0,01	0,24	0,07	0,04	0,13	0,11	0,04
Yb	0,70	0,51	0,04	1,40	0,41	0,23	0,80	0,57	0,23
Lu	0,09	0,07	0,00	0,18	0,05	0,03	0,11	0,07	0,03

H1: Calcit / Zone 2

H3: Kalksinter

H5: Kalkstein (Unterkarbon)

H7: Calcit / Zone 3

H9: Kalksinternadeln

H2: Calcit / Zone 1

H4: Dolomit / Zone 1

H6: Calcitadern im Kalkstein

H8: Kalksteinsfragmente aus Zone 1

Anmerkung: An. Nr. = Analysen Nummer, Pr. Nr. = Proben Nummer

Tabelle V-5: Seltenerdgehalte der Gangkarbonate aus den Vorkommen Diepenlienchen, Albertsgrube und Bleiberg.

An. Nr.	Dip2	A11	Dip1	A10	27ALB	34ALB	34	25BB	32BB
Pr. Nr.	DIP2	DIP2	DIP1	DIP1	ALB-27	ALB-34	ALB-34	BB-25	BB-32
ppm									
Y	9,67	6,33	2,59	3,00	17,93	11,55	4,46	1,13	38,46
La	7,90	3,29	3,84	4,79	8,30	8,18	3,27	0,18	39,38
Ce	14,18	4,17	5,21	6,33	17,13	10,12	7,30	0,47	59,50
Pr	1,76	0,55	0,68	0,81	2,25	1,66	0,92	0,08	6,83
Nd	7,37	2,44	2,84	3,36	9,79	7,20	3,71	0,48	30,29
Sm	1,39	0,48	0,55	0,60	2,24	1,50	0,70	0,17	8,29
Eu	0,35	0,13	0,14	0,16	0,58	0,37	0,17	0,09	8,08
Gd	1,88	0,71	0,68	0,76	2,92	1,87	0,86	0,21	11,32
Tb	0,27	0,09	0,08	0,08	0,47	0,26	0,13	0,03	1,41
Dy	1,59	0,57	0,42	0,42	2,75	1,54	0,77	0,16	6,53
Ho	0,32	0,12	0,08	0,08	0,54	0,31	0,16	0,03	1,05
Er	0,79	0,34	0,20	0,20	1,36	0,84	0,46	0,07	2,25
Tm	0,08	0,04	0,02	0,02	0,16	0,10	0,06	0,01	0,21
Yb	0,38	0,22	0,13	0,12	0,81	0,57	0,36	0,05	0,89
Lu	0,05	0,03	0,02	0,02	0,11	0,08	0,05	0,01	0,11

Dip2: Calcit / Diepenlienchen

Dip1: Dolomit / Diepenlienchen

27ALB: Calcit / Albertsgrube

34: Calcit / Albertsgrube

32BB: Dolomit / Bleiberg

A11: Calcit / Diepenlienchen

A10: Dolomit / Diepenlienchen

34ALB: Dolomit / Albertsgrube

25BB: Calcit / Bleiberg

Anmerkung: An. Nr. = Analysen Nummer, Pr. Nr. = Proben Nummer

Tabelle V-6: Seltenerdgehalte der Gangkarbonate aus der RWTH-1 Bohrung.

An. Nr. Pr. Nr.	B2 MC1	B3 MC2	A7 MC10	A4 MC32	A5 MC3	B4 MC4	A6 MC127	B6 MC5	A9 MC6
ppm									
Y	24,92	50,78	1,25	3,33	4,75	1,36	10,62	0,58	11,63
La	0,94	0,94	0,75	4,29	2,35	0,20	0,05	0,36	1,32
Ce	3,38	4,30	1,95	8,20	5,04	0,74	0,37	0,81	5,11
Pr	0,70	0,91	0,27	1,00	0,78	0,15	0,10	0,12	0,99
Nd	4,72	6,34	1,27	3,92	3,52	1,01	0,91	0,65	6,41
Sm	3,01	6,21	0,35	0,75	0,80	0,68	1,61	0,30	2,38
Eu	2,76	4,94	0,31	2,27	1,00	1,04	1,05	0,58	2,84
Gd	4,15	11,35	0,35	0,82	0,83	0,61	2,95	0,24	2,46
Tb	0,83	2,19	0,05	0,10	0,11	0,08	0,56	0,03	0,35
Dy	4,71	11,06	0,28	0,55	0,66	0,36	2,65	0,14	1,70
Ho	0,85	1,81	0,05	0,10	0,12	0,06	0,42	0,02	0,28
Er	2,05	4,26	0,12	0,24	0,33	0,13	1,06	0,05	0,64
Tm	0,25	0,52	0,01	0,03	0,04	0,02	0,15	0,01	0,07
Yb	1,37	3,07	0,08	0,16	0,24	0,10	1,00	0,04	0,35
Lu	0,16	0,39	0,01	0,02	0,03	0,01	0,14	0,00	0,04

B2: Karbonat / 544,03 m

A7: Karbonat / 1404,56 m

A5: Karbonat / 1440, 03 m

A6: Karbonat / 2137,04 m

A9: Karbonat / 2539,2 m

B3: Karbonat / 614,5 m

A4: Karbonat / 1420,84 m

B4: Karbonat / 2049, 94 m

B6: Karbonat / 2501,16 m

Anmerkung: An. Nr. = Analysen Nummer, Pr. Nr. = Proben Nummer

VI Emissionsspektrometrie (ICP-OES)

Die Spurenelementgehalte Ba, Ca, Sr, F und Cl der Thermalwässer von Aachen und Burtscheid wurden mit dem ICP-OES-System PerkinElmer Optima DV des Instituts für Mineralogie und Lagerstättenlehre, RWTH-1, bestimmt. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 4.4 (Kapitel 4.4.2) zusammengestellt.

VII Atomabsorptionsspektrometrie (AAS)

Die Elemente Pb, Zn, Cd und Tl der Thermalwässer von Aachen und Burtscheid wurden mit dem Perkin/Elmer Analyst 800 Atomabsorptionsspektrometer als Graphitrohr-System (querbeheizter THGA Graphitrohrföfen, longitudinale Zeeman-Effekt-Untergrundkorrektur) bestimmt. Die Ergebnisse der Messungen sind in Tabelle 4.4 (Kapitel 4.4.2) aufgeführt. Alle Analysen wurden am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen durchgeführt.

VIII Kaltdampf-Atomabsorptionsspektrometrie (CV-AAS)

Aus der RWTH-1 Bohrung wurden Bohrkern- und Bohrklein-Proben auf Quecksilber analysiert. Hierzu wurde jeweils ~1 Gramm Probe im Königswasseraufschluss gelöst. Zur Hg-Analyse wurde das Atomabsorptionsspektrometer PerkinElmer FIMS-100, das für die Analyse des leicht verdampfenden Elements Quecksilber in Lösungen ausgelegt ist, eingesetzt. Als Reduktionsmittel diente Natriumborhydrid (NaBH_4) (höhere Empfindlichkeit bei der Hg-Messung). Die Proben wurden leicht erwärmt. Die Analysen wurden am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen durchgeführt. Die Ergebnisse der Quecksilberanalysen sind in Tabelle VIII-1 dargestellt.

Tabelle VIII-1: Quecksilberanalysen an Bohrklein- und Bohrkernproben der RWTH-1 Bohrung in Aachen.

Probe	Teufe [m]	Hg [ppm]
36 ⁽²⁾	71,68	0,7
851 ⁽²⁾	895,00	3,1
1048 ⁽²⁾	1096,14	0,5
1152 ⁽²⁾	1200,12	0,4
1254 ⁽²⁾	1300,10	0,7
1347 ⁽²⁾	1393,20	0,3
9-1 ⁽¹⁾	1412,11	0,3
9-1-5 ⁽¹⁾	1412,26	0,4
10-1 ⁽¹⁾	1415,07	0,4
12-1 ⁽¹⁾	1420,84	0,5
22-2 ⁽¹⁾	1449,32	0,4
34-1 ⁽¹⁾	1481,12	0,7
35-3 ⁽¹⁾	1485,96	0,9
38-2 ⁽¹⁾	1493,32	0,7
40-1 ⁽¹⁾	1497,65	0,4
45-3 ⁽¹⁾	1511,86	0,8
46-2 ⁽¹⁾	1513,3	0,4
1448 ⁽²⁾	1524,01	0,3
1555 ⁽²⁾	1641,17	0,6
1652 ⁽²⁾	1733, 73	0,6
1860 ⁽²⁾	1936,10	0,5
1864 ⁽²⁾	1940,00	0,3
2030 ⁽²⁾	2101,05	0,4

(1): Bohrkernproben

(2): Bohrkleinproben

IX IR-Absorptionsanalysatoren (IROES)

Die Kohlenstoff-Konzentrationen (C_{org} , C_{anorg}) wurden in 58 Bohrkern- und Bohrklein-Proben der Bohrung RWTH-1 bestimmt. Zur Analyse diente das Gerät LECO RC-412. Eingesetzt wurden jeweils 20 mg Probenmaterial. Kohlenstoff, im O_2 -Strom bei $T < 500^\circ\text{C}$ wurden als C_{org} , bei $T > 500^\circ\text{C}$ als C_{anorg} gewertet. Die Schwächung der IR-Linie wurde nach der Kalibrierung als Maß für die freigesetzte CO_2 -Menge gewertet.

Diese Messungen wurden am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen durchgeführt. Die Ergebnisse der Kohlenstoffmessungen sind im Anhang in Abschnitt X in Tabelle X-1 zusammengestellt.

X Röntgenfluoreszenzanalytik (XRF)

Haupt- und Spurenelementgehalte von 85 Bohrklein- und Bohrkernproben der Bohrung RWTH-1, sowie der Spurenelementgehalte von 3 Karbonatgang Proben aus dem Steinbruch der Kalkwerke Hastenrath wurden mit dem XLab 2000 Röntgenfluoreszenzspektrometers analysiert. Probenpulver wurden durch Vermahlen in einer Achat-Scheibenschwingmühle hergestellt. Das Mahlgefäß wurde nach jeder Probe gründlich mit Quarzsand gereinigt. Aus dem Probenpulver wurden Schmelz- und Presstabletten für die Röntgenfluoreszenzanalyse hergestellt.

Bei der Herstellung von Presstabletten wurden je 8,0 g Probenpulver mit 2 ml 5%-iger Elvacitlösung im Achatmörser vermischt. Das Gemenge wurde gut homogenisiert und 30 sec mit 10t Auflast in eine Aluschale zur Tablette verpresst. Nach Fertigstellung wurden die Presslinge bis zur Messung im Exsikkator gelagert.

Bei der Herstellung der Schmelzlinge ist die genaue Probeneinwaage wichtig. Zuerst wurde das Leergewicht frisch geglühter Tiegel bestimmt. Etwa 2 g Pulver wurden darin im Trockenschrank bei 105°C getrocknet und das Gesamtrockengewicht dokumentiert. Da beim Schmelzen der Probe zur Schmelztablette leichtflüchtige Stoffe entweichen, muss auch der Glühverlust bestimmt werden, um die Gehalte danach auf die Ausgangsmenge rückrechnen zu können. Die getrocknete Probe wurde 120 min bei 1000°C geglüht und wieder mit Tiegel gewogen. Die Differenz zum Gewicht der getrockneten Probe mit Tiegel ergibt den Glühverlust. Das durch das Glühen etwas zusammengebackene Probenpulver wurde im Mörser wieder aufgemahlen. Von diesem Pulver wurden jeweils $0,5 \text{ g} \pm 0,0002 \text{ g}$ mit $5,0 \text{ g} \pm 0,0002 \text{ g}$ Flussmittel (Spectromelt) vermischt und im Platintiegel 10 min bei 1240°C aufgeschmolzen. Die Zugabe von Li-Borat-Lösung diente zur Erhöhung der Oberflächenspannung der Schmelze, damit diese nach der Erstarrung nicht im Tiegel verklebt. Nach dem Abkühlen ist die erstarrte Probe fertig gestellt. Für die Bestimmung der Konzentrationen der Hauptelemente sind die Geräteeinstellungen 40 kV und 75 mA. Für die Spurenelemente sind es 40-60 kV und 50-75 mA. Alle Präparate wurden nach ihrer Fertigstellung bis zur Messung im Exsikkator gelagert. An den Schmelztabletten wurden die Hauptelementgehalte in Oxidform, an den Presstabletten die Spurenelementgehalte gemessen.

Haupt- und Spurenelemente von Bohrklein- und Bohrkern- Proben der RWTH-1 Bohrung sind in Tabelle X-1 aufgelistet. Die Spurenelemente von Karbonatgängen aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke sind in Tabelle 4.1 in Kapitel 4.2.2.5.1 zusammengestellt. Die Messungen wurden im Labor für Geochemie und Umweltanalytik am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen durchgeführt.

Tabelle X-1: Haupt- und Spurenelementkonzentrationen von Bohrkern- und Bohrkleinproben der Bohrung RWTH-1, Aachen.

Probe	36 ⁽²⁾	49 ⁽²⁾	158 ⁽²⁾	159 ⁽²⁾	200 ⁽²⁾	250 ⁽²⁾	302 ⁽²⁾	350 ⁽²⁾	400 ⁽²⁾	451 ⁽²⁾	499 ⁽²⁾	550 ⁽²⁾	649 ⁽²⁾	650 ⁽²⁾	749 ⁽²⁾	799 ⁽²⁾	848 ⁽²⁾	851 ⁽²⁾
Überkarbon V																		
Tiefe [m]	71,68	85,94	190,20	191,30	321,30	285,40	338,05	390,51	439,00	492,99	542,97	593,50	693,03	694,05	794,03	844,00	892,00	895,00
Hauptelemente, Gew.-%																		
SiO ₂	66,12			58,33		58,86	58,46		52,89	54,40	53,71	53,14	53,63		60,85	59,14	54,67	
TiO ₂	0,93			1,24		0,95	0,75		0,86	0,90	0,74	0,78	0,80		0,81	0,84	0,86	
Al ₂ O ₃	15,48			16,39		19,36	17,11		23,05	18,8	14,78	14,96	17,32		17,09	17,45	19,60	
Fe ₂ O ₃ (T)	6,59			6,84		7,38	6,35		8,09	7,30	6,13	7,04	6,75		6,89	6,55	7,37	
MnO	0,13			0,15		0,13	0,11		0,11	0,10	0,11	0,12	0,12		0,13	0,14	0,08	
MgO	1,80			2,24		2,02	1,99		2,38	2,6	2,38	2,32	2,66		2,19	2,23	2,54	
CaO	0,01			2,79		0,61	2,68		0,05	2,50	7,51	7,19	4,83		1,04	1,29	1,74	
Na ₂ O	0,72			0,61		1,04	0,48		0,62	0,6	0,61	0,57	0,61		0,10	0,59	0,07	
K ₂ O	2,47			2,99		3,06	3,23		4,42	3,60	2,83	2,88	3,37		3,10	3,26	3,76	
P ₂ O ₅	0,10			0,19		0,15	0,09		0,12	0,1	0,17	0,09	0,10		0,06	0,13	0,11	
SO ₃	0,35			0,38		0,43	0,55		0,37	0,40	0,54	0,42	0,64		0,45	0,48	0,60	
LOI	5,06			7,27		6,22	6,97		6,64	7,5	9,81	10,77	8,91		5,72	6,66	6,99	
Summe	99,77			99,43		100,21	98,76		99,59	98,70	99,33	100,27	99,75		98,43	98,75	98,39	
C _{org}	0,79	0,27		0,55			0,56	0,53	0,62	0,49	0,49	0,51	0,36	0,42	0,54		0,52	
C _{inorg}	0,25	0,42		1,10			0,93	1,8	0,38	0,84	1,68	1,80	1,57	1,59	0,57		0,85	
Spurenelemente, ppm																		
V	111,1	44,7	110,9	126,3	196,5	128,7	129,3	115,6	187,4	146,1	105,6	111,3	118,7	123,1	132,9	144,2	158,8	183,5
Cr	141,2	54,4	123,8	141,5	139,1	115,8	128,8	110,2	156,4	127,8	127,6	111,8	137,5	118,5	120,2	138,7	131,4	157,3
Co	38,1	53,7	58,3	32,4	38,4	38,8	28,2	36,1	38	32,3	28,6	39,1	29,4	34	41,7	37,6	31,9	32,6
Ni	60,9	34,9	66,4	69,4	86,2	58,1	68,9	65,3	84,9	77,9	63,7	64,5	68,7	67,4	67,6	68,7	77,8	84,6
Cu	30,9	12,8	27,7	27,3	38,3	36,2	28,3	30,7	41,9	30	28,1	27,4	28,6	40,8	30,4	30	33	40,6
Zn	83,2	44,8	92,1	92,2	101,5	101,2	87,9	90,2	106,5	106,9	81,1	94,4	100,7	93,5	71,1	57,1	96,7	109,2
Ga	18,8	10,8	20,8	21,3	27,8	25	21	20,8	28,4	23,8	20	20,1	21,4	21	22,6	22,5	25,3	23,8
As	nb	10	nb	10,2	nb	16,2	nb	13,4	14,6	10,3	13,4	14,2	11,8	13	13,1	13,4	14	16,6
Rb	106,3	39,9	134,8	136,6	192,3	132,5	150,4	132,7	204,7	165,2	131,3	125,9	149,8	147,7	139,8	148,4	177	183,1
Sr	69	41,7	95,8	98,3	100,8	81,7	94,9	150,3	99,7	107,4	158,2	147,3	129,8	131,3	73,3	90,6	97,7	100,7
Y	33,3	nb	32,5	33	31,2	32,9	28	30,5	29,3	31	29,7	30,3	29,6	29,9	29,3	30,6	30,8	30,6
Zr	368,3	241,3	208	207,7	139,5	209,8	159,8	182,9	131,6	163,6	191,3	182,3	167,8	168,5	206,4	205,6	161,5	152,3
Nb	15,6	nb	15,6	16,8	14,9	15,4	14,4	14,7	15,3	17,2	14,8	15	15,3	15,8	14,2	15,7	15,6	16
Sn	<2,0	nb	3,8	2,4	nb	nb	2,2	nb	3,1	nb	2,2	nb	2,2	nb	nb	2,2	nb	2,6
Sb	<10	nb	nb	<10	nb	nb	<10	nb	<10	nb	<10	nb	<10	nb	nb	<10	nb	<10
Ba	306,8	116,4	391	368,8	535,2	504,9	396,1	362,2	481,3	438,8	334,8	346,9	362,5	382,4	343,2	349,9	419,6	394
La	37,1	24,3	39	42	54	43,9	41,5	40,7	48,3	45,8	42	41,1	43,4	44,3	41	48	47,4	47,1
Ce	76,3	nb	79,1	82,3	104,9	92,7	77,8	80,2	100,6	89,6	79,4	82,3	80,9	85,7	81,7	89,4	95,3	93,8
Pb	20	nb	16,3	20,3	20,2	21,4	20,5	19,4	28,3	17,7	20,1	17,6	20	20,1	13,9	17,2	17,8	23,3

(1): Kernproben; (2): Bohrkleinproben; g: grüne Fraktion; r: rote Fraktion; nb: nicht bestimmt

Fortsetzung Tabelle X-1: Haupt- und Spurenelementkonzentrationen von Bohrkern- und Bohrkleinproben der Bohrung RWTH-1, Aachen.

Probe	904 ⁽²⁾	949 ⁽²⁾	1001 ⁽²⁾	1016 ⁽²⁾	1048 ⁽²⁾	1100 ⁽²⁾	1120 ⁽²⁾	1146 ⁽²⁾	1152 ⁽²⁾	1200 ⁽²⁾	1250 ⁽²⁾	1254 ⁽²⁾	1306 ⁽²⁾	1308 ⁽²⁾	1312 ⁽²⁾	1322 ⁽²⁾	1324 ⁽²⁾	1332 ⁽²⁾
Oberdevon V																		
Teufe [m]	948,00	996,00	1047,00	1061,37	1096,14	1146,98	1168,02	1193,95	1200,12	1247,99	1296,12	1300,10	1353,01	1353,01	1359,00	1369,16	1371,04	1379,19
SiO ₂	62,84	64,73	56,60	57,35	61,42	66,00	62,06	63,45	61,40	61,40	64,40	63,39	60,73	60,73				59,5
TiO ₂	0,83	0,80	0,70	0,56	0,61	0,70	0,61	0,59	0,70	0,70	0,72	0,72	0,77	0,77				0,8
Al ₂ O ₃	15,75	15,18	13,10	12,31	10,72	11,70	11,07	11,10	14,50	14,50	14,20	15,59	17,35	17,35				17,6
Fe ₂ O ₃ (T)	5,79	6,14	4,40	4,06	3,71	3,70	3,78	2,77	5,00	5,00	5,30	4,60	6,15	6,15				6,5
MnO	0,10	0,10	0,10	0,11	0,05	<0,1	0,06	0,06	0,10	0,10	0,10	0,06	0,07	0,07				0,1
MgO	2,10	2,14	4,90	4,30	4,37	3,70	4,25	3,77	3,90	3,90	3,00	2,67	3,15	3,15				3,3
CaO	0,95	0,65	5,00	5,84	5,09	2,60	4,93	3,89	2,30	2,30	1,10	0,94	1,14	1,14				1
Na ₂ O	0,86	0,67	0,60	0,33	0,38	1,00	0,54	1,07	1,10	1,10	1,50	1,23	1,06	1,06				1,1
K ₂ O	2,99	3,11	5,10	4,70	4,52	4,70	4,46	4,30	5,20	5,20	4,60	4,73	4,74	4,74				4,7
P ₂ O ₅	0,20	0,10	0,20	0,14	0,12	0,10	0,14	0,12	0,10	0,10	0,20	0,20	0,12	0,12				0,2
SO ₃	0,57	0,53	0,10	0,40	0,43	0,10	0,54	0,39	0,10	0,10	0,00	0,32	0,47	0,47				0,1
LOI	5,53	5,13	9,40	9,35	7,87	5,10	7,34	6,83	5,50	5,50	3,50	4,05	4,60	4,60				4,5
Summe	98,49	99,28	100,10	99,44	99,28	99,40	99,77	98,33	99,90	99,90	98,60	98,51	100,35	100,35				99,4
C _{org}	0,47	0,39	0,11	0,16	0,10	0,03	0,07	0,07	0,07	0,07	0,04		0,05	0,05				
C _{inorg}	0,84	0,84	1,77	1,84	1,51	0,84	1,39		0,74	0,74	0,31		0,34	0,34				
V	105,2	48,4	57,9	55	41,1	50,6	51,8	42,4	69,6	69,6	67,3	73,1	91	86,1	96,8	100	99,2	96,7
Cr	121,6	69,1	74,9	81	72,5	79,3	75,6	79,4	90,5	90,5	95,9	111,7	101,2	106,8	125,8	128,2	123	124,3
Co	33	<20	nb	nb	30,8	nb	63,9	31,1	55,4	55,4	56,2	30,4	44	53,5	38,9	43,7	46,1	37,7
Ni	55,4	30,2	38	45	33,6	36,1	37,3	33,3	53,1	53,1	55,5	55,3	57,6	57,7	60,3	61,4	58,8	59,1
Cu	24,1	34,5	19	100	13	10,4	15,6	12	23,3	23,3	29,4	23,3	24,7	24,5	22,9	22,8	23,4	30,3
Zn	47,9	21,8	60,2	77	34,8	54,3	43,2	35,7	69,9	69,9	69	71,2	74	70,4	73,6	78,1	77,4	87,4
Ga	19,1	13,8	15,9	nb	13,9	13,8	16,7	14,7	20,5	20,5	20,5	19,7	22,9	22,7	23,5	23,2	22,4	23,1
As	10,9	14,3	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	nb	11,1	11,5	nb	10,4	10,1	<10	10,1
Rb	126,1	106,1	130,5	116	93,1	93,7	96,9	92,1	137,5	137,5	128,7	137,8	162,4	164,3	169,9	171,2	169,6	163,4
Sr	74,4	83	84,7	57	76,8	64,3	81,1	77,8	84,3	84,3	92,2	96,5	77,8	80,8	72,6	67,4	71,6	71,5
Y	29,3	22,9	23,9	nb	25,6	27	25,1	25,4	23,4	23,4	26,3	25,6	24,9	24,9	25,8	25,1	26	24,1
Zr	213,8	215,6	212,4	179	288,8	318,4	263,3	271,3	185,6	185,6	220,5	211,4	197,7	194,9	195,8	174,1	171,2	178,9
Nb	14,6	<10	12,1	nb	11,9	12,7	nb	12,1	12,3	12,3	13,7	11,9	13,8	14,7	14,2	13,5	14,5	13,6
Sn	<2,0	<2,0	nb	nb	nb	nb	nb	<2,0	nb	nb	nb	<2,0	nb	3	2,9	2,2	2,9	2,7
Sb	<10	<10	nb	nb	nb	nb	nb	<10	nb	nb	nb	<10	nb	nb	<10	<10	<10	<10
Ba	318,2	354,5	468,4	348	429,4	451,1	414,7	403,5	467,3	467,3	493,6	498,6	524,9	534,6	496,6	476,5	489,7	491,8
La	39,4	34,7	36,9	nb	34,7	36,7	34,1	34,1	34,4	34,4	34,3	37,6	37,4	38,1	40,4	40,4	39,6	39,5
Ce	76	67,4	75,2	nb	70,1	75,6	69,6	67,7	69,9	69,9	72,3	74	81,4	82,6	84,7	82,5	84,2	82,5
Pb	13	16,1	12,6	nb	11,1	11,3	17,5	13,9	nb	nb	11,7	15	10,2	10,3	12,1	11,2	11,2	14,5

(1): Kernproben; (2): Bohrkleinproben; g: grüne Fraktion; r: rote Fraktion; nb: nicht bestimmt

Fortsetzung Tabelle X-1: Haupt- und Spurenelementkonzentrationen von Bohrkern- und Bohrkleinproben der Bohrung RWTH-1, in Aachen.

Probe	1339 ⁽²⁾	1344 ⁽²⁾	1345 ⁽²⁾	1346 ⁽²⁾	1347 ⁽²⁾	10-1 ⁽¹⁾	18-3 ⁽¹⁾	20-3 ⁽¹⁾	22-2 ⁽¹⁾	25-16 ⁽¹⁾	35-3 ⁽¹⁾	38-2 ⁽¹⁾	46-1 ⁽¹⁾	46-2 ⁽¹⁾	1448 ⁽²⁾	1477 ⁽²⁾	1477g ⁽²⁾	1555 ⁽²⁾
Teufe [m]	1385,62	1390,00	1391,00	1392,00	1393,20	1410,00	1439,20	1444,70	1450,00	1457,40	1484,00	1490,00	1510,00	1511,00	1524,01	1556,00	1556,00	1641,17
Unterdevon																		
SiO ₂	58,44				57,99	39,71	53,22	55,69	60,46	67,69	59,90	67,27	62,51	57,15	60,98			67,06
TiO ₂	0,78				0,79	0,51	0,99	1,02	1,04	0,84	1,15	0,90	1,07	0,94	0,90			0,76
Al ₂ O ₃	17,68				18,89	8,47	20,64	22,99	20,93	14,81	21,37	14,54	19,46	17,27	18,45			14,71
Fe ₂ O ₃ (T)	6,39				6,69	3,77	8,82	6,82	7,12	7,15	5,32	7,79	5,66	10,01	7,52			6,31
MnO	0,07				0,08	0,16	1,15	0,29	0,01	0,03	0,04	0,12	0,07	1,16	0,43			0,25
MgO	3,16				3,16	8,31	1,72	1,47	0,81	0,72	1,24	1,34	1,33	1,61	1,46			1,43
CaO	0,95				0,59	13,74	0,44	0,34	0,11	0,17	0,14	0,24	0,19	0,47	0,01			0,12
Na ₂ O	1,10				0,94	0,61	0,67	0,76	0,84	0,57	0,77	0,44	0,77	0,56	0,73			0,60
K ₂ O	4,64				4,81	2,21	4,06	4,49	4,14	2,83	4,13	2,51	3,47	2,90	2,98			2,49
P ₂ O ₅	0,10				0,11	0,17	0,11	0,09	0,03	0,07	0,08	0,03	0,09	0,09	0,12			0,10
SO ₃	0,45				0,51	0,43	0,42	0,41	0,45	0,47	0,44	0,43	0,45	0,43	0,32			0,34
LOI	4,52				4,61	20,65	6,88	5,43	3,40	2,56	3,68	3,20	3,75	6,19	4,73			4,89
Summe	98,29				99,18	98,73	99,12	99,80	99,35	97,92	98,27	98,81	98,83	98,78	98,64			99,05
C _{org}	0,08				0,10	0,11	0,40	0,30	0,02	0,02	0,03	0,07	0,12	0,54				0,07
C _{hong}	0,29				0,35	5,81	0,71	0,18	0,02	0,04	0,04	0,09	0,09	0,46				0,21
V	101,5	100,3	105,2	104,2	98,9		128,3	164	69,8	137,7	137,7	89,4			109,5	128,5	115,1	93,7
Cr	128,6	125,2	130,2	131,5	136		111,5	114,8	133,9	118,4	118,4	121			136,5	162,1	137,7	154,4
Co	40,3	35,8	49,4	40,2	33,5		31,4	43,7	47,7	51	51	59,7			37,6	86,1	38,1	34,7
Ni	62,6	59,6	59,3	58,5	59,1		59,6	63	45,9	49,8	49,8	54,8			63,5	68,5	68,4	63,5
Cu	26,1	26,5	23,6	22,8	88		47,4	36,4	14,2	32,9	32,9	23,9			29,4	20,9	26,9	24,2
Zn	80,2	79,8	74,6	80	264,1		78,9	83,9	45	65,3	65,3	75,2			85,9	83,6	90,4	70,1
Ga	23,5	22,8	24,5	23,8	24,2		26,8	30,8	19,2	26,8	26,8	18,8			22,1	22,5	26,5	18,5
As	10,5	<10	10,6	10,7	<10		35	55,9	<10	<10	<10	<10			34	11	11,3	23,8
Rb	171,7	167,8	176,3	177	174,5		161,7	187	126,4	179,8	179,8	110			131,9	155,2	156,4	108,1
Sr	67,4	69,4	71,9	64,1	70,6		78	96,6	76,6	92,8	92,8	67,3			72,4	74,2	73,1	59
Y	24,1	26,5	25,1	25	25,4		32,3	30,4	36	42,5	42,5	32,3			33,8	33,3	31,6	29,7
Zr	166,9	176,6	180,9	171,7	161,1		169,1	154,9	433,4	315,2	315,2	350,6			222,3	224,4	207,6	253,7
Nb	13,4	15,1	13,8	14,6	12,8		18,4	18	15,3	21,1	21,1	16,3			16,5	17,2	17,3	14,4
Sn	2,7	2,5	3	2,8	2,5		4,3	4,1	3,8	3,4	3,4	2,1			2,3	2,1	3	<2,0
Sb	<10	<10	<10	<10	<10		<10	<10	<10	<10	<10	<10			<10	<10	<10	<10
Ba	439,4	461,9	480,8	509,5	481,5		601,7	593,4	393,6	698,8	698,8	409,6			489	655,1	501,1	400,1
La	39,3	39,9	40,7	42,2	39,6		49,5	55,8	50,5	51,9	51,9	47,3			46,4	48,1	52,2	40,4
Ce	78,6	82	83,6	86,1	79,4		114,4	118,9	105,7	115,7	115,7	95,2			99,5	100,7	115,1	85,5
Pb	14,9	13,3	13,4	11,3	178,7		<10	<10	10,9	<10	<10	<10			46,1	12,2	<10	19,9

(1): Kernproben; (2): Bohrkleinproben; g: grüne Fraktion; r: rote Fraktion; nb: nicht bestimmt

Fortsetzung Tabelle X-1: Haupt- und Spurenelementkonzentrationen von Bohrkern- und Bohrkleinproben der Bohrung RWTH-1, Aachen.

Probe	1599 ⁽²⁾	1652 ⁽²⁾	1688g ⁽²⁾	1688r ⁽²⁾	1759 ⁽²⁾	1779 ⁽²⁾	1859 ⁽²⁾	1860g ⁽²⁾	1860r ⁽²⁾	1864 ⁽²⁾	1866 ⁽²⁾	1868 ⁽²⁾	1873 ⁽²⁾	1897 ⁽²⁾	1904g ⁽²⁾	1904r ⁽²⁾	1912g ⁽²⁾	52-1 ⁽¹⁾
Unterdevon																		
Teufe [m]	1684,50	1733,73	1774,00	1774,00	1844,09	1864,00	1935,15	1936,10	1936,10	1940,00	1941,90	1944,00	1949,00	1973,08	1980,15	1980,15	1987,86	2141,40
SiO ₂	64,40	62,21			65,57		60,69		59,83	57,20	60,61	67,16		63,24		62,60	64,67	62,61
TiO ₂	0,87	0,90			0,81		0,92		0,96	0,93	0,87	0,85		0,86		0,93	0,89	0,91
Al ₂ O ₃	16,92	17,89			15,57		18,72		20,21	19,09	17,29	15,87		16,39		17,72	15,93	16,74
Fe ₂ O ₃ (T)	7,39	7,20			6,25		7,85		7,71	7,80	7,52	6,09		6,30		7,90	6,41	7,61
MnO	0,21	0,29			0,21		0,21		0,16	0,23	0,22	0,11		0,16		0,13	0,19	0,08
MgO	1,54	1,51			1,89		1,73		1,76	2,29	2,38	1,94		2,42		2,14	1,91	2,83
CaO	0,42	0,01			0,50		0,02		0,05	1,05	0,86	0,01		0,69		0,40	0,55	0,33
Na ₂ O	0,58	0,65			0,94		0,59		0,66	0,68	0,73	0,76		0,98		0,72	0,96	0,60
K ₂ O	2,92	3,15			2,44		3,32		3,78	3,94	3,41	2,79		2,81		3,25	2,77	3,21
P ₂ O ₅	0,13	0,10			0,07		0,14		0,17	0,13	0,03	0,06		0,10		0,08	0,10	0,07
SO ₃	0,48	0,32			0,33		0,33		0,31	0,29	0,43	0,33		0,47		0,42	0,43	0,42
LOI	4,04	4,23			4,39		4,25		4,24	5,33	4,90	3,57		4,05		4,01	3,91	3,87
Summe	99,88	98,46			98,97		98,76		99,83	98,96	99,25	99,55		98,47		100,31	98,70	99,28
C _{org}	0,07		0,06		0,06		0,03		0,03		0,03			0,09		0,04	0,10	0,03
C _{inorg}	0,20		0,18		0,39		0,43		0,09		0,42			0,32		0,10	0,23	0,08
V	92,4	109,4	96,1	162,4	97,5	71,6	118,2	113,5	136,5	134,9	114,5	<20	60,8	110,4	115,5	111,3	97,5	114
Cr	130,6	147,3	155,9	165	152,9	200,8	141,2	129	132,6	160,8	164,9	33,5	178,2	168,4	157,6	211,6	156,2	154
Co	34,5	35,2	74,6	32,7	35,6	70,7	40,8	41,9	41,6	32,7	32,6	30,3	54,6	44,1	61	85,6	40,3	nb
Ni	59,8	67,5	72,4	85	75,5	56,8	66	70,8	72,2	85,6	81,6	73	58,5	81,3	75,7	66,8	69	90
Cu	24,4	27,2	24,7	29,8	37,9	28,2	40,4	69,1	47,3	15,9	13,9	22,4	17,8	26	31,7	21	19,4	nb
Zn	79,9	86	88,9	100,3	76,7	66,7	84,9	93,6	83,5	86,2	76,9	66,8	53,7	79,4	84,7	79,7	77,2	73
Ga	20,5	22,2	23,2	25,4	19,7	16,5	23,6	24,5	26,1	24,6	22,2	19,7	14,9	20,9	22,9	20,7	19,6	nb
As	nb	15	11,1	30,9	38	13,6	12,2	nb	nb	<10	<10	<10	10,1	16,7	<10	<10	26,9	nb
Rb	130,8	138	120	143,3	101,8	76,8	143,3	162,5	195,4	174,9	157,4	123,1	70,7	119,6	142	118,5	117,3	141
Sr	64,2	69,6	58,6	71,2	58,5	46,2	60,4	63,1	110,8	68,9	69,4	54,4	44,4	56,9	55,6	53	62,4	38
Y	33	31,9	32,6	33,4	32,2	27,6	32,2	32,3	34,2	31,1	30,8	30,8	27,5	30,5	32,6	32,9	34	nb
Zr	244,1	224,1	271,5	191,8	231,3	320,4	217,4	192,8	170,7	185,2	213,7	245,5	349,8	243,7	219,8	364,4	299	232
Nb	17,5	15,8	15,7	15,4	14,7	12,3	15,7	18,3	17,3	16,1	14,8	14	13,8	14,7	15,6	13,8	16,6	nb
Sn	2,5	2,4	<2,0	2,6	<2,0	2,0	2,9	2,9	2,9	2,6	2,5	2,3	<2,0	<2,0	2	2,5	2,1	nb
Sb	nb	<10	<10	<10	<10	<10	<10	nb	nb	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	nb
Ba	488,7	487,2	401,5	440,1	335,4	281,9	556,7	684,9	1050	656,9	554,8	409	247,6	430,1	478,7	441,2	407,8	633
La	44,1	46,1	45,3	47,9	42,4	38,7	48,6	44	50,1	46,4	43,1	39,8	36,5	45,2	46,7	43,7	45	nb
Ce	97,4	96,5	97,6	102,2	85,6	79,1	107,7	105,1	110,2	104,4	90,4	82,3	73,7	90,6	97,9	99,7	97,5	nb
Pb	nb	22,1	10,4	28,9	35,1	<10	<10	nb	nb	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	27	nb

(1): Kernproben; (2): Bohrkleinproben; g: grüne Fraktion; r: rote Fraktion; nb: nicht bestimmt

Fortsetzung Tabelle X-1: Haupt- und Spurenelementkonzentrationen von Bohrkern- und Bohrkleinproben der Bohrung RWTH-1, Aachen.

Probe	2087 ⁽²⁾	2130 ⁽²⁾	2136 ⁽²⁾	2191 ⁽²⁾	2206 ⁽²⁾	2212g ⁽²⁾	2212h ⁽²⁾	2231r ⁽²⁾	2239r ⁽²⁾	2306 ⁽²⁾	2470 ⁽²⁾	54-1 ⁽¹⁾	59-1 ⁽¹⁾
Unterdevon													
Teufe [m]	2149,24	2194,05	2200,00	2253,95	2269,17	2275,79	2275,79	2293,91	2302,03	2371,27	2536,01	2537,70	2542,00
SiO ₂	81,03	81,60	74,27	70,12	63,50			67,19		68,56	73,93	57,63	75,36
TiO ₂	0,56	0,50	0,66	0,81	0,90			0,80		0,77	0,59	0,90	0,59
Al ₂ O ₃	8,36	8,58	12,06	14,14	17,00			15,06		13,98	11,72	18,43	10,68
Fe ₂ O ₃ (T)	3,43	2,99	4,99	4,86	7,60			6,40		5,75	4,99	7,70	3,99
MnO	0,04	0,06	0,07	0,08	0,10			0,04		0,11	0,12	0,17	0,08
MgO	1,05	1,04	1,83	1,57	2,60			1,87		1,99	1,63	3,06	1,58
CaO	0,12	0,26	0,31	0,33	0,40			0,18		0,89	0,54	1,32	1,28
Na ₂ O	0,69	0,43	0,04	0,58	0,60			0,72		0,62	1,11	1,16	1,28
K ₂ O	1,29	1,38	2,16	2,39	3,20			2,81		2,40	1,62	3,10	1,42
P ₂ O ₅	0,04	0,45	0,08	0,51	<0,1			0,05		0,05	0,11	0,14	0,11
SO ₃	0,47	0,30	0,43	0,27	0,40			0,48		0,44	0,36	0,46	0,50
LOI	1,69	1,97	2,78	3,17	3,80			3,06		3,68	3,07	4,96	3,00
Summe	98,75	99,57	99,68	98,84	100,10			98,65		99,24	99,78	99,03	99,87
C _{org}	0,03	0,02	0,04		0,03			0,03	0,04	0,04	0,05	0,08	0,06
C _{hong}	0,03	0,07	0,10		0,08			0,04	0,16	0,22	0,21	0,45	0,26
V	38,2	40,1	73,2	77,6	105,2			92,6	55,7	79,5	56	120,2	52,6
Cr	157,1	168,9	166,2	183,5	160,9			180,3	198,1	146,5	149	136,6	123
Co	nb	74,4	133,1	43,4	39,2			69	100,7	57,6	37,2	42,3	48,8
Ni	40,2	45,8	63,9	63,7	89			78,6	56,4	69,1	52,3	81,5	46,2
Cu	10,6	16,4	16,7	<10	nb			<10	<10	30,4	16,3	32,7	13,1
Zn	33,2	41,5	61,2	54,6	71,3			56,5	49,9	68,7	59,7	89,4	52
Ga	9,6	10,5	18,4	17,5	21			19,4	13,7	18,8	13,6	22,8	13,4
As	nb	<10	nb	<10	nb			<10	<10	nb	11,7	25,2	13
Rb	48,6	57,5	91,3	103,4	140,6			125,1	75,2	103,8	63,6	125,9	54,4
Sr	22,6	23	29,3	39,3	42,8			41	28,5	40,4	49,1	64,4	56,6
Y	23,9	20	28,8	30,6	27,8			24,1	23,3	29,3	23,1	31,7	<20
Zr	399,1	237,9	246,6	313,3	207,8			240,4	344,6	269,6	268,3	198,4	295,1
Nb	10,2	<10	12,3	13,9	17			14	11,2	13,4	10,1	15,8	<10
Sn	nb	<2,0	nb	<2,0	nb			2	<2,0	nb	<2,0	3,8	4,2
Sb	nb	<10	nb	<10	nb			<10	<10	nb	<10	<10	<10
Ba	190,1	213,2	360,3	409,2	557			439,2	257,9	439	228,3	464,3	196,5
La	32,5	31,1	36	43	39,2			38,6	33,9	41,4	34	48,2	33,5
Ce	60,4	59	71,9	84,3	84,9			83,7	66,9	87,4	61,1	96,1	61,1
Pb	nb	<10	<10	<10	nb			<10	<10	<10	13	35,4	14,2

(1): Kernproben; (2): Bohrkleinproben; g: grüne Fraktion; r: rote Fraktion; nb: nicht bestimmt

XI Stabile Isotope (IRMS)

81 Pulverproben von Gangkarbonaten und Nebengesteinsproben wurden auf ihre Kohlenstoff- und Sauerstoffisotopenverhältnisse untersucht. Die Untersuchungen wurden an einem Micromass Isoprime Continuous Flow IRMS am Department of Earth and Atmospheric Science an der Saint Louis University, USA, durchgeführt.

Ziel dieser Untersuchungen ist es, Aussagen sowohl über die Herkunft des Kohlenstoffs und des Sauerstoffs als auch über den Charakter hydrothermaler Lösung machen zu können. Die Angaben beziehen sich bei den Kohlenstoff-Isotopenverhältnissen auf den Standard PDB (Belemniteella Americana der kretazischen Pee Dee Formation, Süd Carolina, USA). Bei den Sauerstoffisotopen wird der Standard V-SMOW (Vienna Standard Mean Ocean Water) verwendet. Die Isotopenverhältnisse, die aus den Messungen mit dem Massenspektrometer hervorgehen, werden in Form von δ -Werten (‰) angegeben.

Das Probenmaterial wurde aus den entsprechenden Gesteinen herausgebohrt. Annähernd 0,5 mg von jeder Probe wurden 2-3 Stunden vor der Messung mit H_3PO_4 bei 90°C in Lösung gebracht (Swart et al., 1991). Jeweils eine Standardmessung wurde für fünf Proben durchgeführt. Die Standards $\delta^{13}\text{C}$ (-2,33 ‰) und $\delta^{18}\text{O}$ (24,72 ‰) wurden auf SRM-NBS-19 Standards kalibriert auf 1,95 und 28,64‰ entsprechend. Die Standardabweichung vom SRM-NBS-19 Standard lag in mehreren Datensätzen von jeweils 30 Analysen zwischen 0,01 und 0,08 ‰ für $\delta^{13}\text{C}$ und zwischen 0,08 und 0,14 ‰ für $\delta^{18}\text{O}$ (1σ , $n=120$).

Tabelle XI-1: Kohlenstoff- und Sauerstoff- Isotopie von Karbonaten aus Proben des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke. Die Sauerstoff-Isotopien beziehen sich auf die Standards (PDB) und (VSMOW), die Kohlestoff-Isotopien auf den PDB-Standard. Für die graphischen Darstellungen in Kapitel 4 und 5 wurden überwiegend die (VSMOW)-standardnormalisierten Werte genutzt.

Probe	Gestein/Mineral	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$
G 1	Kalkstein	1,62	-6,41	23,67
G 1	Kalkstein	1,77	-6,59	23,49
G 1	Kalkstein	1,69	-6,46	23,53
G 1	Kalkstein	2,47	-8,95	21,01
G 1	Kalkstein	1,28	-7,80	22,22
G 1	Kalkstein	1,65	-6,44	23,40
G 1	Kalkstein	-0,32	-13,86	15,46
G 1	Kalkstein	0,90	-8,87	21,44
G 1	Kalkstein	1,22	-9,39	20,68
G 1	Kalkstein	0,90	-13,26	16,52
G 1	Kalkstein	1,15	-8,90	21,22
G 1	Kalkstein	0,86	-6,86	23,15
G 1	Kalkstein	-0,34	-8,01	21,56
G 1	Kalkstein	1,35	-8,10	21,82
HR20	Kalkstein	0,72	-7,68	22,13
HR20	Kalkstein	0,73	-10,00	19,81
HR20	Kalkstein	0,43	-9,34	20,87
HR20	Kalkstein	0,86	-9,96	20,12
HR16	Kalkstein	0,97	-8,11	21,75
HR16	Kalkstein	1,33	-9,23	20,50
HR17	Kalkstein	0,51	-11,23	18,31
HR17	Kalkstein	0,79	-11,12	18,75
HR18	Kalkstein	1,48	-10,56	19,14
HR19	Kalkstein	-0,25	-13,75	16,04
HR19	Kalkstein	1,33	-8,04	21,70
HR18	Kalkstein	0,86	-8,23	21,29
HR18	Kalkstein	0,95	-8,51	21,53
HR18	Kalkstein	0,16	-8,72	20,98
HR18	Kalkstein	0,39	-8,64	21,11
HR22	Kalkstein	0,35	-9,15	20,77
HR22	Kalkstein	1,01	-6,53	23,07
HR22	Kalkstein	1,40	-7,05	22,93
G 1	Calcitadern im Kalkstein	1,19	-6,73	23,38
G 1	Calcitadern im Kalkstein	1,79	-7,24	22,94
G 1	Calcitadern im Kalkstein	0,23	-6,71	23,67
G 1	Calcitadern im Kalkstein	2,32	-8,25	21,67
HR20	Calcitadern im Kalkstein	0,32	-9,20	20,49
HR20	Calcitadern im Kalkstein	0,57	-7,41	22,40
HR16	Calcitadern im Kalkstein	-0,42	-15,23	14,48
HR17	Calcitadern im Kalkstein	1,08	-9,76	20,06
HR18	Calcitadern im Kalkstein	-0,92	-14,06	15,70
HR19	Calcitadern im Kalkstein	-0,52	-13,37	16,05
HR19	Calcitadern im Kalkstein	-0,27	-13,20	16,42
HR19	Calcitadern im Kalkstein	-0,23	-12,57	17,16
HR18	Calcitadern im Kalkstein	-0,33	-14,06	15,68
HR22	Calcitadern im Kalkstein	0,71	-6,46	24,00
HR22	Calcitadern im Kalkstein	0,41	-6,72	23,36
HR22	Calcitadern im Kalkstein	-0,10	-10,28	19,67
HR20 (G1)	Dolomitisierte Kalkstein	1,10	-6,47	23,73
HR20	Dolomitisierte Kalkstein	1,11	-5,98	23,71
HR20	Dolomitisierte Kalkstein	0,95	-7,04	23,49
HR20	Dolomitisierte Kalkstein	1,04	-9,48	21,00
HR20	Dolomitisierte Kalkstein	0,83	-8,82	20,90

G1: Gang 1

Fortsetzung Tabelle XI-1: Kohlenstoff- und Sauerstoff- Isotopie von Karbonaten aus Proben des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke. Die Sauerstoff-Isotopien beziehen sich auf die Standards (PDB) und (VSMOW), die Kohlestoff-Isotopien auf den PDB-Standard. Für die graphischen Darstellungen in Kapitel 4 und 5 wurden überwiegend die (VSMOW)-standardnormalisierten Werte genutzt.

Probe	Gestein/Mineral	$\delta^{13}\text{C}(\text{‰})_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{PDB}}$	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})_{\text{VSMOW}}$
HR21	Kalksinter	-10,02	-5,23	24,61
HR21	Kalksinter	-10,09	-4,59	24,97
HR21	Kalksinter	-10,41	-4,76	24,78
HR21	Kalksinter	-11,14	-5,46	24,62
HR21	Kalksinter	-8,33	-4,72	25,14
HR21	Kalksinter	-10,04	-5,50	24,76
HR21	Kalksinter	-10,35	-5,21	24,92
HR21	Kalksinter	-10,53	-4,93	24,91
HR21	Kalksinter	-10,38	-5,51	24,41
HR7-HR8	Calcit (Zone 1)	-2,45	-7,88	22,11
HR7-HR8	Calcit (Zone 1)	-2,89	-7,98	21,79
HR7-HR8	Calcit (Zone 1)	-2,27	-7,43	22,65
HR7-HR8	Calcit (Zone 1)	0,17	-6,55	22,93
HR7-HR8	Calcit (Zone 1)	-4,28	-7,54	22,77
HR7-HR8	Calcit (Zone 1)	-3,22	-5,98	24,24
G 1	Calcit (Zone 1)	0,61	-8,65	20,84
G 1	Calcit (Zone 1)	1,03	-6,77	22,69
G 1	Calcit (Zone 1)	-2,29	-9,47	20,82
G 1	Calcit (Zone 1)	-2,25	-8,73	21,52
G 1	Calcit (Zone 1)	-1,11	-7,54	22,76
HR2 (G 1)	Calcit (Zone 2)	-4,41	-10,04	20,29
HR2 (G 1)	Calcit (Zone 2)	-6,36	-9,48	20,14
HR8	Calcit (Zone 2)	-5,93	-9,48	20,39
HR8	Calcit (Zone 2)	-4,62	-10,13	19,87
HR10	Calcit (Zone 2)	-5,67	-10,23	19,63
HR10	Calcit (Zone 2)	-4,33	-10,63	19,25
HR1 (G 1)	Calcit (Zone 3)	-7,52	-4,52	26,01
HR8 (G 1)	Calcit (Zone 3)	-8,70	-4,42	25,21
HR3 (G 1)	Dolomit (Zone 1)	-0,55	-6,44	24,32
HR3 (G 1)	Dolomit (Zone 1)	0,14	-6,48	24,21
HR8	Dolomit (Zone 1)	-0,36	-6,67	23,78
HR11	Dolomit (Zone 1)	-0,08	-6,53	23,93

GP1: Gang 1

XII Radiogene Isotope

Isotopengeochemischen Untersuchungen wurden für die Elemente Sr und Pb mit ihren radiogenen Isotopen ^{87}Sr bzw. ^{206}Pb , ^{207}Pb , ^{208}Pb und für Rb mit seinem radioaktiven Isotop ^{87}Rb durchgeführt. Die Messungen erfolgten an drei verschiedenen Instituten (Institut für Mineralogie, Westfälischen Wilhelms-Universität Münster; Department of Geology and Soil Science, Universität Gent, Belgien; Institut für Isotopengeologie und Mineralische Rohstoffe, ETH-Zürich) mit unterschiedlichen Geräten (Tabelle XII-1).

Ein Teil der Analysen wurde in Zusammenarbeit mit Dr. Jens Schneider von der Katholischen Universität Löwen (Department of Earth and Environmental Sciences) durchgeführt.

Tabelle XII-1: Analytische Geräte der jeweiligen durchgeführten Messungen.

	Sr-Signaturen	Pb-Signaturen	Rb-Sr Isotopie	Rb-Sr Datierung
(MC-TIMS) Finnigan Triton Münster	✓		✓	
(MC-TIMS) VG Sector 54 Münster		✓	✓	
(MC-ICP-MS) Thermo Finnigan Neptun Gent		✓		
(TIMS) Finnigan MAT262 Zürich		✓		✓

• *Probenpräparation und Mineralseparation*

Alle Proben wurden in einem ersten Schritt für die Isotopenuntersuchungen von vereinzelt vorhandenen verwitterten Anteilen befreit und anschließend mit destilliertem Wasser und Aceton gereinigt. In einem zweiten Reinigungsschritt wurden die Proben in einem Ultraschallbad behandelt.

Der überwiegende Teil der untersuchten Proben bestand aus Mineralseparaten, die aus Gängen genommen wurden (Calcit, Dolomit, Chlorit, Zinkblende, Bleiglanz, Pyrit, Markasit). Vereinzelt wurden auch Gesamtgesteinsproben benutzt (Kalkstein, Kalksinter, Siltstein, Sandstein, Toschiefer, Dolomit). Gesteinsproben, in denen einzelne Mineralfraktionen aus Gängen separiert werden sollten, wurden bei kurzen Mahlzeiten von ca. 1 Sekunde in der Scheibenschwingmühle zerkleinert. Entsprechend der Dünnschliffuntersuchungen wurden verschiedene Größenfraktionen gesiebt. Das Siebgut wurde mehrfach in Wasser gewaschen, um den an den Kornoberflächen haftenden Staubanteil zu entfernen. Anschließend wurden die einzelnen Siebfraktionen mit destilliertem Wasser und kurz in Aceton gesäubert.

Zur Mineralseparation kleiner lokalisierter Bereiche wurden diese ausgesägt und danach in einem Mörser vorsichtig zerkleinert. Aus den gewonnenen Fraktionen wurden anschließend reine Mineralfraktionen unter dem Binokular mit einer Stahlnadel

aussortiert. Diese Mineralfraktionen wurden vor dem Aufschluss mit destilliertem Wasser und anschließend mit Ethanol gewaschen.

Für die Mineralfraktionen der Zinkblende wurde überwiegend das Korngrößenintervall von 250-400µm nassgesiebt. Aus dem getrockneten Material wurden von Hand etwa 100 mg ZnS ohne erkennbare Verwachsungen und Mineraleinschlüsse unter dem Binokular ausgepickt. Für die jeweiligen Zinkblendeproben (Schalenblende) aus den untersuchten Vorkommen wurden Fraktionen der unterschiedlich zonierten Schalen separiert. Aus den Zinkblendeproben HR1, HR7 und HR10 des Steinbruchs Hastenrath wurden hellbraune-(h) und dunkelbraune-(d) Fraktionen separiert. Aus den Zinkblendeproben DIP1, DIP3, DIP4 aus Diepenlieden wurden dunkelbraune-(df), hellgelbe-(hf) und Mischfraktionen-(mf) separiert. Aus der Zinkblendeprobe ALT 4 aus Altenberg wurden dunkelbraune-(1, 3, 6) und hellgelbe-(4, 7) Fraktionen separiert. Aus der Zinkblendeprobe TH1 aus der Bohrung Thermae 2002 wurden Mischfraktionen-(1), hellbraune-(2 und 3), dunkelgelbe-(5) und dunkelbraune-(6) Fraktionen separiert.

- **Nasschemische Aufschlussverfahren**

Die nasschemische Aufbereitung inklusive der Elementabtrennung wurde im Reinraumlabor des Instituts für Mineralogie und Lagerstättenlehre der RWTH-Aachen durchgeführt. Es wurden unterschiedliche nasschemische Aufschlussverfahren für die Mineralseparate aus Gängen und die Gesamtgesteinsproben genutzt, die in den weiteren Abschnitten im Einzelnen beschrieben werden.

a) Zinkblende (für Rb-Sr Datierung)

Rb-Sr Datierungen wurden für Mississippi Valley Type Vererzungen, denen die postvariszischen Vererzungen im Untersuchungsgebiet entsprechen, wiederholt erfolgreich durchgeführt (Nakai et al., 1990; Nakai et al., 1993; Christensen et al., 1995a; Christensen et al., 1995b; Schneider et al., 1999). Dabei wird Sorge getragen, dass die Flüssigkeitseinschlüsse unter Wasser aufgebrochen werden (Fluid-Leachates) und von der nachfolgend aufzulösenden Zinkblende (Sulfid-Residuen) separiert werden. Somit können die tatsächlichen im ZnS-Kristallgitter vorhandenen Rb- und Sr- Anteile und die Rb-Sr Anteile in den Flüssigkeitseinschlüssen getrennt voneinander untersucht werden. Die einzelnen Wachstumsschalen der Zinkblenden (Schalenblenden) haben ihr unikates Rb/Sr Verhältnis der Zeit T_0 . Die crush-leach-Prozedur reduziert somit das Rb/Sr-Verhältnis dieser Proben durch das Separieren der Flüssigkeitseinschlüsse, die ein anderes Rb/Sr-Verhältnis kennzeichnet (Pettke & Diamond, 1995, 1996). Somit wird eine Mischung der Rb/Sr-Verhältnisse der Flüssigkeitseinschlüsse und der Residuumfraktionen vermieden.

Zur Befreiung von Flüssigkeitseinschlüssen wurden die Zinkblendeproben in Savillex-Schraubdeckelbechern jeweils etwa 30 min lang auf einer Heizplatte (80°C) mit 2 N HCl und anschließend mit 2N HF zur Entfernung etwaiger karbonatischer und silikatischer Verunreinigungen behandelt. Zwischen bzw. nach den Säurebehandlungen wurden sie mehrmals mit doppelt-deionisiertem Wasser (DDW) gewaschen und hernach in 5 ml-PYREX®-Glasbechern auf einer Heizplatte bei 110°C getrocknet. Die Präparate wurden nun der crush-leach-Prozedur in einem BC-Mörser unterzogen, um die Fluideinschlüsse in den Sulfiden weitgehend aus ihrem Wirtsmineral zu befreien und somit Fluid-Leachates und Sulfid-Residuen separat hinsichtlich ihres Rb-Sr-Systems analysieren zu können (vgl. z.B. Christensen et al., 1995a, b; Schneider et al., 1999). Dazu wurden die Proben jeweils im Mörser mit einigen Tropfen DDW benetzt und etwa 3 min. lang vorsichtig zermahlen. Die entstehenden Suspensionen wurden in Zentrifugenröhrchen überführt, auf ca. 2 ml Volumen mit DDW aufgefüllt und 20 min. lang bei 2500 U/min. zentrifugiert. Das überstehende Fluid-Extrakt wurde anschließend vorsichtig abpipettiert und in neue Zentrifugenröhrchen gegeben. Die zermahlenen Sulfid-Residuen wurden zwecks weiterer Reinigung von Fremdmaterial abermals mit 2N HCl versehen, danach aufgeschüttelt und erneut zentrifugiert. Die überstehenden Lösungen aus dieser Säurebehandlung, sowie aus nachfolgenden Waschungen mit DDW bis zur Neutralität und jeweils anschließendem Zentrifugieren, wurden verworfen. Auch die Fluid-Leachates wurden noch mehrmals zentrifugiert, bevor sie vorsichtig in Teflonbecher überführt und mit einem ^{84}Sr - ^{87}Rb -Mischspike versehen wurden. Die Sulfid-Residuen wurden nach dem letzten Waschgang mit DDW ebenfalls in Teflonbecher gegeben und auf der Heizplatte bei ca. 80°C getrocknet. Sie wurden anschließend in neue Savillex-Schraubdeckelbecher eingewogen, mit ^{84}Sr - ^{87}Rb -Mischspike versehen, und mit 6N HCl im geschlossenen Becher auf der Heizplatte bei ca. 100°C über mehrere Tage gelöst.

Alle Lösungen wurden hernach zur Trockene eingedampft und mit 300 µl 3N HNO₃ aufgenommen. Die naßchemische Trennung von Rb und Sr erfolgte modifiziert nach Deniel und Pin (2001) mit Eichrom Sr-Harz® (50-100 µm) auf 50 µl-Teflon-Miniatursäulen. Rb wurde mit 1250 µl 3N HNO₃, Sr anschließend mit 1 ml DDW eluiert. Die Rb-Eluate wurden zur Trockene eingedampft, mit 200 µl 4 N aufgenommen und Rb erneut über 250 µl DOWEX AG WX 12 (100-200 mesh)-Harz nach der Methode von Birck (1986) purifiziert. Zur massenspektrometrischen Isotopenanalyse wurde Sr mit 3 µl TaCl₅-HF-H₃PO₄-Emitterlösung (Birck, 1986) auf W-Einzelfilamente aufgebracht, während Rb mit 1 µl DDW auf das Evaporationsband einer Ta-Doppelfilamentanordnung geladen wurde.

b) Sr-Signaturen von Thermalwässern

Zur Bestimmung der Sr-Isotopensignaturen der Thermalwässer wurden die bereits filtrierten Proben von ~2000 ml auf einer Heizplatte mit 80 °C in mehreren Tagen eingedampft. Die Proben wurden anschließend mit 50-100 ml destillierter 2,5N HCl aufgeschlossen und wieder auf die Heizplatte zum Eindampfen gestellt. Bei allen Proben bildete sich Niederschlag, bestehend aus Halit (NaCl), Anhydrit (CaSO₄), Bassanit (Ca[SO₄]_{1/2}H₂O) und Magnesit (MgCO₃). Der resultierende Rückstand in den Proben führte zur wiederholten Behandlung der Proben mit destillierter 2,5N HCl. Der resultierende Rückstand wurde schließlich mit destillierter 6N HCl aufgenommen und einen Tag auf der Heizplatte (80°C) bei geschlossenem Deckel abgestellt. Somit konnten noch vorhandene Fluoride in Chloride umgewandelt werden. Nach dem erneuten Eindampfen der Lösung wurde der verbleibende Rückstand mit destillierter 2,5N HCl aufgenommen und mindestens einen Tag darin belassen und/oder zentrifugiert. Anschließend wurde 1 ml der Probenlösung zur Kationentrennung auf eine mit Kationenaustauscherharz (DOWEX AG W*8 200-400 mesh) bestückte Quarzglassäule aufgegeben. Als Eluationsmittel für die chromatographische Abtrennung fungierte hierzu destillierte 2,5N HCl. Die Sr-Fraktion wurde in einem zweiten Schritt auf derselben Säule nachgereinigt.

c) Sr-Signaturen von

Gangmineralen (Calcit, Dolomit, Chlorit, Anhydrit) und Gesamtgesteinsproben (Kalkstein, Kalksinter, Quellsinter)

Bei den Mineral Kornseparaten der Gangminerale wurden 20-200 mg Probe in das Aufschlussgefäß eingewogen. Der Aufschluss erfolgte für die Chlorite mit einem Gemisch aus einem Teil destillierter HF und vier Teilen destillierter 6N HNO₃. Weiterhin wurde zur Konzentrationsbestimmung eine geeignete ⁸⁷Rb-⁸⁴Sr –Mischspikelösung hinzugefügt. Das geschlossenen Gefäß wurde anschließend 24 h auf eine etwa 100 °C warme Heizplatte gestellt. Nach dem Abrauchen des Säuregemischs wurde der Rückstand mit destillierter 6 N HCl aufgenommen und auf der Heizplatte einen Tag bei 90 °C mit geschlossenem Deckel abgestellt. Calcit, Dolomit und Anhydrit wurden mit destillierter 6 N HCl aufgeschlossen und einen Tag auf die Heizplatte bei 90 °C gestellt, ebenso wurden Kalksteine, Kalksinter und Quellsinter behandelt. Ein Teil dieser Proben wurde auch mit einer Mischspikelösung versehen. Nach dem erneuten Eindampfen der Lösungen wurde der Rückstand aller Proben mit destillierter 2,5 N HCl aufgenommen. Die weiteren nasschemischen Schritte sind identisch mit denen für die Elementabtrennung der Thermalwasserproben.

Für die Chloritproben wurden sowohl Sr auch Rb für die isotopengeochemischen Untersuchungen abgefangen. Für die Mineralseparate Calcit, Dolomit und Anhydrit wurde nur Sr zwecks isotopengeochemischer Untersuchungen getrennt.

d) Rb-Sr Isotopien von**gelösten Anteilen der Gesamtgesteinsproben (Kalkstein, Siltstein, Sandstein, Sand-Siltstein, Tonschiefer, Dolomitstein)**

Ausgesuchten Gesamtgesteinsproben, die Gänge vorweisen, wurde der leicht lösliche Anteil in unmittelbarer Nähe zur Gangmineralisation mit destillierter 0,1N HCl herausgelöst. Diese Proben wurden dann für die Elementabtrennung weiterverwendet. Der unlösliche Teil der Probe wurde nicht weiterbehandelt.

Der lösliche Teil der Proben wurde für die Konzentrationsbestimmung im Aufschlussgefäß mit einer Mischspikelösung und 2-3 Tropfen (1 Tropfen ~ 10 mg) H₂O versehen. Zu dem Proben-Spike-Gemisch wurde 6N HCl zugegeben. Das geschlossene Aufschlussgefäß wurde für 24 Stunden in einer Reinluftbank auf 90°C temperiert.

Die Elementabtrennung von Rb und Sr für einen Teil der Proben der Abschnitte c) und d) erfolgte mit Eichrom Sr-Harz® (50-100µm) auf 50 µl-Teflon-Miniatursäulen. Das Trennverfahren ist jedoch differenziert im Vergleich zu dem in Abschnitt b) beschriebenen verfahren.

Nachdem die Proben eingedampft waren, wurden sie von der Heizplatte genommen und mit 1 ml 3N HNO₃ versehen. Von diesen Probenlösungen wurden 300 µl auf die mit dem Kationenaustauscherharz (Eichrom Sr-Harz®) gefüllten 50µl Säulen gegeben. Darin wurden die Elemente Rb und Sr voneinander getrennt. Als Eluationsmittel für das Rb und die anderen Elemente fungiert hierzu 300 µl destillierte 3N HNO₃. Als Eluationsmittel für die Abtrennung von Sr diente 1 ml destilliertes H₂O.

Bei den Proben der Abschnitte b), c) und d) wurde das Sr mit einer TaF₂-Lösung auf ein Wolfram-Filament geladen. Rb wurde mit destilliertem Wasser auf ein Ta-Filament geladen. Dieses Filament wurde seitlich zu einem anderen Ta-Filament gestellt, an dem bei Temperaturen von ca. 1400 °C die Ionisierung erfolgte (2-Band-Technik).

e) Pb-Signaturen (Thermalwässer, Calcit, Pyrit, Zinkblende, Quellsinter)

Die Separation und Purifikation von Pb aus Sulfiden, die dieses Element lediglich in Spurenkonzentrationen enthalten (z.B. Zinkblende), erfolgte analog der Prozedur für Sr (über Eichrom Sr-Harz), bei der Pb mit 1 ml 6N HCl unmittelbar nach Extraktion des Sr mit destilliertem Wasser eluiert werden kann. Dieses Eluat wurde anschließend noch über eine Teflonsäule mit inaktivem Eichrom Pre-Filter-Harz® gegeben, um organische Reste zu entfernen, die das Beladen der Probenträgerfilamente für die Massenspektrometrie erschweren. Die Gewinnung von Pb aus Zinkblendeproben erfolgte somit aus den gleichen Aufschlüssen, die für die Rb-Sr-Analyse verwendet worden waren, unmittelbar im Anschluss an die Sr-Separation. Aliquote einiger weiterer Proben, wie Pyrit, wurden in geschlossenen Savillex-Schraubdeckelbechern mit Königswasser über Nacht auf der Heizplatte (100°C) gelöst, zur Trockene eingedampft und anschließend mit 300 µl 3 N

HNO₃ aufgenommen. Die Thermalwasserproben wurden aufgrund der Rückstände nach dem Eindampfen erneut mit konzentrierter destillierter HNO₃ aufgeschlossen. Calcite und Quellsinter wurden mit 300 µl 3N destillierter HNO₃ aufgeschlossen. Die Abtrennung und Nachreinigung von Pb erfolgte wie oben beschrieben mit Eichrom Sr-Harz® und Pre-Filter-Harz®. Die Proben wurden mit 3 µl Silicagel-H₃PO₄-Lösung auf Re-Einzelfilamenten eingetrocknet.

f) Pb-Signaturen (Bleiglanz)

Bleiglanzproben wurden mit einer Präpariernadel aus Handstücken isoliert, saubere Einzelkörner von ca. 5-80 µg ausgepickt, gewogen und in Teflonbechern mit 1 Tropfen 8N HBr gelöst. Die Lösungen wurden eingedampft, mit 1 Tropfen 14N HNO₃ aufgenommen und erneut zur Trockene eingedampft. Die Residuen wurden in einer definierten Menge destilliertem Wasser gelöst und Aliquote mit ca. 200 ng Pb zur massenspektrometrischen Isotopenanalyse gebracht. Die Proben wurden mit 3 µl Silicagel-H₃PO₄-Lösung auf Re-Einzelfilamenten eingetrocknet.

Massenspektrometrie

Die Sr-, Rb- und Pb-Messungen erfolgten mittels Festkörper-TIMS (Finnigan MAT 262-THERMO ELECTRON TRITON-Geräte) und einem Thermo Finnigan Neptune Multikollektor Massenspektrometer (ICM-MS), im statischen Modus auf Faraday-Kollektoren. ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr- und ⁸⁴Sr/⁸⁶Sr- Isotopenverhältnisse wurden über das während der Messung als Monitor erfasste ⁸⁸Sr/⁸⁶Sr-Verhältnis gegen das natürliche ⁸⁸Sr/⁸⁶Sr-Verhältnis von 0,1194 normiert. Wiederholte Analysen des Isotopenstandards NBS SRM 987 über die Dauer dieser Studie (n=15) ergaben ein durchschnittliches ⁸⁷Sr/⁸⁶Sr-Verhältnis von 0,71026 ± 0.00001 (2σ mean). Rb wurde bei ca. 1400°C (Ionisationsfilament) gemessen und das ermittelte ⁸⁷Rb/⁸⁵Rb-Verhältnis über Vergleichsanalysen (n=12; Isotopenstandard NBS SRM 607; durchschnittliches ⁸⁵Rb/⁸⁷Rb-Verhältniss von 2,60167±0,00852 (2σ mean)) von aus ungespiketen Proben mit ähnlicher Matrix gewonnenem, natürlichem Rb (⁸⁵Rb/⁸⁷Rb=2,59265) extern für Fraktionierungseffekte korrigiert. Rb- und Sr-Konzentrationen wurden aus den gemessenen und korrigierten, durch Spikezugabe veränderten (Isotopenverdünnungsanalyse) ⁸⁷Rb/⁸⁵Rb- und ⁸⁴Sr/⁸⁶Sr-Verhältnissen berechnet.

Pb wurde bei ca. 1250°C gemessen und extern für instrumentelle Fraktionierungseffekte korrigiert. Die verwendeten, mittleren Diskriminierungsfaktoren von 0,113 ± 0,029 (2σ) %/[amu] (FINNIGAN MAT 261), 0,091 ± 0,002 (2σ) %/[amu] (THERMO ELECTRON TRITON) und 0,095 ± 0,002 (2σ) %/[amu] (Thermo Finnigan Neptune Multikollektor-ICM-MS) basieren auf insgesamt 10 Messungen des Isotopenstandards NBS SRM 981 im Verlauf dieser Studie.

Analytische Fehler und Altersberechnungen

Die interne 2 σ -(„in-run“)-Präzisionen der massenspektrometrischen Messungen von Isotopenverhältnissen lagen bei < 0.03 % für Rb, <0.007 % für Sr und <0.02 % für Pb. In die externe Fehlererfassung der Rb- und Sr-Isotopen- und Konzentrationsanalysen gehen zunächst die Unsicherheiten der Proben- und Spikeeinwaagen sowie der Spikezusammensetzung ein.

Die Rb-Sr-Messungen an Sulfiden und deren Fluid-Leachaten wurden für begleitend ermittelte Rb- und Sr-Blindwerte korrigiert, diese beliefen sich auf 10-25 pg Sr bzw. 2 pg Rb für Sulfidresiduen und 20-50 pg Sr bzw. 5-12 pg Rb für die Fluid-Leachate. Für die weiteren Proben lagen die Sr- und Rb-Blindwerte der Isotopenmessungen bei 0,01-0,3 ng und 0,08-0,4 ng jeweils. Die Reproduzierbarkeit der Rb-Sr-Isotopen- und Konzentrationsdaten wurde über regelmäßige Messungen des Isotopenstandards NBS 987 (n=15) im Zeitraum der Analysen (vgl. Thirlwall 1991) und Mehrfachbestimmungen von homogenen Proben mit ähnlichen Rb- und Sr-Konzentrationen und optimalen Spike-Probe-Verhältnissen evaluiert. Die Bestimmung des mittleren $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnisses aus den Standardmessungen erfolgte unter Einbeziehung ihrer 2 σ -Meßfehler und Gewichtsfaktoren, mit denen Unterschiede in den Messbedingungen statistisch ausgeglichen wurden. Unter Berücksichtigung aller individuellen Zufallsfehler kann für die verschiedenen Bestimmungsgrößen bei der Verwendung von Doppelspikes folgende Reproduzierbarkeit auf 2 σ -Signifikanzniveau (95-%-Vertrauensbereich) in % angegeben werden:

$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis:	0.007 %
$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis:	1.3 %
Rb-Konzentration, c(Rb) [ppm]:	1.0 %
Sr-Konzentration, c(Sr) [ppm]:	0.5 %

Alle Rb-Sr-Isotopen- und Konzentrationsdaten wurden mit ihren individuellen analytischen Unsicherheiten (2 σ) tabelliert. Analytische Fehler und Fehlerkorrelationen der Pb-Isotopenmessungen wurden nach Ludwig (2003) berechnet, die maximalen 2 σ -Fehler der korrigierten $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - und $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ -Verhältnisse belaufen sich auf 0,03 auf 0,02 und 0,18 % jeweils. Die zweifache Standardabweichung der Isotopenverhältnisse wird größtenteils durch den Fehler des Massenfraktionierungskoeffizienten σ_f beeinflusst.

Altersberechnungen nach dem Isochronenmodell erfolgten mit Hilfe der MICROSOFT EXCEL-kompatiblen Routine ISOPLOT/ Version 3.00 (Ludwig, 2003), alle Alter sind mit ihren entsprechenden 2 σ -Fehlern angegeben. Die verwendete Zerfallskonstante war $\lambda^{87}\text{Rb} = 1.42 \times 10^{-11} \text{a}^{-1}$. Die Beurteilung der Güte der linearen Regressionen erfolgte über

den MSWD-Parameter (Wendt und Carl, 1991). Es wurden - zunächst unabhängig von einer Einschätzung ihrer *geologischen* Signifikanz - nur solche Regressionen mit $MSWD < 1 + 2(2/f)^{1/2}$ und einem Konvergenzniveau (*probability of fit*) > 0.15 als *statistisch* hinreichend belegte Isochronen interpretiert.

Sr-Isotopengeochemie

Die Signaturen des leicht löslichen Anteils der Nebengesteinsproben, die indirekt an Gangmineralisationen liegen, geben Aufschluss auf die Herkunft der Fluiden Phase und die mögliche Verwandtschaft mit den benachbarten Mineralneubildungen. Dies könnte Aufschluss auf die mögliche Mobilisation von Fluiden aus dem Nebengestein in die Mineralneubildungen der Gänge geben. Hierzu ist es notwendig, eine Vergleichbarkeit der Sr-Isotopien herzustellen. Dies geschieht durch Zurückrechnung der gemessenen Sr-Isotopien der jeweiligen Nebengesteine von heute auf das wahrscheinliche Bildungsalter der Gänge. Der seit (t) Ma erfolgte Zuwachs an radiogenem ^{87}Sr wird vom heute vorhandenen ^{87}Sr nach Gleichung (1) berechnet (Faure, 1986):

$$(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{gem.}} - ((^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{gem.}} (e^{\lambda t} - 1)) = (^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_t \quad (1)$$

Darin ist $(^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr})_{\text{gem.}}$ das massenspektrometrisch ermittelte und blindwert- sowie fraktionierungskorrigierte Isotopenverhältnis. Der von diesem Wert zu subtrahierende Term entspricht dem Zuwachs an radiogenem ^{87}Sr seit der Bildung der Gänge vor (t) Ma Jahren. Für die Interpretation wird darüber hinaus ein identisches $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ -Verhältnis von Gangfüllung und zurückbleibenden Residuum vorausgesetzt. λ ($1,42 \cdot 10^{-11} \text{ a}^{-1}$) ist die Zerfallskonstante des ^{87}Rb .

Tabelle XII-1: Sr-Konzentrationen und Sr-Signaturen der rezenten Aachener und Burtscheider Thermalwässer sowie von Quellsinter und Calcit aus Aachen. *Wert ist bezogen auf den Feststoff.

Probe	Probenbezeichnung/Lokalität	Sr [mg/l]	⁸⁷ Sr / ⁸⁶ Sr	±2σ
TW1	Landesbadquelle Burtscheid Mischquelle 1	2,72	0,71616	± 0,00001
TW1b	Landesbadquelle Burtscheid Mischquelle 2	2,72	0,71616	± 0,00001
TW2	Landesbadquelle Burtscheid Vorbruch A	2,82	0,71618	±0,00001
TW3	Landesbadquelle Burtscheid Vorbruch D	2,74	0,71617	± 0,00001
TW4	Landesbadquelle Burtscheid Tiefenquelle	2,72	0,71615	± 0,00001
TW5	Rosenquelle Burtscheid	2,72	0,71613	± 0,00001
TW6	Kaiserquelle Aachen	2,57	0,71607	± 0,00001
TW7	Rosenquelle Aachen	2,46	0,71602	± 0,00001
TW9	Quellsinter Aachen (Römische Quellbäder)	6000 (ppm)*	0,71615	± 0,00001
TW10	Quellsinter Aachen (Römische Quellbäder)	6000 (ppm)*	0,71612	± 0,00001
TWD1	Sinteranwachssaum Landesbadquelle Burtscheid (Cc2)	7000 (ppm)*	0,71600	±0,00001
TWD2	Calcit Landesbadquelle Burtscheid (Cc1)	400 (ppm)*	0,71131	±0,00001

Tabelle XII-2: Pb-Isotopenzusammensetzung der untersuchten Wässer und Sinterproben aus Aachen und Burtscheid.

Probe	Probenbezeichnung/Lokalität	²⁰⁶ Pb/ ²⁰⁴ Pb	±2σ	²⁰⁷ Pb/ ²⁰⁴ Pb	±2σ	²⁰⁸ Pb/ ²⁰⁴ Pb	±2σ
TW1	Landesbadquelle Burtscheid Mischquelle 1	18,173	0,007	15,599	0,006	38,076	0,013
TW1b	Landesbadquelle Burtscheid Mischquelle 2	17,876	0,007	15,547	0,006	37,838	0,013
TW2	Landesbadquelle Burtscheid Vorbruch A	17,769	0,007	15,544	0,006	37,536	0,013
TW3	Landesbadquelle Burtscheid Vorbruch D	18,377	0,007	15,611	0,006	38,317	0,013
TW4	Landesbadquelle Burtscheid Tiefenquelle	18,356	0,007	15,608	0,006	38,321	0,013
TW5	Rosenquelle Burtscheid	17,918	0,007	15,588	0,006	37,964	0,013
TW6	Kaiserquelle Aachen	18,280	0,009	15,617	0,008	37,970	0,026
TW7	Rosenquelle Aachen	17,652	0,100	15,529	0,088	37,457	0,213
TW9	Quellsinter Aachen (Römische Quellbäder)	18,377	0,004	15,601	0,004	38,288	0,012
TW10	Quellsinter Aachen (Römische Quellbäder)	18,374	0,003	15,626	0,003	38,317	0,008

Tabelle XII-3: Sr-Signaturen und Sr-Konzentrationen der Gangkarbonate, Kalksinter und Kalksteine des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke.

Mineral/Gestein	Probe	Fraktion/Bemerkung	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	Sr [ppm]	$\pm 2\sigma$
Kalkstein	HR22	Unterkarbon	0,70817	0,00001	n.b.	n.b.
Kalkstein	HR23	Unterkarbon	0,70812	0,00001	n.b.	n.b.
Kalkstein	HR16	Unterkarbon	0,70817	0,00002	n.b.	n.b.
Calcitadern im Kalkstein	HR16	Quarzkristalle in Calcit	0,70971	0,00001	n.b.	n.b.
Calcitadern im Kalkstein	HR17	Quarzkristalle in Calcit	0,70922	0,00001	n.b.	n.b.
Calcitadern im Kalkstein	HR18	Dolomitfragmente in Calcit	0,70983	0,00001	n.b.	n.b.
Kalksinter	HR21	250-400µm	0,70893	0,00001	n.b.	n.b.
Calcit (Zone 3)	HR1	Gang 1 / 250-400µm	0,71107	0,00001	n.b.	n.b.
Calcit (Zone 3)	HR1	Gang 1 / 250-400µm	0,71417	0,00001	152,82	1,55
Calcit (Zone 3)	HR7	Gang 2 / 250-400µm	0,71397	0,00001	147,23	1,49
Calcit (Zone 3)	HR10	Gang 3 / 250-400µm	0,71300	0,00001	107,34	1,09
Calcit (Zone 2)	HR2	Gang 1 / 250-400µm	0,71408	0,00001	38,37	0,39
Calcit (Zone 2)	HR2	Gang 1 / 250-400µm	0,70857	0,00002	n.b.	n.b.
Calcit (Zone 1)	HR3	Gang 1 / 250-400µm	0,70870	0,00001	n.b.	n.b.
Calcit (Zone 1)	HR4	Gang 1 / 250-400µm	0,71405	0,00001	31,13	0,31
Calcit (Zone 1)	HR9	Gang 2 / 250-400µm	0,71414	0,00001	112,08	1,13
Dolomit (Zone 1)	HR3	Gang 1 / 250-400µm	0,71218	0,00001	14,28	0,14
Dolomit (Zone 1)	HR4	Gang 1 / 250-400µm	0,70972	0,00001	14,53	0,15

Tabelle XII-4: Pb-Signaturen der untersuchten Calcite (Zone 1-3) aus Gang 1 des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke.

Mineral	Probe	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Calcit (Zone 3)	HR1	18,405	0,006	15,631	0,006	38,429	0,016
Calcit (Zone 2)	HR2	18,406	0,006	15,635	0,006	38,420	0,016
Calcit (Zone 2)	HR2	18,409	0,006	15,633	0,006	38,414	0,016
Calcit (Zone 1)	HR3	18,400	0,006	15,631	0,006	38,416	0,016
Calcit (Zone 1)	HR4	18,405	0,006	15,630	0,006	38,384	0,016
Calcit (Zone 1)	HR5	18,409	0,006	15,631	0,006	38,429	0,016

Tabelle XII-5: Pb-Signaturen der untersuchten Bleiglanzproben aus Zone 3, Gang1, des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke.

Mineral	Probe	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Bleiglanz	HR4	18,321	0,002	15,575	0,013	38,233	0,009
Bleiglanz	HR5	18,323	0,004	15,605	0,022	38,294	0,018
Bleiglanz	HR5	18,314	0,003	15,592	0,017	38,249	0,015

Tabelle XII-6: Pb-Signaturen der Zinkblende Residuum (R) Fraktionen aus Gang 1-3 des Steinbruchs der Hastenrather Kalkwerke.

Mineral	Probe	Fraktion	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Zinkblende	HR1	(H1-2/1R) _d 250-400µm	18,399	0,002	15,623	0,003	38,370	0,010
Zinkblende	HR1	(H1-2-F-R) _h 250-400µm	18,443	0,007	15,631	0,006	38,379	0,008
Zinkblende	HR1	(H1-2/2R) _d 250-400µm	18,374	0,007	15,624	0,006	38,327	0,008
Zinkblende	HR7	(H3-3-F-R) _d 250-400µm	18,448	0,003	15,632	0,003	38,396	0,010
Zinkblende	HR7	(H3-4-F-R) _d 250-400µm	18,417	0,007	15,628	0,006	38,377	0,008
Zinkblende	HR7	(H3-4/1R) _d 250-400µm	18,402	0,007	15,627	0,006	38,319	0,008
Zinkblende	HR7	(H6R) _d 250-400µm	18,357	0,007	15,619	0,006	38,287	0,008
Zinkblende	HR7	(H7R) _h 250-400µm	18,398	0,007	15,628	0,006	38,368	0,008
Zinkblende	HR7	(H8R) _d 250-400 µm	18,373	0,007	15,622	0,006	38,329	0,008

d: dunkelbraune Fraktion

h: hellbraun-gelbe Fraktion

Tabelle XII-7: Rb-Sr Daten der Residium Zinkblendenproben (R), der Eluate aus Flüssigkeitseinschlüssen (L) in den Zinkblendeproben und einer kogenetischen Calcitprobe. Alle Proben sind aus dem Steinbruch der Hastenrather Kalkwerke.

Mineral	Probe	Fraktionsprobe	Fraktion	Bemerkung	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Rb [ppm]	Rb [ppm] $\pm 2\sigma$	Sr [ppm]	Sr [ppm] $\pm 2\sigma$
Zinkblende R	HR7	H 3-4/2 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 2	1,927	0,017	0,0004	0,00004	0,0410	0,0005	0,0616	0,0007
Zinkblende L	HR7	H 3-4/2 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 2	0,0654	0,0006	0,00003	0,00003				
Zinkblende R	HR7	H 3-4-F dunkelbraun	<125µm	Gangprofil 2	2,123	0,023	0,00007	0,00007	0,0405	0,0005	0,0553	0,0007
Zinkblende R	HR1	H 1-2/2 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 1	1,284	0,013	0,00003	0,00003	0,0281	0,0003	0,0633	0,0007
Zinkblende L	HR1	H 1-2/2 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 1	0,0461	0,0005	0,00004	0,00004				
Zinkblende R	HR7	H 3-4/1 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 2	2,074	0,016	0,00005	0,00005	0,0322	0,0003	0,0449	0,0005
Zinkblende L	HR7	H 3-4/1 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 2	0,0482	0,0006	0,00006	0,00006				
Zinkblende R	HR7	H 6 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 2	1,144	0,013	0,00002	0,00002	0,0459	0,0005	0,1163	0,0014
Zinkblende L	HR7	H 6 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 2	0,0548	0,0005	0,00003	0,00003				
Zinkblende R	HR10	H 8 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 3	1,563	0,014	0,00002	0,00002	0,0440	0,0005	0,0814	0,0009
Zinkblende L	HR10	H 8 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 3	0,0217	0,0002	0,00002	0,00002				
Zinkblende R	HR1	H 1-2/1 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 1	1,099	0,011	0,00003	0,00003	0,0415	0,0005	0,1093	0,0013
Zinkblende L	HR1	H 1-2/1 dunkelbraun	250-400µm	Gangprofil 1	0,0655	0,0010	0,00003	0,00003				
Zinkblende R	HR1	H 1-2-F hellbraun	<125µm	Gangprofil 1	0,599	0,017	0,00020	0,00020	0,0064	0,0001	0,0311	0,0011
Calcit	HR10	H9CC zone 1	250-400µm	Gangprofil 1	0,001	0,000	0,00002	0,00002			9,8130	0,0130

R: Residium

L: Fluide Einschlüsse

Tabelle XII-8: Sr-Signaturen und Sr-Konzentrationen der Gangkarbonate aus der Bohrung A, Bleiberg.

Mineral/Gestein	Probe	Teufe	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	Sr [ppm]	$\pm 2\sigma$
Dolomit	(32)BB18	213,4 m	0,71418	0,00001	174,38	1,79
Calcit	(23)BB16	222,7 m	0,71266	0,00001	29,58	0,30
Calcit	(25)BB17	207,4 m	0,71101	0,00001	69,39	0,70
Calcit	(BBG1)BB1	207,5 m	0,71330	0,00001	26,81	0,27
Calcit	(BBG1)BB2	207,5 m	0,71315	0,00001	40,00	0,40
Calcit	(BBG2)PB 1	250,5 m	0,71119	0,00001	76,71	0,22
Calcit	(BBG2)PB 2	250,5 m	0,71104	0,00001	39,54	0,34
Calcit	(BBG1)PB 3	207,5 m	0,71117	0,00001	79,68	0,65
Calcit	(25)PB 4	207,4 m	0,71086	0,00001	68,67	0,86
Calcit	(23)PB 5	222,7 m	0,71121	0,00001	34,79	0,30
Calcit	(23)PB 6	222,7 m	0,7112	0,00001	35,23	0,55
Calcit	(32)PB 7	213,4 m	0,70923	0,00001	16,43	0,40
Calcit	(25)PB 8	207,4 m	0,71038	0,00001	46,35	0,67
Calcit	(25)PB 9	207,4 m	0,71112	0,00001	100,77	0,60
Calcit	(25)PB 10	207,4 m	0,70979	0,00001	54,26	0,30

Tabelle XII-9: Sr-Signaturen und Sr-Konzentrationen der Gangkarbonate aus der Bohrung Albertsgrube (AG-1).

Mineral/Gestein	Probe	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	Sr [ppm]	$\pm 2\sigma$
Calcit	(27)ALB5	0,71451	0,00001	48,92	0,49
Calcit	(34)ALB7	0,71391	0,00001	48,36	0,49
Dolomit	(34)ALB6	0,70946	0,00001	12,51	0,13

Tabelle XII-10: Sr-Signaturen und Sr-Konzentrationen der Gangkarbonate aus dem Vorkommen Diepenlienchen.

Mineral/Gestein	Probe	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	Sr [ppm]	$\pm 2\sigma$
Calcit	DIP2	0,71457	0,00001	122,44	1,23
Calcit	DIP2	0,71342	0,00001		
Dolomit	DIP1	0,71261	0,00001	24,92	0,25
Dolomit	DIP1	0,71142	0,00001		

Tabelle XII-11: Pb-Signaturen der Bleiglanzproben aus der Bohrung A, Bleiberg.

Mineral	Probe/Fraktion	Teufe	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Bleiglanz	(BBG1)BB1.7	207,5 m	18,383	0,003	15,621	0,024	38,368	0,014
Bleiglanz	(BBG1)BB7	207,5 m	18,383	0,003	15,618	0,013	38,388	0,013
Bleiglanz	(40)BB12	290,5 m	18,375	0,003	15,601	0,015	38,345	0,012
Bleiglanz	(BBG2)BB11	270,7 m	18,340	0,002	15,588	0,011	38,258	0,012
Bleiglanz	(36)BB13	289 m	18,382	0,007	15,603	0,023	38,335	0,028
Bleiglanz	(63)BB15	291 m	18,344	0,003	15,593	0,009	38,276	0,009

Tabelle XII-12: Pb-Signaturen der Bleiglanzproben aus dem Vorkommen Diepenlienchen.

Mineral	Probe/Fraktion	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Bleiglanz	(DIP4) Dip4	18,374	0,002	15,601	0,015	38,321	0,012
Bleiglanz	(DIP4) Dip4a	18,352	0,003	15,587	0,011	38,278	0,016

Tabelle XII-13: Pb Signaturen der Bleiglanzproben aus der Bohrung Albertsgrube (AG-1).

Mineral	Probe/Fraktion	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Bleiglaz	(28)ALB10	18,351	0,002	15,581	0,011	38,251	0,010
Bleiglaz	(29)ALB11	18,365	0,003	15,592	0,011	38,311	0,012
Bleiglaz	(28)ALB12	18,361	0,029	15,593	0,125	38,298	0,081

Tabelle XII-14 Pb-Signaturen der Pyrite aus der Bohrung, Thermae 2002.

Mineral	Probe/Fraktion	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Pyrit	(BIII)TH4	18,403	0,004	15,627	0,122	38,445	0,181
Pyrit	(BIII)TH9	18,388	0,005	15,604	0,035	38,364	0,040

Tabelle XII-15: Pb-Signaturen der Residium-Zinkblendenproben aus Altenberg.

Mineral	Probe	Fraktion	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Schalenblende	ALT 4	(AB 1 R) _h – (250-400µm)	18,387	0,003	15,629	0,003	38,376	0,008
Schalenblende	ALT 4	(AB 2 R) _d – (250-400µm)	18,383	0,003	15,627	0,003	38,366	0,008
Schalenblende	ALT 4	(AB 3 R) _m – (250-400µm)	18,382	0,003	15,626	0,003	38,364	0,008
Schalenblende	ALT 4	(AB 4 R) _h – (250-400µm)	18,390	0,003	15,630	0,003	38,377	0,008
Schalenblende	ALT 4	(AB 5 R) _m – (250-400µm)	18,384	0,003	15,628	0,003	38,371	0,008
Schalenblende	ALT 4	(AB 6 R) _d – (250-400µm)	18,385	0,003	15,627	0,003	38,367	0,008
Schalenblende	ALT 4	(AB 7 R) _h – (250-400µm)	18,384	0,003	15,627	0,003	38,372	0,008

d: dunkle Fraktion

h: helle Fraktion

m: Mischung

Tabelle XII-16: Rb-Sr Daten der Residuum-Zinkblendenproben (R) und der Eluate aus Fluiden Einschlüssen (L) in den Zinkblendeproben (Vorkommen Diepenlienenchen).

Mineral	Probe	Fraktionsprobe	Fraktion	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$ [$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$]	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$ [$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$]	Rb [ppm]	Rb [ppm]	Sr [ppm]	Sr [ppm] $\pm 2\sigma$
Zinkblende R	DIP1	Dip 3 <i>mischung</i>	250-400µm	10,689	0,149	0,73072	0,00003	0,3419	0,0927
Zinkblende L	DIP1	Dip 3 <i>mischung</i>	250-400µm	0,451	0,007	0,71187	0,00005		
Zinkblende R	DIP4	Dip 9 <i>mischung</i>	250-400µm	7,782	0,081	0,72566	0,00005	0,4615	0,1719
Zinkblende L	DIP4	Dip 9 <i>mischung</i>	250-400µm	0,506	0,023	0,71072	0,00006		0,0020
Zinkblende R	DIP3	Dip 6 <i>mischung</i>	250-400µm	3,276	0,085	0,71721	0,00009	1,7939	1,5858
Zinkblende L	DIP3	Dip 6 <i>mischung</i>	250-400µm	0,251	0,001	0,71202	0,00003		0,0350
Zinkblende R	DIP3	Dip 4 <i>hellgelbe</i>	250-400µm	7,985	0,097	0,72610	0,00005	0,4800	0,1742
Zinkblende L	DIP3	Dip 4 <i>hellgelbe</i>	250-400µm	0,567	0,030	0,71150	0,00035		
Zinkblende R	DIP3	Dip 5 <i>dunkelbraun</i>	250-400µm	6,221	0,079	0,72238	0,00006	0,4985	0,2322
Zinkblende L	DIP3	Dip 5 <i>dunkelbraun</i>	250-400µm	0,708	0,008	0,71187	0,00120		0,0029

R: Residuum

L: Fluide Einschlüsse

Tabelle XII-17: Rb-Sr Daten der Residuum-Zinkblendeproben (R), der Eluate aus Flüssigkeitseinschlüssen (L) in den Zinkblendeproben und kogenetischer Markasitproben (Vorkommen Altenberg).

Mineral	Probe	Fraktionsprobe	Fraktion	$\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$ [$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$]	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$ [$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$]	Rb [ppm]	Rb [ppm] $\pm 2\sigma$	Sr [ppm]	Sr [ppm] $\pm 2\sigma$
Zinblende R	ALT 4	AB 1 dunkelbraun	250-400 μm	3,672	0,063	0,71876	0,00003	0,0421	0,0006	0,0332	0,0005
Zinkblende L	ALT 4	AB 1 dunkelbraun	250-400 μm	0,238	0,002	0,71206	0,00002				
Zinblende R	ALT 4	AB 3a dunkelbraun	250-400 μm	5,096	0,044	0,72145	0,00005	0,9935	0,0193	0,5649	0,0108
Zinkblende L	ALT 4	AB 3a dunkelbraun	250-400 μm	0,266	0,002	0,71153	0,00004				
Zinblende R	ALT 4	AB 4a hellgelb	250-400 μm	2,005	0,019	0,71554	0,00001	0,1464	0,0035	0,2114	0,0050
Zinkblende L	ALT 4	AB 4a hellgelb	250-400 μm	0,248	0,003	0,71169	0,00003				
Zinblende R	ALT 4	AB 7a hellgelb	250-400 μm	6,818	0,063	0,72492	0,00003	1,7950	0,0213	0,7630	0,0080
Zinkblende L	ALT 4	AB 7a hellgelb	250-400 μm	0,476	0,005	0,71189	0,00001				
Zinblende R	ALT 4	AB 6a dunkelbraun	250-400 μm	6,633	0,121	0,72461	0,00006	2,0433	0,0229	0,8926	0,0155
Zinkblende L	ALT 4	AB 6a dunkelbraun	250-400 μm	0,676	0,007	0,71189	0,00002				
Markasit	ALT 4	AB5	250-400 μm	0,273	0,002	0,71153	0,00005	0,0447	0,0005	0,4735	0,0055
Markasit	ALT 4	AB2	250-400 μm	0,292	0,003	0,71216	0,00002	0,0410	0,0006	0,4066	0,0054

R: Residuum

L: Fluide Einschlüsse

Tabelle XII-18: Rb-Sr Daten der Residuum-Zinkblendeproben (R) und der Eluate aus Flüssigkeitseinschlüssen (L) in den Zinkblendeproben (Thermae 2002 Bohrung).

Mineral	Probe	Fraktionsprobe	Fraktion	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr} \pm 2\sigma$	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	Rb [ppm]	Rb [ppm]	Sr [ppm]	Sr [ppm]
Zinkblende	R	TH1	TH 1 Mischung	5,874	0,059	0,72280	0,00002	0,0191	0,8174	0,0094			
Zinkblende	L	TH1	TH 1 Mischung	0,522	0,005	0,71149	0,00002						
Zinkblende	R	TH1	TH 2 hellbraun	5,555	0,051	0,72172	0,00008	0,0134	0,5970	0,0064			
Zinkblende	L	TH1	TH 2 hellbraun	0,474	0,005	0,71403	0,00005						
Zinkblende	R	TH1	TH 3 hellbraun	6,095	0,054	0,72284	0,00007	0,0176	0,7427	0,0083			
Zinkblende	L	TH1	TH 3 hellbraun	0,460	0,005	0,71275	0,00003						
Zinkblende	R	TH1	TH 5 dunkelgelb	3,950	0,036	0,71871	0,00002	0,0128	0,8388	0,0094			
Zinkblende	R	TH1	TH 6 dunkelbraun	1,844	0,015	0,71587	0,00002	0,0034	0,4802	0,0053			
Zinkblende	L	TH1	TH 6 dunkelbraun	0,177	0,002	0,71217	0,00002						

R: Residuum

L: Fluide Einschlüsse

Tabelle XII-19: Pb-Signaturen ausgewählter Pyritproben der Bohrung RWTH-1, Aachen.

Mineral	Probe/Fraktion	Teufe [m]	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$\pm 2\sigma$
Pyrit	MC112/Py2	1511,7	18,229	0,008	15,592	0,025	38,276	0,037
Pyrit	MC113/Py3	1513,3	18,254	0,012	15,591	0,040	38,288	0,081
Pyrit	MC120/Py4	1515,6	18,242	0,006	15,589	0,017	38,271	0,023

Tabelle XII-20: Rb-Sr Isotopendaten von Karbonaten, Chlorit, Anhydrit und HCl-löslichem Anteil des Nebengesteins, der Bohrung RWTH-1, Aachen.

Mineral/Gestein	Probe	Teufe [m]	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	Sr [ppm]	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}$	Rb [ppm]
Karbonate	B2	544,03	0,71107	0,00001			
Karbonate	B3	614,5	0,71145	0,00001			
Karbonate	MC10	1404,56-1404,79	0,71682	0,00001			
Karbonate	MC30	1415,07-1415,20	0,71647	0,00001			
Karbonate	MC32	1420,84-1420,95	0,71658	0,00001			
Karbonate	MC47	1437,74-1437,83	0,71680	0,00001			
Karbonate	VB1	1470,94-1470,96	0,71318	0,00001			
Karbonate	VB2	1479,10-1479,23	0,71842	0,00002			
Karbonate	VB3	1481,95-1482,10	0,70952	0,00001			
Karbonate	VB4	1504,90-1504,98	0,71602	0,00002			
Karbonate	VB4a	1504,90-1504,98	0,71834	0,00001			
Karbonate	B4	2049,94	0,72191	0,00001			
Karbonate	MC127	2137,21-2137,21	0,71831	0,00000			
Karbonate	B6	2501,16	0,71319	0,00001			
Anhydrit	A8	1409,7-1409,94	0,71433	0,00001			
Anhydrit	A1	1412,26-1412,31	0,71314	0,00001			
Chlorit	VB5	1448,41-1448,46	0,72137	0,00003	4,23	1,8816	2,75
Chlorit	VB1	1470,94-1470,96	0,71460	0,00003			
Chlorit	VB2	1479,10-1479,23	0,72628	0,00003	62,75	1,6831	36,43
Chlorit	VB3	1481,95-1482,10	0,71513	0,00004	73,93	0,0994	2,54
Chlorit	VB4	1504,90-1504,98	0,71946	0,00003	2,97	0,9703	0,99
Chlorit	VB4a	1504,90-1504,98	0,71985	0,00002	2,5	0,9129	0,77
*Nebengestein	VB5	1448,41-1448,46	0,72033	0,00002	4,06	0,0515	0,07
**Nebengestein	VB3	1481,95-1482,10	0,72036	0,00002	4,78	0,0414	0,07

* grünes Tongestein (HCl-löslicher Anteil)

** grünes Siltstein (HCl-löslicher Anteil)

Tabelle XII-21: Rb-Sr Daten des HCl-löslichen Anteils von Gesteinsproben in der Nähe von Gangmineralisationen der Bohrung RWTH-1, Aachen.

System/Stufe	Gestein	Teufe [m]	Rb [ppm]	Sr [ppm]	$^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr}_{\text{lös.}}$	$\pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{\text{lös.}}$	$\pm 2\sigma$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}_{(t)}$	$\pm 2\sigma$
Oberkarbon (Silesian)	Siltstein	544,03	0,555	53,368	0,03012	0,00042	0,71049	0,00001	0,71036 ₍₃₀₀₎	0,00002
Oberdevon (Famennian)	Dolomitstein	1415,07-1415,20	0,316	15,419	0,05933	0,00082	0,71416	0,00001	0,71390 ₍₃₀₀₎	0,00001
Unterdevon (Siegenian und Emsian)	grüner Tonschiefer	1470,94-1470,96	1,551	3,849	1,16773	0,01627	0,72073	0,00001	0,71541 ₍₂₀₀₎	0,00001
Unterdevon (Siegenian und Emsian)	roter Tonschiefer	1504,90-1504,98	1,076	2,501	1,24627	0,01731	0,72138	0,00001	0,71570 ₍₂₀₀₎	0,00002
Unterdevon (Siegenian und Emsian)	Sand-Siltstein	2049,94	0,258	0,996	0,74920	0,01045	0,72003	0,00001	0,71662 ₍₂₀₀₎	0,00001
Unterdevon (Siegenian und Emsian)	Sandstein	2501,16	0,125	7,032	0,05141	0,00072	0,71671	0,00001	0,71648 ₍₂₀₀₎	0,00003

* Signatur des leicht löslichen Anteils des Nebengesteins

** Signatur der unmittelbaren karbonatischen Gangmineralisation

Lebenslauf

Name: Maria
Nachname: Chatziliadou
Adresse: Friedrichstraße 89, 52070 Aachen
Land: Deutschland

Tel.-Nr.: +49(0)241 9290656
Mobil-Nr.: +44(0)7765295855
E-mail: chatziliadou@iml.rwth-aachen.de

Geburtsdatum: 15-10-1977
Geburtsort: Leverkusen, NRW, Deutschland
Nationalität: Griechisch, Deutsch

Beruflicher Werdegang

01.2009 – heute: Baker Hughes. Division: Baker Atlas (Geosciences). Aberdeen, United Kingdom.

11.2007 – 12.2008: RWTH-Aachen. Wissenschaftliche Hilfskraft am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre. Lehr- und Forschungsgebiet Geochemie und Mineralogie. Tätigkeit: Grob- und Feinaufbereitung. Abtrennung der relevanten Elemente im Reinraumlabor zur Bestimmung von Isotopenverhältnissen.

07.2004 - 11.2007: RWTH-Aachen. Wissenschaftliche Angestellte am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre. Lehr- und Forschungsgebiet Geochemie und Mineralogie. DFG-Projekt.

07.2002 - 03.2004: RWTH-Aachen. Studentische Hilfskraft am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre. Lehr- und Forschungsgebiet Geochemie und Mineralogie. Tätigkeit: Übungsbetreuung, Vorlesungsvorbereitung.

10.2001 - 06.2002: RWTH-Aachen. Studentische Hilfskraft am Institut für Mineralogie und Lagerstättenlehre. Labor für Geochemie und Umweltanalytik. Tätigkeit: Laborarbeit, Literaturrecherche.

08.2000 - 12.2001: RWTH-Aachen. Studentische Hilfskraft am Institut für Eisenhüttenkunde. Tätigkeit: Experimentelle Laborarbeit über Werkstoffeigenschaften.

03.1999 - 10.1999: RWTH-Aachen. Studentische Hilfskraft am Institut für Hydrogeologie und Ingenieurgeologie. Tätigkeit: Thermalquellen Pegelmessungen, Vorlesungsvorbereitungen.

Ausbildung

07.2004 - 02.2009: Promotionsstudium an der RWTH-Aachen.
Thema: Rb-Sr Alter und Sr-Pb Isotopencharakteristik von Gangmineralisationen in paläozoischen Gesteinen am Nordrand des linksrheinischen Schiefergebirges (Raum Stolberg-Aachen-Burtscheid)

09.2001 - 05.2004: Hauptstudium in Mineralogie an der RWTH-Aachen.
Diplomzeugnis: Mai 2004.

2004 Diplomarbeit: Petrographie und Geochemie akkretionärer Lapilli: Vergleich der Vorkommen des Rockeskyller Vulkankomplexes, Westeifel und des Monte Vulture, Mittelitalien.

- 04.1997 - 08.2001:** Grundstudium in Mineralogie und in Geologie an der RWTH-Aachen.
Vordiplomszeugnis: August 2001.
- 10.1995 - 03.1997:** Grundstudium in Informatik an der RWTH-Aachen.
- 09.1995:** Aufnahmeprüfung für die Griechischen Universitäten.
Studienplatz: Ingenieur-Mineralogie, Chania, Kreta, Griechenland.
- 08.1989 - 05.1995:** Griechisches Gymnasium und Lyzeum, Köln, Deutschland.
Fremdsprachen: Deutsch, Englisch.
- 08.1987 - 06.1989:** Griechische Grundschule, Düsseldorf, Deutschland.
Sechsjährige Schule (Besuch der fünften und sechsten Klasse).
- 08.1983 - 06.1987:** Ernst-Moritz-Arendt-Grundschule, Hilgen, Deutschland.
Unterrichtssprachen: Deutsch-Griechisch.

Förderung

- 12. 2007 - 11.2008** Abschlussstipendium zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses von der RWTH-Aachen. Graduiertenförderung für den Abschluss der Promotion.
- 07.2004 -11.2007** DFG-Projekt (Si810/2). Zur Förderung und Abschluss der Dissertation.

Praktika

- 10. 2004:** Isotopen Geochemisches Praktikum am Max Plank Institut, Mainz, Deutschland.
- 07.2001 - 08.2001:** Quarzwerke GmbH, Abteilung Geologie, Frechen, Deutschland.
Aufbau einer Access-Datenbank und Vorbereitung eines Geographischen Informationssystems (GIS) der Quarzsandlagerstätten Mitteleuropas.

Qualifikationen

- Analytische Kompetenz:** Massenspektrometrie (Radiogene und Stabile Isotope), Röntgendiffraktometrie, Röntgenfluoreszenzspektroskopie, Mikroskopie (Auflicht / Durchlicht), Kathodolumineszenzmikroskopie, Mikrothermometrie, Methode der Mikroanalytik (Elektronenstrahlmikrosonde).
- Bohrung:** Während der Geothermiebohrung „RWTH-1“ in Aachen, mitverantwortlich für Untersuchung der Bohrspülzusätze, Bohrkleinprobenahme, Kernansprache, Probenkatalogisierung.
- EDV:** Software: Minpet, Origin, GIS, Corel Graphics Suite, Grapher, Photoshop, MS Office. Erfahrung mit Linux.
- Sprachen:** Neu- und Altgriechisch Muttersprache, Deutsch sehr gut in Wort und Schrift (Großes Deutsches Sprachdiplom, Goethe-Istitut, München), Englisch gut in Wort und Schrift, Spanisch Grundkenntnisse.

Liste der Abstracts und Publikationen

1. Chatziliadou, M., Kramm, U.
Structure and composition of accretionary lapilli from the centre of the Westeifel volcanic field at Rockeskyll, Germany (2005) (Poster).
Bericht der Deutschen Mineralogischen Ges., Beih. z. Eur. J. Mineral. Vol. 17 (2005). No.1. DMG Tagung, Aachen 18-21. September 2005.

2. Chatziliadou, M., Sindern, S., Hilgers, C., Kramm, U.
Spurenelementverteilung in Gesteinen der RWTH-1 Bohrung, Aachen (2005) (Poster).
 Bericht der Deutschen Mineralogischen Ges., Beih. z. Eur. J. Mineral. Vol. 17 (2005). No.1. DMG
 Tagung, Aachen 18-21. September 2005.

3. Chatziliadou, M., Hilgers, C., Sindern, S.
Fracture sealing in limestones, a microstructural and mineralogical study (2006).
 11. Symposium "Tectonik, Struktur- und Kristallingeologie". Universitätsverlag Göttingen 2006. S.
 30-32. Geowissenschaftliches Zentrum der Georg-August-Universität Göttingen. 22-24 März
 2006.

4. Chatziliadou, M., Hilgers, C., Kramm, U., Lüders, V., Sindern, S., Kirschner, D.
Stabile Isotope und Flüssigkeitseinschlüsse hydrothermaler Karbonatgänge der Nordeifel, Rheinisches Schiefergebirge (RS) (2006).
 Bericht der Deutschen Mineralogischen Ges., Beih. z. Eur. J. Mineral. Vol. 18 (2006). No.1. DMG
 2006 Tagung, Hannover 25-27. September 2006.

5. Chatziliadou, M., Kramm, U.
Accretionary lapilli within the Auf Dickel lahar, Westeifel, Germany(2006) (Poster).
 Bericht der Deutschen Mineralogischen Ges., Beih. z. Eur. J. Mineral. Vol. 18 (2006). No.1. DMG
 2006 Tagung, Hannover 25-27. September 2006.

6. Chatziliadou, M., Havenith, V., Sindern, S.
Isotopengeochemische und Hydrogeochemische Untersuchungen an Quellwässern in Aachen (2007) (Poster).
 6. Aachener GEOTAG. Freitag den 15 Juni 2007. Wasser, Lokale und Globale Perspektive der
 Gewinnung und Nutzung. Eine Veranstaltung der Fachgruppe Geowissenschaften und
 Geographie der RWTH Aachen in Zusammenarbeit mit der VAG -Vereinigung Aachener
 Geowissenschaftler e.V.

7. Schneider, J., Chatziliadou, M., Sindern, S., Hilgers, C., Kramm, U.
Multiple hydrothermal flow in the NW Rhenohercynian (2007).
 Goldschmidt Conference Cologne August 2007. Abstract A900.

8. Trautwein-Bruns, U., Kukla, P., Urai, J., Sindern, S., Lögering, M., Dijkshorn, L., Lünenschloss, B.,
 Chatziliadou, M.
Aachen's Geothermal Well "RWTH-1"-The geoscientific research programm (2007). (Poster).
 67. Jahrestagung der Deutschen Geophysikalischen Gesellschaft, 26-29 März 2007, Aachen.

9. Schneider, J., Sindern, S., Hilgers, C., Beiss, V., Chatziliadou, M., Wijbrans, J., Kramm, U., Von
 Quadt, A.
Timing of mineralisation fluid flow events in the NW Rhenohercynian Belt.
 DGG-GV Tagung Aachen, 29.09-02.10.2008.

10. Sindern, S., Warnsloh, J. M., Trautwein-Bruns, U., Chatziliadou, M., Becker, S., Hilgers, C.,
 Kramm, U., Schneider, J.
Geochemical composition of sedimentary rocks and imprint of hydrothermal fluid flow at the Variscan front – an example from the RWTH-1 well (2008). ZDGG (Zeitschrift der
 Deutschen Gesellschaft für Geowissenschaften). Band 159, Heft 4.