

**Beziehung zwischen Tektonik und Zementation
in den Nördlichen Kalkalpen
und ausgewählten Gebieten im Mittel-
und Unterostalpin**

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Naturwissenschaftlich-Mathematischen Gesamtfakultät
der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg

vorgelegt von Diplom-Geologe Paul Kappler

2003

Gutachter:

Prof. Dr. Thilo Bechstädt
Priv.-Doz. Dr. Stefan Zeeh
Geologisch- Paläontologisches Institut
Universität Heidelberg

Vorwort und Danksagung

Die vorliegende Dissertation wurde in der Arbeitsgruppe Prof. Bechstädt am Geologisch-Paläontologischen Institut der Universität Heidelberg im Rahmen des Graduiertenkollegs „Einwirkung fluider Phasen auf Locker- und Festgesteine“ (Deutsche Forschungsgemeinschaft, Nr. 273) erstellt.

Danken möchte ich

Prof. Dr. Thilo Bechstädt für die Vergabe der Arbeit, seine vielfältige Unterstützung und die fortwährende Geduld bis zum „Tag der Abgabe“.

Priv.-Doz. Dr. Stefan Zeeh für die Übernahme des Korreferats und fruchtbaren Diskussionen im Gelände bzw. am (Kathoden-)Mikroskop. Seine praktischen Tips halfen bei der Lösung vielfältiger Probleme.

den ZimmergenosInnen Dr. Aiqin Geng, Li Geng, Dr. Uwe Walter, Karl Leyrer, Marjolein van Dongen, Dr. Christina Reinl, Dr. Gesine Lorenz, Zbynek Veselovsky, Michael Seeling, Dr. Elke Behr und Falko Roos sowie weiteren vielen ungenannten MitarbeiterInnen am Geologisch-Paläontologischen Institut für die zahlreichen Hilfestellungen und dem aktiven Leben einer „Scientific Community“.

dem Schleiflabor des Geologisch-Paläontologischen Instituts (Herrn Diehl und weiteren MitarbeiterInnen) und dem Schleiflabor des Mineralogischen Instituts für die Hilfe bei der Erstellung der Dünnschliffe und Flüssigkeitseinschluss-Präparate.

Herrn Will für die Hilfe bei fotografischen Arbeiten.

denjenigen, die mir bei den Geländeaufenthalten in den Alpen ein Dach über dem Kopf gewährten und mir keine (!) Steine in den Weg legten.

der Deutschen Forschungsgemeinschaft und dem Deutschen Akademischen Austauschdienst für die Bereitstellung der finanziellen Mittel bei der ersten Geländeuntersuchung.

meinen Eltern und der Familie für alle erbrachte Unterstützung.

Patricia Eberle für die geistige Unterstützung des Promotionsvorhabens vor allem gegen Ende.

Inhaltsverzeichnis

Kurzdarstellung	7
1 Einleitung	9
1.1 Zielsetzung und Überblick über die Arbeit	9
1.2 Lage des Arbeitsgebiets und geographische Begriffsklärung	10
1.3 Geologischer Rahmen	11
1.3.1 Sedimentabfolge	11
1.3.2 Tektonische Entwicklung	13
1.3.2.1 Störungsanalyse und Datierungsmethoden	13
1.3.2.2 Bekannte Störungen und Deformationsgeschichte	14
1.4 Zementstratigraphie	15
1.4.1 Klarer Satteldolomit (KSD)	16
1.4.2 Zonierter calcitischer Blockzement (ZCB)	17
1.4.3 Wolkiger Satteldolomit (WSD)	17
1.4.4 Calcitischer Blockzement post-Korrosion (PKCB)	17
1.4.5 Einheitlicher calcitischer Blockzement (ECB)	17
1.4.6 Nicht-karbonatische und frühdiagenetische Zementation	17
2 Methodik	18
2.1 Verwendete geologische Karten	18
2.2 KL, Anfärbung, UV-Licht	18
2.3 Spurenelemente	19
2.4 Flüssigkeitseinschlüsse	19
3 Beobachtungen	20
3.1 Kartierung	20
3.1.1 Kartierung am Achensee	20
3.1.2 Kartierung am Gaichtpass	20
3.2 Zementbeschreibung	21
3.2.1 KSD	21
3.2.2 ZCB	21
3.2.3 WSD	21
3.2.4 PKCB	21
3.2.5 ECB	21
3.2.6 Frühdiagenetische, meteorische und nicht-karbonatische Zemente	21
3.3 Zementverteilungen in den einzelnen Kluft- bzw. Störungsrichtungen	22
3.3.1 N-streichende Blattverschiebungen	22
3.3.2 WNW-streichende Blattverschiebungen	22
3.3.3 NE-streichende Blattverschiebungen	23
3.3.4 Anders streichende Blattverschiebungen und Überschiebungen	23
3.3.5 Klüfte assoziiert mit der Inntal-, der Lechtal- und der Krabachjoch-Überschiebung	23
3.3.6 Klüfte parallel zu E-streichenden Kleinfalten	23
3.3.7 Abschiebungen	23
3.3.8 Klüfte parallel zur Schichtung	24

3.3.9	Beobachtungen an den Lokalitäten Tarntaler Köpfe (Mittelostalpin) und Livigno (Unterostalpin)	24
3.3.10	Unorientierte Klüfte	24
3.4	Haupt-, Neben- und Spurenelemente	24
3.4.1	Haupt- und Nebenelemente der Zementabfolge	24
3.4.2	Spurenelementuntersuchungen im Schnöllbruch (Adnet)	26
3.5	Flüssigkeitseinschlüsse aus der Schnöll-Abschiebung (Adnet)	26
4	Interpretation und Diskussion	31
4.1	Schnittbeziehungen und Altersabfolgen der Zemente	31
4.1.1	Vorkommen der Zemente in den einzelnen Störungssets und das daraus abgeleitete Alter	31
4.1.1.1	Das Alter der N- und WNW-streichenden Blattverschiebungen	31
4.1.1.2	Das Alter der E-streichenden (Klein-)Falten und der NE-streichenden Blattverschiebungen	32
4.1.1.3	Das Alter der Lechtal- und der Inntal-Überschiebung	33
4.1.1.4	Das Alter der Abschiebungen	33
4.1.1.5	Das Alter von anderen Blattverschiebungen und Falten	33
4.1.2	Ausbildung der Zemente	34
4.1.2.1	Fibröses Kristallwachstum	34
4.1.2.2	Dedolomitisierung und Zwillingslamellen	35
4.2	Die Spurenelemente und das Alter des Subtyp II und III des KSD	36
4.3	Alter der Zemente	38
4.4	Fluideinschlüsse der Schnöll-Abschiebung	38
5	Zusammenfassung	40
6	Literatur	43
7	Anhang	47
7.1	Verwendete Abkürzungen	47
7.2	Verwendetes Kartenmaterial	47
7.2.1	Straßenkarten	47
7.2.2	Topographische Karten	47
7.3	Tabellen	48
7.4	Lokalitätsbeschreibungen	51
7.4.1	N-streichende Blattverschiebungen	51
7.4.2	WNW-streichende Blattverschiebungen	51
7.4.3	NE-streichende Blattverschiebungen	53
7.4.4	Anders streichende Blattverschiebungen und Überschiebungen	54
7.4.5	Klüfte assoziiert mit der Inntal-, der Lechtal- und der Krabachjoch-Überschiebung	55
7.4.6	Klüfte parallel zu E-streichenden Kleinfalten	55
7.4.7	Abschiebungen	56
7.4.8	Klüfte parallel zur Schichtung	56
7.4.9	Beobachtungen an den Lokalitäten Tarntaler Köpfe (Mittelostalpin) und Livigno (Unterostalpin)	56
7.4.10	Weitere Klüfte	57
7.5	Fototafeln	58

Kurzdarstellung

Untersuchungen von Karbonatzementen in tektonischen Störungen sowie assoziierten Klüften in den Nördlichen Kalkalpen und im Mittel- und Unterostalpin geben Auskunft über die zeitliche Einordnung von tektonischen Bewegungen und Zementation im Zeitraum Trias bis Miozän. Grundlage ist eine Zementationsabfolge in den Ost- bzw. Südalpen mit zwei Satteldolomitzementen und drei Blockcalcitcementen, die alle jeweils überregional auftreten und damit auf einen einheitlichen Porenwasserstrom über große Distanzen weisen. Die Einteilung in eine erste Zementationsphase mit der Abscheidung eines ersten Satteldolomits (mit fünf Subtypen) ab der oberen Trias bis in die Kreide und eine zweite Zementationsphase mit der Ausbildung aller restlichen Zemente im Miozän (Zonierter calcitischer Blockzement, Wolkiger Satteldolomit, Calcitischer Blockzement post-Korrosion, Einheitlicher calcitischer Blockzement) konnte mehrfach bestätigt werden. Vielfältige Arbeiten zu tektonischen Fragestellungen ergaben bereits Kenntnis über drei große tektonische Spannungsregime: 1. Ein extensionales Spannungsregime ab der Trias welches zur Beckenbildung führte, 2. ein kompressives Spannungsregime am Ende der Unteren Kreide mit Deckenbildungsprozessen bzw. Faltung und 3. wieder ein extensionales Spannungsregime ab dem Miozän postkollisional mit gravitativem Zergleiten des Orogens. Resultierend aus der regionalen tektonischen Geschichte treten in den Nördlichen Kalkalpen neben einigen lokal variierenden Störungsrichtungen besonders drei Blattverschiebungssets hervor, die sich heute auch bei morphologischen Prozessen (Talverläufe, -bildung) bemerkbar machen: 1. WNW-streichende Blattverschiebungen mit dextralem Bewegungssinn, 2. NE-streichende Blattverschiebungen mit sinistralen Bewegungssinn und 3. N-streichende Blattverschiebungen.

Die Probennahme erstreckte sich zusätzlich zu den drei wichtigen Blattverschiebungssets auch auf Abschiebungen, (Decken-)Überschiebungen und faltenachsenparallele Klüfte. Neben den später als Abschiebung benutzten älteren Störungen sind früh gebildete Ab-

schiebungen aus dem ersten großen Spannungsregime nur extrem selten im Gelände anzutreffen. Eine Ausnahme bildet der Schnöllbruch bei Adnet (Salzburger Land), wo eine frisch angeschnittene synsedimentäre Abschiebung aus dem Jura auftritt (Schnöll-Abschiebung), deren Probenmaterial neben den klassischen zementpetrographischen Untersuchungsmethoden unter dem Kathodenstrahl und anderen Lichtquellen auch mit Hilfe von Spurenelementuntersuchungen und Messung von Flüssigkeitseinschlüssen charakterisiert wurde.

Der klare Satteldolomit aus der ersten Zementationsphase und der zonierte calcitische Blockzement aus der zweiten Zementationsphase wurden in den N-streichenden Blattverschiebungen und in den Abschiebungen beobachtet und ein minimales Bildungsalter dieser Störungen mit unterem Jura ermittelt. Die NE-streichenden sinistralen Blattverschiebungen und Klüfte welche subparallel zur C-Achse von E-streichenden Falten gebildet wurden enthalten alle Zemente der zweiten Zementationsphase, also den zonierten calcitischen Blockzement und jüngere Zemente und haben demnach mindestens miozänes Entstehungsalter. Die WNW-streichenden, dextralen Blattverschiebungen enthalten alle Zemente vom klaren Satteldolomit bis zum einheitlichen calcitischen Blockzement und wurden demnach spätestens im unteren Jura angelegt. Eine Probe enthielt sogar einen noch vor dem klaren Satteldolomit gebildeten frühen radial fibrösen Zement, so dass auch die Trias als Entstehungszeit in Frage kommen kann. In Proben aus Klüften die mit den Deckenüberschiebungen assoziiert sind, waren Relikte eines Satteldolomits und der zonierte calcitische Blockzement feststellbar. Das Vorkommen eines Satteldolomits in diesen Deckenüberschiebungen wird hier als Reaktivierung von bereits ersten Satteldolomit enthaltenden Störungen als Überschiebungen oder als Neuanlage der Deckenüberschiebungen in der Kreide diskutiert. Alle Störungen in denen Zemente sowohl der ersten wie auch der zweiten Zementationsphase auftreten werden als reaktiviert eingestuft. Ein Vergleich von fibrösem mit isometrischem Kristallwachstum beim zonierten calcitischen Blockzement führt zu einem Modell eines konjugierten Scherpaars von den

NE-streichenden und den WNW-streichenden Blattverschiebungen im Miozän mit größeren Versatzbeträgen an den NE-streichenden Blattverschiebungen.

Das Entstehungsalter der fünf Subtypen des klaren Satteldolomits ist einzeln zeitlich schwer einzugrenzen. Für den Subtyp II kann im Schnöllbruch ein Alter prä- bis syn-Spätes Hettang und für den Subtyp III ein Alter syn- bis post-Spätes Hettang angenommen werden. Dies ergibt sich aus Untersuchungen an 1. einer Pyritzone innerhalb der Zemente aus der Schnöll-Abschiebung, 2. einer Fe-Mn-Kruste, welche zwischen Schnöll Formation und darüberliegender Adnet Formation (Sinemur bis Toarc) liegt (=Marmorea-Kruste) und 3. einer hier nicht gemessenen Chloritzone, die andernorts zwischen Subtyp II und III auftritt. Es wird ein Modell mit gleichem Ausgangsfluid für alle drei nicht-karbonatischen Zonen zugrunde gelegt, wo verschiedene Zementfällungsniveaus auch eine verschiedene mineralische Zusammensetzung ergeben (Temperatur-Tiefen-Zonierung). So können

Pyrit, das Hauptmineral der Pyritzone, und Fe-Mn Minerale, die in der Marmorea-Kruste angetroffen werden, in geringerer Tiefe gebildet werden. Clinochlorit aus der Chloritzone wird in grösserer Tiefe präzipitiert. Die Korrelationskoeffizienten von Spurenelementsignaturen aller drei nicht-karbonatischen Zonen liegen bei 0,93 und darüber.

$T_{(h)}$ -Werte von Flüssigkeitseinschlüssen im zonierten calcitischen Blockzement aus der Schnöll-Abschiebung lagen schwerpunktmässig bei 150 bis 170 °C. Die restlichen $T_{(h)}$ -Werte schwankten zwischen 233 und 108 °C. Die Schmelztemperaturen lagen zwischen 3,6 bis -12,3 °C. Aus einem Plot „ $T_{(h)}$ gegen $T_{(m,ice)}$ “ wird ein Modell mit Zufluss verschiedenen salinärer Fluide (=Umstellung von klarem Satteldolomit auf zonierten calcitischen Blockzement bei einem Fluidzufluss) und nachträglicher Volumenveränderung der Einschlüsse im Zuge einer Reaktivierung der Schnöll-Abschiebung zusammen mit NE-streichenden Blattverschiebungen diskutiert.

1 Einleitung

Eine Vielzahl von Publikationen beschäftigt sich mit den Zusammenhängen zwischen Fluid Flow und Tektonik (z.B. DOROBK 1988, SAMPLE 1990, BETHKE & MARSHAK 1990). Dabei sind prinzipielle Mechanismen wie rheologisches Verhalten, hydraulische Bruchbildung oder seismisches Pumpen (z.B. PARNELL 1994, SIBSON 1993) weitestgehend bekannt und auch im Labormaßstab ausgiebig untersucht. Wir wissen daher heute sowohl von großmaßstäblicher Migration (z.B. BEHR et al. 1993, BETHKE & MARSHAK 1990) als auch mikroskopischen Transportprozessen (KNIPE 1992). Die Frage nach der zeitlichen Einordnung des Fluid Flow ist hier von besonderer Bedeutung, gibt sie doch weitere Aufschlüsse über eine zu erwartende räumliche Verteilung gefällter Lösungsinhalte. Im Hinblick auf die Befriedigung der ständigen Nachfrage nach natürlichen Rohstoffen und der verantwortungsvollen Entsorgung von Endprodukten spielt das integrale Verständnis des Fluid Flow eine immer größere Rolle. Die mit dieser Dissertation erstellten Datensätze erlauben es die Zusammenhänge zwischen Zementationgeschichte und tektonischer Entwicklung eines Orogens zu verstehen.

1.1 Zielsetzung und Überblick über die Arbeit

Die wesentliche Basis für die vorliegende Arbeit ist eine Zementstratigraphie von Karbonaten für die Ostalpen und Südalpen, die von der Arbeitsgruppe Bechstädt zuerst an der Universität Freiburg und später an der Universität Heidelberg erarbeitet wurde (vgl. ZEEH 1990, WALTER 1999). Dabei zeigte sich in vielen Einzelstudien eine kohärente Zementationgeschichte mit zwei Satteldolomitcementen und drei Blockcalcitcementen, die alle eine überregionale Verbreitung aufweisen und damit einen über große Distanzen einheitlichen Porenwasserstrom belegen. Weitere Untersuchungsschwerpunkte beschäftigten sich mit der Pb-Zn-Vererzung in Zusammenhang mit der Abscheidung des ersten Satteldolomits (vgl. KUHLEMANN et al. 1993, ZEEH & BECHSTÄDT 1994, ZEEH et al.

1999), Isotopenuntersuchungen zur Bestimmung der Herkunft der Wässer, Flüssigkeitseinschlüssen zur Ermittlung von Bildungstemperaturen, Spurenelementuntersuchungen und anderen geochemischen Methoden (ZEEH et al. 1997, WALTER 1999). Das Bildungsalter der Zemente wurde soweit möglich mit der stratigraphischen Reichweite, d.h. dem Auftreten bis zu/ab einem bestimmten stratigraphischen Horizont, bestimmt.

Bisher war zwar das Vorkommen von Zementen in Klüften und Störungen in den Ostalpen und Südalpen beobachtet worden, es fehlte aber eine systematische Untersuchung über die Korrelation von Zementvorkommen und Störungsrichtung/-typ. Die moderne Literatur über tektonische Ereignisse in den Ostalpen und speziell in den Nördlichen Kalkalpen (RATSCHBACHER et al. 1991, EISBACHER et al. 1990, FRISCH et al. 1998) kennt eine Vielzahl von regional bedeutsamen Störungsrichtungen, die aus drei großen tektonischen Spannungsregimen hervorgingen: 1. Ein extensionales Spannungsregime ab der Trias (BRANDNER 1984, EBERLI 1987), 2. ein kompressives Spannungsregime am Ende der Unteren Kreide (EISBACHER et al. 1990) und 3. wieder ein extensionales Spannungsregime ab dem Miozän (FRISCH et al. 1998).

Die Arbeitshypothese war am Anfang klufftgebundene Zemente zu beproben, dabei die Streichrichtung festzustellen und das nähere Umfeld stratigraphisch-tektonisch zu kartieren, um die Zuordnung zu einem übergeordneten Störungssystem festzulegen. Mit mikroskopischen Untersuchungsmethoden sollten dann die einzelnen Zementgenerationen ermittelt werden und eine Systematik zwischen Klufftfüllung bzw. Zementationsabfolge und Streichrichtung abgeleitet werden. Nach der ersten Beprobungsphase stellte sich heraus, dass Klüfte mit einer Öffnungsweite kleiner 0,5 mm ungeeignet waren, um eine eindeutige Zementzuordnung vorzunehmen. Später wurden dann hauptsächlich die Störungen und untergeordnet dazu subparallel verlaufende Klüfte bzw. Störungen mit minimalem Versatzbetrag zum wichtigsten Untersuchungsobjekt, und es entwickelte sich in drei weiteren Beprobungsphasen eine regelrechte „Suche“ nach Blattverschiebungen, Abschiebungen und Überschiebungen. Der ur-

sprüngliche Ansatz der regionalen Kartierung der Störungssysteme wurde zugunsten der zweifelsfreien Zuordnung zu einem bekannten Störungssystem (Streichrichtung und Störungstyp) und der stratigraphischen Position des Beprobungspunkts fallengelassen.

1.2 Lage des Arbeitsgebiets und geographische Begriffsklärung

Das Arbeitsgebiet liegt im Westen Österreichs (Vorarlberg, Tirol, Salzburger Land), dem Süden Bayerns und in Norditalien (Gebiet um Livigno). Es erstreckt sich in E-W-Richtung auf einer Länge von ca. 250 km. Im Westen hat es eine N-S-Ausdehnung von ca. 125 km, im Osten beträgt diese ca. 50 km. Im Arbeitsgebiet wurden 16 Probengebiete untersucht, die auf Abbildung 1 (Abb.) abgebildet sind. Während 14 der untersuchten Gebiete im westlichen Bereich der Nördlichen Kalkalpen bzw. im Oberostalpin liegen, befinden sich die Probengebiete „Tarntaler Köpfe“ und „Livigno“ südlich davon im Mittel- bzw. Unterostalpin.

Für die Alpen haben sich für Ortsbezeichnungen, geologische Großeinheiten und stratigraphische Formationen aufgrund lokaler, regionaler und historischer Gründe eine Vielzahl von unterschiedlichen Begriffen etabliert, die auch heute noch kontrovers diskutiert werden. Die Alpen werden gemeinhin in Ostalpen, Südalpen und Westalpen unterschieden (TOLLMANN 1977). Die Trennungslinie der Ostalpen von den Südalpen ist das Periadriatische Lineament. Der größte Teil der Schweizer Alpen und der Französisch-Italienischen Alpen wird in dieser Arbeit als Westalpen bezeichnet (vgl. BÖGEL & SCHMIDT 1976). Der Begriff Zentralalpen wird hier nur in Verbindung mit den Ostalpen verwendet und steht für den morphologisch höchsten Teil bzw. den Zentralbereich der Ostalpen, wie beispielsweise das Tauern-Fenster. Die Ostalpen umfassen geologisch gesehen die Einheiten des Ostalpins, des Helvetikums, der Flysch-Zone und weitere den Nördlichen Kalkalpen nördlich vorgelagerte Einheiten. Das Ostalpin ist nach TOLLMANN (1977) weiter untergliedert in das Unter-, Mittel- und Oberostalpin, wobei das Oberostalpin im Norden die Nörd-

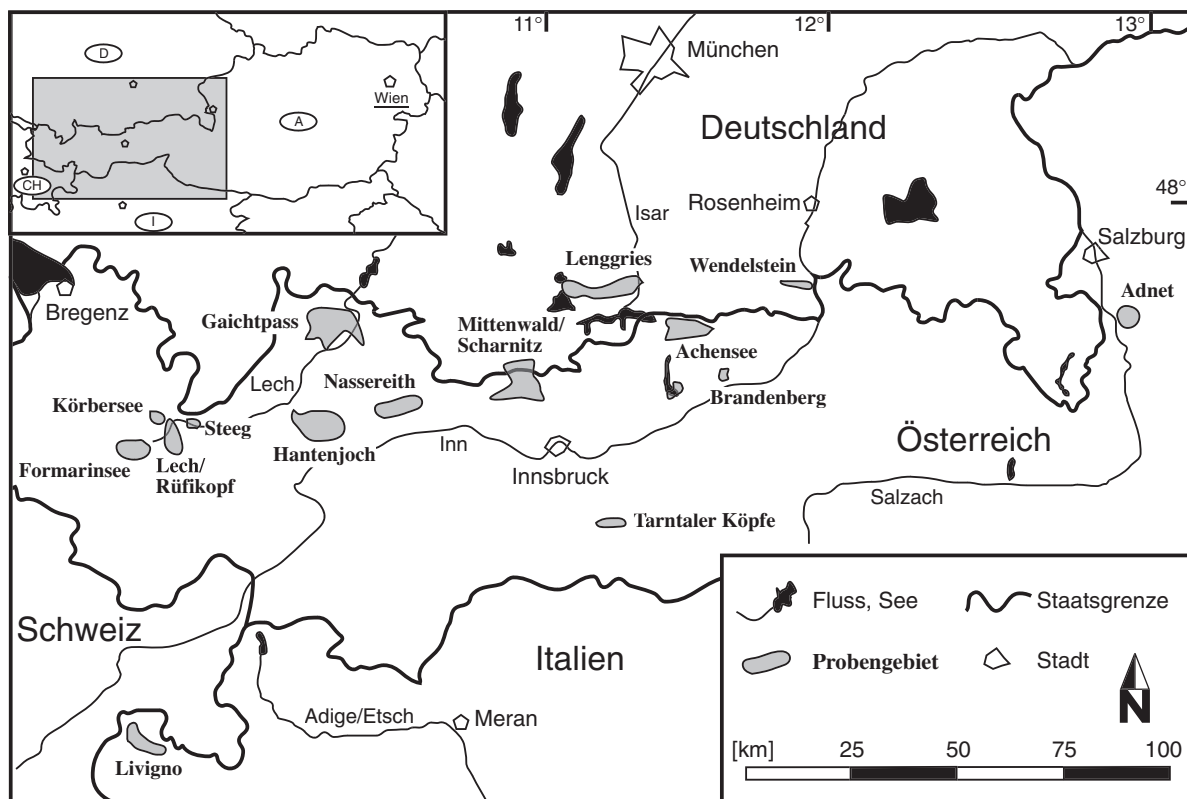


Abbildung 1 Lage der 16 Probennahmegebiete in Deutschland, Österreich und Italien.

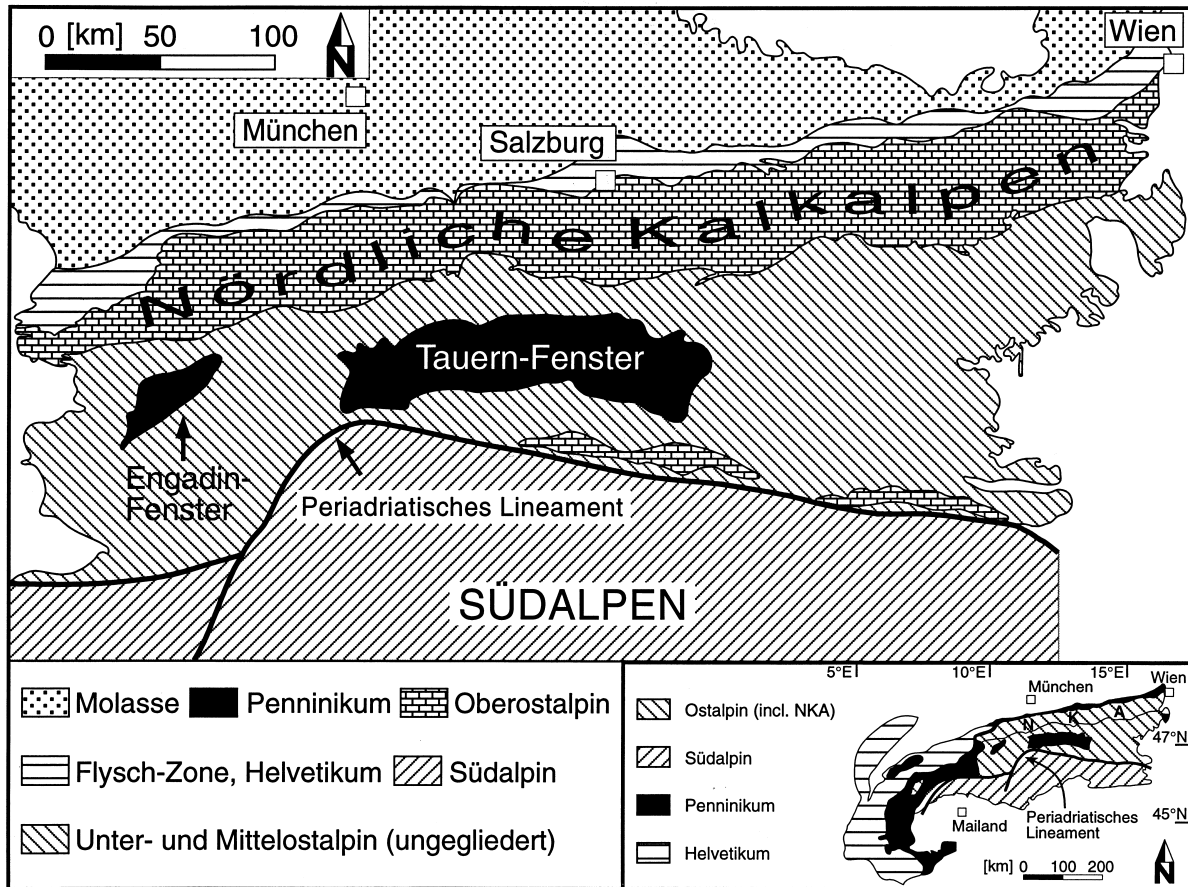


Abbildung 2 Überblick über die geologische Lage der Nördlichen Kalkalpen als Teil des Ostalpins. In der kleinen Überblickszeichnung wurden nördlich den NKA vorgelagerte Anteile von Helvetikum nicht extra ausgewiesen und die Flysch-Zone dem Penninikum zugeordnet.

lichen Kalkalpen (NKA) inkorporiert (siehe dazu Abb. 2).

entralrand zuerst Gesteine des Helvetikums ab und im Tertiär darüber die der Molasse.

1.3 Geologischer Rahmen

Die Sedimentgesteine des Arbeitsgebietes wurden mit dem Zerfall des Super-Kontinents Pangäa am Westrand der sich großräumig von Südosten her öffnenden Tethys abgelagert. Die zeitlich das Perm bis Tertiär umfassenden und räumlich differenzierten Ablagerungsräume werden in die vier Großeinheiten Ostalpin, Penninikum, Helvetikum und Molasse eingeteilt. Am Nordrand der adriatischen Mikroplatte, eines zum Südkontinent Gondwana gehörenden Sporns, wird in der Trias das Ostalpin gebildet. Nördlich davon befindet sich der Ablagerungsraum des Penninikums, der die Flyschzone enthält. Ganz im Norden und am Südrand der eurasischen Platte gelegen lagern sich an einem Konti-

1.3.1 Sedimentabfolge

Die kristalline Basis für die Alpen bilden variszische Einheiten, deren klastische Aufarbeitungsprodukte die Basis für die Sedimentabfolge in den NKA bilden. Das Arbeitsgebiet umfasst Gesteine mit einem Alter vom Perm bis Tertiär mit einem Hiatus in der Oberkreide und einem Hiatus im Paläogen. Wie in Abb. 3 ersichtlich, überwiegen vom Perm bis in die Untere Trias Siliziklastika, welche den Sedimentationsbeginn an einem gesicherten passiven Kontinentalrand am Nordwestrand der Tethys markieren. Differentielles Absinken des Untergrunds führt zu starken Mächtigkeitsschwankungen innerhalb einzelner Formationen, so weist z.B. die Reichenhall Formation Mächtigungsänderungen mit dem

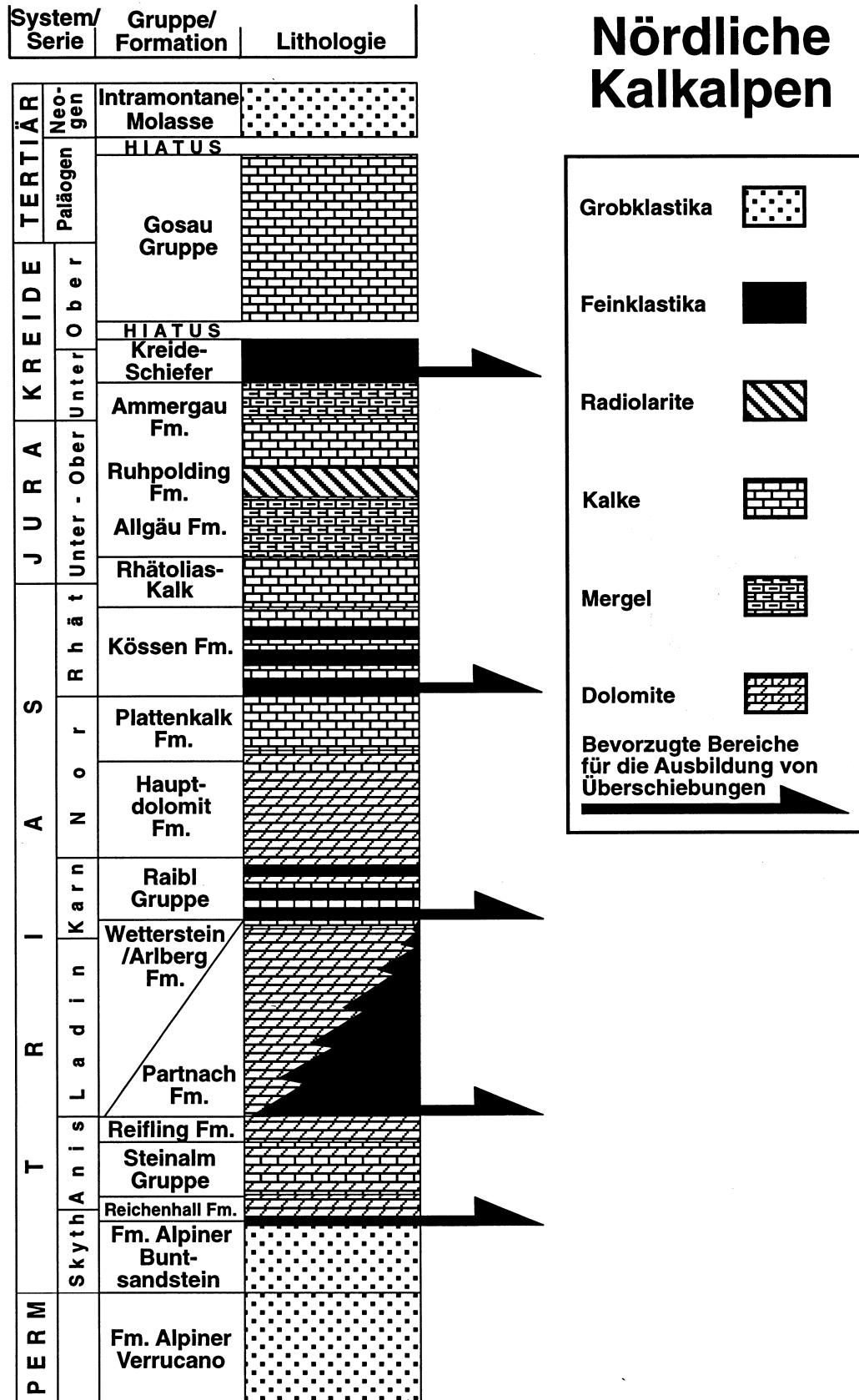


Abbildung 3 Schichtenfolge für den Bereich der Nördlichen Kalkalpen. Die Begriffe „Rhätolias-Kalk“ und „Kreide-Schiefer“ können regional verschiedene Formationen z.B. Schnöll Formation, Adnet Formation und „Neokom-Mergel“ enthalten. Die Überschiebungspfeile markieren die wichtigsten Bereiche für die Ausbildung von Überschiebungen (Flachbahnen).

Faktor 10 und mehr auf (BRANDNER 1984). Mächtige Rutschbreccienhorizonte und das Vorkommen von Vulkaniten sind ein weiteres Indiz für Extension mit Graben-Tektonik. Mit der Reiflinger Wende (SCHLAGER & SCHÖLLNBERGER 1974) etwa ab der Grenze Anis/Ladin folgen in der Trias flachmarine, zum Teil tausend Meter und mehr mächtige, karbonatische Formationen mit Becken-, Riff- bzw. Lagunen-Fazies und lateral sowie horizontal verzahnten klastischen Beckensedimenten. Zeitweise werden die Sedimentationsräume morphologisch ausgeglichen, die Rifffazies wächst über die Beckenfazies und schließt großteils die Partnach-Beckenentwicklung ab (BECHSTÄDT et al. 1978). RÜFFER & ZÜHLKE (1995) zeigen in ihren Untersuchungen, dass die südalpinen Karbonatgesteine zwar einer progressiv zunehmenden tektonischen Subsidenz unterliegen, die Karbonatplattformen der westlichen NKA aber nur ein einziges tektonisch induziertes Signal am Ende des Ladins inkorporieren.

Durch eine weitere dramatische Beckenvertiefung ertrinken mit der Adneter Wende (SCHLAGER & SCHÖLLNBERGER 1974) die ostalpinen Karbonatplattformen und es folgt im Jura eine Tiefwasserfazies mit Tiefwasserkarbonaten, Mergeln, Radiolariten und Feinklastika. Während das Austroalpin in der Trias noch an einem SE-abfallenden Beckenrand lag, liegt es im Jura an einem NW-abfallenden Beckenrand (LEMOINE & TRÜMPY 1987). In der Kreide führt das Nähern von Subduktionszonen zur Sedimentation lokal stark variierender synorogener Feinklastika (z.B. Olisthostrome, LEISS 1992) sowie Karbonaten und zur Erosion an flachen Nord-Schenkeln bzw. steileren Süd-Schenkeln von Synklinalen und Flexuren. Mit Untersuchungen an synorogenen Sandsteinen in subduktionsparallelen Ablagerungsräumen belegen EYNATTEN & GAUPP (1999) einen Sedimenteintrag sowohl vom dem nordwestlich gelegenen Unterostalpin und der transpressiven Plattengrenze zum Penninischen Ozean, als auch aus dem südlich positionierten Südalpin und der Vardar-Meliata Suture. Am Top der Sedimentabfolge dominieren intramontane Grobklastika, welche an tertiäre Pull-apart-Becken, antithetischen Flexuren und negative Blumenstrukturen gebunden sind und damit einen Teil des Abtragungsschutt aus den

Alpen ins Vorland (Molasse) zurückhalten (FRISCH et al. 1998).

1.3.2 Tektonische Entwicklung

Die tektonisch-strukturelle Interpretation geologischer Daten aus den Nördlichen Kalkalpen offenbart eine ambivalente Situation: während tektonische Prozesse die ab der Kreide und besonders im Tertiär abliefen schon recht umfangreich untersucht sind, konnten die präkretazischen und ganz besonders die frühen, also triassischen tektonischen Vorgänge bisher nur ansatzweise erforscht und datiert werden. Der maßgebliche Grund hierfür ist, dass früh angelegte Störungen später von der Alpenorogenese erfasst und überprägt wurden und damit eine frühe Aktivität nur schwer zu beweisen ist. In den folgenden zwei Abschnitten werden die Datierungsmethoden angesprochen und über den Stand der bisher bekannten Störungssysteme berichtet.

1.3.2.1 Störungsanalyse und Datierungsmethoden

Für die Existenz und eine Datierung von Störungen und tektonischen Bewegungen bzw. Deformation in Sedimentgesteinen bietet sich sehr häufig die indirekte Methode der stratigraphischen Reichweite an, d.h. aus dem horizontalen oder vertikalen Versatz von Schichtgrenzen und anderen geologischen Markern werden Störungen interpretiert und können mit einem Maximalalter oder Minimalalter der jeweils erfassten Einheiten belegt werden. Das Deformationsalter ergibt sich aus dem Alter der maximal oder minimal von einer Deformation (z.B. Faltenbildung) erfassten Formation. Bisweilen werden palinspastische Rekonstruktionen, also das Entzerren von überschobenenen und gefalteten Großeinheiten, aufgrund „guten Aneinanderpassens“ von geometrischen Körpern wie ein Puzzle bewerkstelligt (vgl. Abb. 2 FRISCH et al., 1998). Eine direkte Datierungsmethode ist die palinspastische Rekonstruktion nicht, aber es können durch Ko-Faktoren, wie beispielsweise syntektonische Sedimentablagerungen zwischen Deckeneinheiten oder entlang transtensionalen Störungsdepressionen,

zeitliche Eingrenzungen vorgenommen werden. Syntsedimentäre tektonische Bewegungen sind gut datierbar, wenn an einer Störung für den Hangend- und Liegend-Abriss des Tops und der Basis einer Formation (oder Schicht) unterschiedliche Versatzbeträge ermittelt werden können. Auch ohne den direkten Nachweis einer Störung oder Deformation kann die Verteilung und Geometrie von Becken-Riff-Systemen Auskunft über die syntsedimentäre Tektonik geben. Die Harnischanalyse an Störungsflächen erlaubt in Verbindung mit graphischen und mathematischen Methoden (z.B. MESCHÉDE & DECKER 1993) zwar keine direkte Datierung einer Störung, durch Überlegungen zu großregionalen Spannungsfeldern lässt sich aber dennoch eine zeitliche Eingrenzung der Störungsaktivität ableiten.

1.3.2.2 Bekannte Störungen und Deformationsgeschichte

Die NKA unterlagen einer polyphasen Deformationsgeschichte, die in drei Spannungsregime unterteilt werden kann. 1. Von der Trias bis zur Kreide bestimmt Extension den Nordwestrand der Tethys und es entwickeln sich Abschiebungen und sie segmentierende Blattverschiebungen. Die Abschiebungen können heute selten direkt im Gelände angetroffen werden, sie werden heute oftmals nur noch aus Mächtigkeitsunterschieden oder dem Fehlen von einzelnen Schichten interpretiert (EISBACHER et al. 1990). 2. Mit dem Ende der Unteren Kreide führt Einengung zur Ausbildung von Überschiebungen, zu mehreren Sets von Blattverschiebungen, nachfolgender Anlage von Falten und zur eigentlichen Orogenese mit späterer isostatischer Heraushebung. 3. Ab dem Miozän führen postkollisionale und gravitativ gesteuerte Zergleitungsvorgänge unter Extension zur Ausbildung von Abschiebungen, der Reaktivierung älterer Störungen und der Anlage von intramontanen Becken.

Eine großmaßstäbliche Erfassung von triassischen und jurassischen Abschiebungen in den NKA existiert (noch) nicht. Die methodischen Probleme wurden oben aufgezeigt. Im Unteren Jura entwickeln sich WNW-streichende Neptunian Dikes im mittleren Teil der

NKA (BÖHM et al. 1995, SCHWEIGEL & NEUBAUER 1997) und Abschiebungen bzw. Blattverschiebungen in einem E-streichenden sinistralen Blattverschiebungssystem im westlichen Teil der NKA (CHANNELL et al. 1990, SPIELER & BRANDNER, 1989). Im Oberen Jura herrscht relativ tektonische Ruhe. Durch Untersuchungen der Sedimentstratigraphie im zentralen Bereich der NKA wird von GAWLICK et al. (1999) im Oberen Jura bereits ein Übergang von Rift zu Überschiebungen postuliert. Ab dem Übergang von der Unteren zur Oberen Kreide wird durch die Sedimentation von Olisthostromen das Herannahen der Subduktionszone dokumentiert und nachfolgend bilden sich die großen Deckenüberschiebungen in einem Zeitraum zwischen 97 und 70 Ma (EISBACHER et al. 1990). Von Norden nach Süden, bzw. von unten nach oben, sind das für den westlichen Teil der NKA die Allgäu-Decke, die Lechtal-Decke, die Inntal-Decke und die Krabachjoch-Klippen. Da von WINKLER (1988) noch Sedimente aus dem Alb auf der Allgäu-Decke liegend beschrieben sind, ist von einem post-Alb Alter der Lechtal-Deckenüberschiebung auszugehen. Während in den westlichen NKA die drei Decken eine ausgeprägte E-W-Ausdehnung (z.B. Lechtal-Decke ca. 200 km, Allgäu-Decke ca. 180 km) und eine geringere N-S-Erstreckung haben, überwiegen im zentralen Teil der NKA kleinere Decken (z.B. Staufen-Decke, Dachstein-Decke und Osterhorn-Decke). Präkretazische Sedimentationsmuster und Faziesunterschiede erleichtern die Ausbildung der Überschiebungen und Blattverschiebungen (LEMOINE & TRÜMPY 1987). Vor den sich schräg nähernden Subduktionszonen bilden sich ab dem Turon von Nordwesten nach Südosten Rinnen (WAGREICH 1993) und auf den Decken entstehen Huckepack-Becken in asymmetrischen Synklinalkernen (vergleiche hierzu LEISS 1990, Abbildung 11, S. 70). Innerhalb der Decken entwickeln sich WNW-streichende dextrale Blattverschiebungen, die nordwestwärts zur Überschiebungsfront propagieren. In höheren Teilen des Deckenstapels sind noch einige wenige strukturelle Zeugen (Streichrichtung, Faltenachsen von Kleinfalten) der (W)NW-gerichteten initialen Überschiebung anzutreffen (EISBACHER & BRANDNER 1996), im Tertiär wird der Überschiebungsgürtel dann tiefgreifend überprägt. Im Paläo-

gen erfolgt nach einem Richtungswechsel des Spannungsfelds NNE-gerichtete Einengung des Akkretionskeils (EISBACHER & BRANDNER 1996) und dieser Richtungswechsel wird auch aus dem gekrümmten Verlauf von Lineationen an der westlich aufgeschossenen Basis des Ostalpins in der Schweiz von RING et al. (1988) interpretiert. Es bilden sich sinistrale NE-streichende Blattverschiebungen, die südwestwärts propagieren. Gleichzeitig werden NE-streichende Überschiebungssegmente und WNW-streichende dextrale Blattverschiebungen als Überschiebungen reaktiviert. Im Miozän erfolgt die NNW-gerichtete Platznahme der westlichen NKA auf einem frontal akkreditierten Teppich aus Flysch und Helvetikum. Dabei entstehen E(NE)-streichenden Falten und Überschiebungen (EISBACHER & BRANDNER 1996). Nach FRISCH et al. (1998) erfolgt gegen Ende des Unteren Miozän eine laterale Extrusion der Ostalpen nach Osten zeitgleich mit einer stärkeren Hebung und Exhumierung des Tauernfensters, wobei letztere nach BLANCKENBURG & DAVIS (1995) bereits zwischen 40 und 35 Ma begann. Entlang der alten WNW-streichenden und der NE-streichenden Blattverschiebungen werden die NKA in N-S-Richtung verengt und in E-W-Richtung gestreckt. Mit einem sinistralen Versatz von ca. 75 km spielt hierbei die NE-streichende Inntal-Blattverschiebung

eine bedeutende Rolle, welche ab der Grenze Baden/Sarmat (Mittleres Miozän) erste Abtragungsgerölle aus dem Tauernfenster in die Molasse durchlässt (FRISCH et al. in press). In Publikationen über die NKA sind auf Karten auch N-streichende Blattverschiebungen eingezeichnet (vgl. MESCHÉDE & DECKER 1993, EISBACHER & BRANDNER 1996, LINZER et al. 1995), für die aus dem Alter des Wirtsgesteins (zum Teil Molasse) oder dem untersuchten Spannungsfeld ein post-jurasisches Alter interpretiert werden kann. Eine Zusammenfassung aller wichtigen Störungen ist in der Abb. 4 wiedergegeben.

1.4 Zementstratigraphie

Zemente in karbonatischen Sedimenten, welche nach ihrer Ablagerung einer Versenkungs- und Exhumierungsgeschichte unterliegen, können nach Genese und Ausbildung des Zements verschiedenen Diagenesestadien zugeordnet werden. Es sind dies die oberflächennahe Diagenese beziehungsweise flache Versenkungsdiagenese (Frühdiagenetische Zemente), die tiefe Versenkungsdiagenese (Spätdiagenetische Zemente) und meteorische Diagenese. In der vorliegenden Arbeit werden hauptsächlich die spätdiagenetischen Zemente der tiefen Versenkungsdiagenese untersucht.

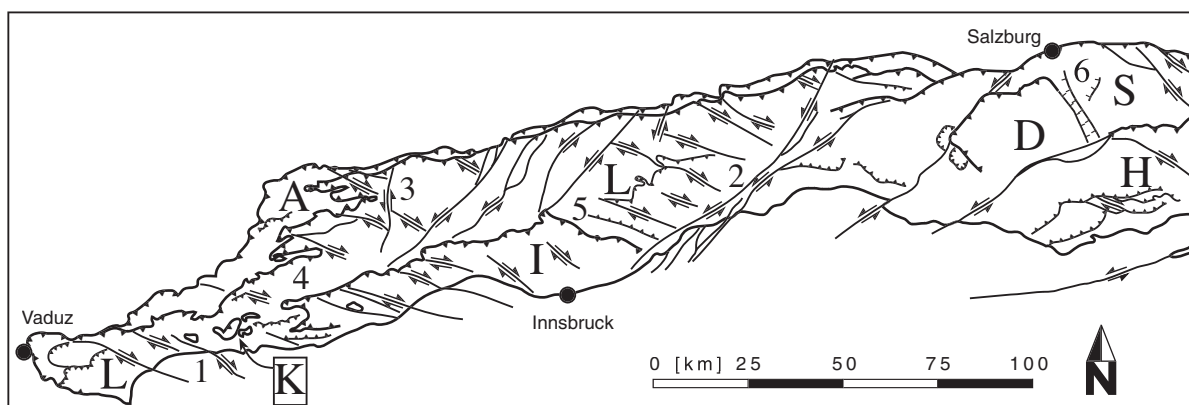


Abbildung 4 Störungen im Westteil und dem mittleren Teil der Nördlichen Kalkalpen. Zu beachten sind die WNW-ESE streichenden dextralen Blattverschiebungen, die NE-SW streichenden sinistralen Blattverschiebungen, die N-S streichenden sinistralen Blattverschiebungen, die Decken-Hauptüberschiebungen, die internen Überschiebungen und zuletzt die Abschiebungen im Osten. A = Allgäu-Decke, L = Lechtal-Decke, I = Inntal-Decke, K = Krabachjoch-Klippen, S = Staufen-Höllengebirge-Decke, D = Berchtesgaden-Dachstein-Decke, H = Hallstatt-Decke. Umgezeichnet nach LINZER et al. (1995), EISBACHER et al. (1990) und EISBACHER & BRANDNER (1996).

Die spätdiagenetische Zementation für die NKA wurde erstmals von MAUL (1991) an Karbonatgesteinen der Wetterstein Formation untersucht und in weiteren Publikationen bestätigt beziehungsweise die Kenntnisse über Flüssigkeitseinschlüsse, Isotopenverhältnisse, Spurenelemente, Blei-Zink-Mineralisationen und Fluid-Flow-Modelle vertieft (vgl. ZEEH 1990, ZEEH & BECHSTÄDT 1994, ZEEH et al. 1997, ZEEH et al. 1999). Es handelt sich bei den spätdiagenetischen karbonatischen Zementen um zwei Satteldolomite und drei calcitische Blockzemente, die insgesamt einen Bildungszeitraum zwischen der Wende Trias/Jura und dem Miozän umfassen

(ZEEH et al. 1997). Eine Einteilung in eine erste Zementationsphase mit der Abscheidung eines Satteldolomits ab der oberen Trias bis in die Kreide und eine zweite Zementationsphase mit der Ausbildung aller restlichen Zemente im Tertiär konnte mehrfach bestätigt werden. Die fünf Zemente sind in der Abb. 5 abgebildet und nachfolgend näher beschrieben. Eine vielfältige Palette von frühen Zementen aus der oberflächennahen Diagenese bzw. der flachen Versenkungsdiagenese und jüngsten Zementen der meteorischen Diagenese nach der Heraushebung wurden für die Wetterstein Formation erarbeitet und auch in anderen Formationen beobachtet (ZEEH 1990, KUHLEMANN et al. 1993, KUHLEMANN 1995, ZEEH et al. 1995, ZEEH 1998).

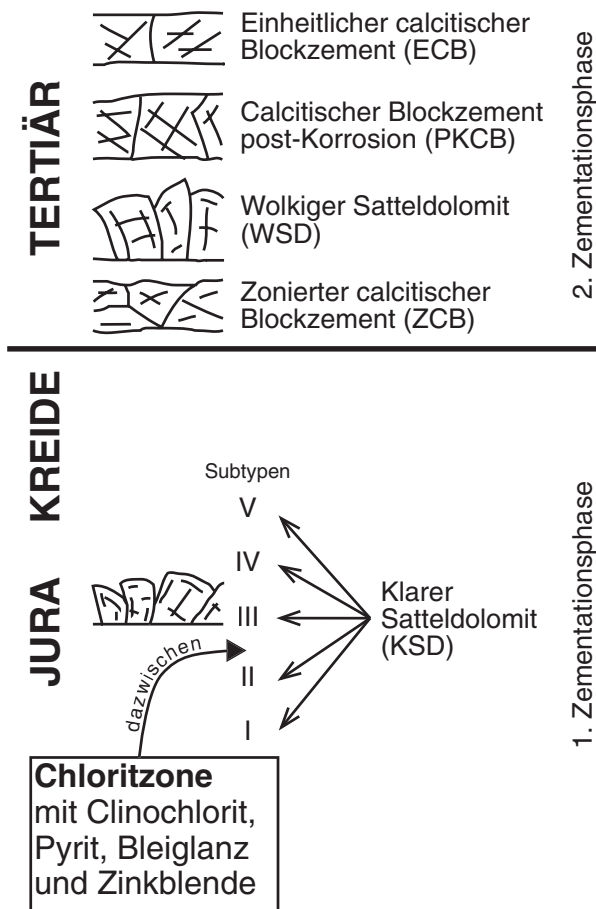


Abbildung 5 Die Entwicklung der spätdiagenetischen Zemente in den NKA kann in zwei Zementationsphasen eingeteilt werden: In der ersten Zementationsphase entsteht der Klare Satteldolomit (KSD), der mit Kathodolumineszenz in 5 weitere Subtypen unterschieden werden kann. Zwischen dem Subtyp II und III tritt eine Chloritzone auf, die Clinochlorit, Pyrit, Bleiglanz und Zinkblende enthält. In der zweiten Zementationsphase wird ein weiterer Satteldolomit und drei calcitische Blockzemente gebildet.

1.4.1 Klarer Satteldolomit (KSD)

Charakteristisches Merkmal des KSD sind die undulöse Auslöschung unter gekreuzten Nicols und die gebogenen Spaltflächen der Kristalle. Unter Kathodolumineszenz (KL) kann eine Zonierung von orange, rot und nicht-lumineszierend auftreten. Auf diesen Lumineszenzzonen basiert eine Unterteilung in fünf Subtypen (Subtyp I - V), die sich besonders in Pb-Zn-führenden Karbonaten anisischen Alters beobachten lässt (ZEEH 1998). Subtyp I hat eine rote Farbe, oft zoniert von hell- bis dunkelrot. Subtyp II zeigt keine Lumineszenz oder eine sehr matte dunkelrote Farbe. Die Lumineszenz des Subtyps III ist hellrot, mit zum Teil Zonierungen unterschiedlicher Rotfarben. Subtyp IV hat eine orange bis rote Farbe, die oft mit einer intensiven Zonierung ($< 1\mu\text{m}$) der beiden Farben einhergeht. Subtyp V luminesziert nicht (ZEEH et al. 1995, ZEEH et al. 1997, ZEEH 1998). Aus Untersuchungen sowohl in den Ost- als auch in den Südalpen ist bekannt, dass zwischen dem Subtyp II und III sehr häufig eine sogenannte Chloritzone auftreten kann, die hauptsächlich Clinochlorit ($(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) und untergeordnet Pyrit (FeS_2), Bleiglanz (PbS) und Zinkblende (ZnS) enthält (ZEEH 1998, KAPPLER & ZEEH 2000). Der KSD Subtyp I - IV kommt in allen karbonatischen Formationen der NKA vom Anis bis zum Unteren Jura vor, Hauptverbreitungsgebiet sind besonders die Gesteine mit dem Alter Anis bis Nor. Für

den Subtyp I - IV gibt ZEEH (1998) einen Bildungszeitraum Obere Trias/Unterer Jura an, für den Subtyp V vermutet er den Zeitraum Jura/Kreide. Der KSD kann partiell sowie komplett dedolomitisert sein (ZEEH et al. 1995).

1.4.2 Zonierter calcitischer Blockzement (ZCB)

Unter KL zeigt der zonierte calcitische Blockzement eine gelbe, orange oder dunkelrote Farbe, manchmal ist er auch nicht-lumineszierend (siehe Fototafel 1 im Anhang). Die Zonierung ist ca. 0,05 bis 0,2 mm breit. Im Durchlicht erscheinen die Kristalle oft trüb. Der ZCB findet sich wie alle späteren Zemente auch in allen Gesteinen vom Anis bis ins Miozän.

1.4.3 Wolkiger Satteldolomit (WSD)

Der Wolkige Satteldolomit ist an seinen gebogenen Spaltflächen und dem undulösen Auslösen erkennbar, außerdem besitzt er größere Kristalle als der KSD und ist unter Durchlicht trüb. Der WSD ist unter KL meist nicht-lumineszierend, selten auch rot lumineszierend.

1.4.4 Calcitischer Blockzement post-Korrosion (PKCB)

Die trüben Kristalle des calcitischen Blockzements post-Korrosion sind unter KL dunkelrot oder nicht-lumineszierend. Vor dem PKCB

abgelagerte Zemente sollen nach ZEEH (1998) meistens einer intensiven Korrosion unterworfen worden sein. Die Kristalldurchmesser können bis zu 10 mm betragen.

1.4.5 Einheitlicher calcitischer Blockzement (ECB)

Die Kristalle des einheitlichen calcitischen Blockzements lumineszieren zumeist in dunkel-roter Farbe oder seltener in braun. Durch seine allgemein dunklere Lumineszenz ist er gut vom ZCB unterscheidbar. Die Kristallgröße liegt mit bis zu 15 mm Durchmesser ebenfalls über der des ZCB. Das Alter des ECB wurde anhand des Auftretens in Konglomeraten unter- bis mittelmiozänem Alters bestimmt (ZEEH 1998), wo der ECB in Klüften noch auftaucht (KUHLEMANN et al. 1996). Da der ECB sowohl Komponenten wie auch die Matrix durchschlägt kann ein post-mittelmiozänes Alter angenommen werden.

1.4.6 Nicht-karbonatische und frühdiagenetische Zementation

KUHLEMANN (1995) und ZEEH et al. (1997) beschreiben Quarzzemente, die zwar in der untersuchten Sedimentabfolge vorkommen, jedoch hauptsächlich an klastische Sedimente des Perms und der frühen Trias gebunden sind. Vorkommen von Quarz sollen in den NKA sowohl nach als auch vor der Ausfällung des ECB anzutreffen sein. Daneben können auch Baryt und Fluorit in Klüften auftreten.

2 Methodik

Insgesamt wurden Geländearbeiten an 14 Lokalitäten im Bereich der westlichen NKA und zwei Lokalitäten im Unter- bzw. Mittelostalpin unternommen. Die Lokalitäten Achensee und Gaichtpass wurden dazu zuerst kartiert, um Probennahmepunkte festzulegen und dann diese beprobt. Dies war nötig um mehr Wissen über die Festlegung von Probennahmepunkten im jeweiligen Gelände zu erhalten. An den Lokalitäten Brandenburg, Adnet, Lech, Formarinsee, Hahntenjoch, Körbersee, Mittenwald/Scharnitz, Nassereith, Rüfikopf, Steeg, Tarntaler Köpfe, Ligivno und am Wendelstein wurde die tektonische und stratigraphische Position des Probennahmepunktes mit Kartenmaterial und Untersuchungen in der nächsten Umgebung ermittelt. Eine in einer Karte eingezeichnete Störung ist im Gelände nicht immer aufgeschlossen. Daher bestand die Geländearbeit hauptsächlich darin, geeignete, d.h. beprobungsfähige Störungen mit Zementen zu finden. Dazu musste die Öffnungsweite der Störung mindestens 2 mm betragen, um eine spätere Zuordnung der Zemente unter dem Mikroskop zu ermöglichen. Außerdem musste die Orientierung der Störung bzw. ihrer subparallelen Klüfte entweder einer der ausgewählten Blattverschiebungsrichtungen eindeutig zuordenbar sein oder einem anderen ebenfalls eindeutigen Störungstyp angehören. Speziell für die Blattverschiebungen waren diejenigen Lokalitäten für eine Probennahme geeignet, in denen sich die steilen Flanken von zwei unterschiedlichen Tälern treffen. Dort schneidet oft ein Blattverschiebungssystem ein anderes ab, von daher ein bevorzugter Probennahmepunkt.

Die eigentliche Probennahme erfolgte nach tektonischen und stratigraphischen Gesichtspunkten: Zum einen sollten bei der Probennahme aus verschiedenen Deckeneinheiten tektonisch induzierte Unterschiede bzw. Gemeinsamkeiten der Zemente berücksichtigt werden, zum anderen sollte bei der Probennahme aus allen zugänglichen stratigraphischen Niveaus die altersmäßigen Beziehungen innerhalb des Sedimentstapels beachtet werden. Ein limitierender Faktor hierbei war, dass nicht alle stratigraphischen Einheiten in jeder einzelnen Decke vollständig

aufgeschlossen sind. So fehlen beispielsweise in der Allgäu-Decke Schichten mit einem Alter prä-Nor und in der Inntal-Decke sind keine Schichten anzutreffen mit einem Alter post-Trias (TOLLMANN, 1985). Von den 14 Lokalitäten wurden schließlich ca. 250 Karbonat-Dünnschliffe (5x5 und 7x7 cm) angefertigt.

2.1 Verwendete geologische Karten

Als Kartengrundlage für die Geländearbeit dienten:

- Geologische Übersichtskarte von Tirol (BRANDNER 1980), Maßstab 1 : 300.000, mit tektonischem Anhang.
- Geologische Karten des Bayerischen Geologischen Landesamt im Maßstab 1 : 100.000: Blatt Murnau (663), Blatt Oberstdorf (670), Blatt Füssen (662), Blatt Tegernsee (664), Blatt Schliersee (665), Blatt Reit im Winkel (666) und im Maßstab 1 : 25 000 das Blatt Bayrischzell (8338).
- In Artikeln veröffentlichte Karten, so besonders RATSCHBACHER et al. (1991), EISBACHER & BRANDNER (1996), LINZER et al. (1995), DECKER et al. (1993) und EISBACHER et al. (1990).
- Geologische Spezialkarte: Innsbruck und Achensee bzw. Zirl und Nassereith im Maßstab 1 : 75.000 von AMPFERER (1912).

2.2 KL, Anfärbung, UV-Licht

Zur Unterscheidung der Zementgenerationen wurde außer konventionellen Methoden der Karbonatpetrographie auch die Kathodolumineszenz angewendet. Die KL-Untersuchungen wurden mit einer Kalt-Kathode der Fa. Technosyn, Modell 8200 Mk II (mit Heliumatmosphäre) und 8200 Mk III (unter Vakuum), bei einer Kathodenspannung von 12 - 15 kV und einer Strahlstromstärke von 500 bis 600 µA durchgeführt.

Zur Unterscheidung von Calcit und Dolomit wurden in einigen Fällen die Karbonat-Schliffe mit Alizarin Rot-S nach der Methode von Dickson (1966) angefärbt.

Fluoreszenzuntersuchungen zur Erkennung etwaiger organischer Substanz in den Zementen wurden unter UV-Anregung (Anregungsfilter BP 340 - 380; Sperrfilter LP 430)

durch eine 50 W HG-Höchstdrucklampe mit einem Mikroskop Laborlux S der Fa. Leitz vorgenommen.

2.3 Spurenelemente

Die Spurenelementzusammensetzung der Karbonate wurde mit Hilfe eines induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometers (ICP-MS) analysiert. Die hierfür benötigte Probenmenge (0,5 g) wurde mit einem Mikrobohrer des Typs K9 der Fa. KaVo EWL gewonnen. Die Fa. Acme (Analytical Laboratories Ltd.) in Vancouver/Kanada führte die Messungen aus. Dabei erfolgte der Probenaufschluss bei 95 °C über eine Stunde in konzentriertem Königswasser (HCl-HNO₃-H₂O im Verhältnis 3:2:1). Es wurden standardmäßig 30 Elemente (Mo, Cu, Pb, Zn, Ag, Ni, Co, Mn, Fe, As, U, Au, Th, Sr, Cd, Sb, Bi, V, Ca, P, La, Cr, Mg, Ba, Ti, B, Al, Na, K, W) gemessen.

2.4 Flüssigkeitseinschlüsse

Zur Untersuchung von Flüssigkeitseinschlüssen (FI) in den Karbonatzementen wurde ein Heiz-Kühltisch der Fa. Linkam (THM 600) mit einem Steuergerät (TMS 91), einer Kühlpumpe (LNP), einem Videoausgabegerät (VTO 232) an einem Mikroskop der Fa. Olympus (BH1) (Okular 20x, Objektive 10x, 25x, 40x, 80x) verwendet. Bei der Präparation des Probenmaterials für die FI wurde darauf geachtet, dass die Dickschliffe nicht aufgeheizt wurden, um nachträgliche Veränderungen z.B. Reäquilibrierungen oder Migration zu vermeiden (s. z.B. Shepherd et al., 1985). Die Dickschliffe wurden deshalb zur Bearbeitung nur mit einem „kalten“ Kleber (UHU hart) aufgeklebt. Um eine mögliche Volumenverände-

rung der FIs beim Gefrieren von wässrigen Lösungen zu Eis zu vermeiden, erfolgte die Messung der Homogenisierungstemperatur $T_{(h)}$ vor der Messung der Schmelztemperatur $T_{(m,ice)}$, d.h. dem letzten Schmelzen des Eises. Jeder Flüssigkeitseinschluss wurde mehrfach gemessen, um eine Reproduzierbarkeit der Messwerte zu erhalten. Es wurden letztlich nur diejenigen Flüssigkeitseinschlüsse ausgewählt, die ein mehrfaches Aufheizen bzw. Abkühlen ohne nennenswerte Verschiebung der Homogenisierungstemperatur bzw. Schmelztemperatur überstanden (<5 °C).

Die untersuchten FIs stammen ausnahmslos aus einem dedolomitierten Karbonatzement in einer Störung bei Adnet. Bei der Auswahl der FIs wurde darauf geachtet, möglichst viele in einer Gruppe zusammenhängende Einschlüsse zu finden, um die räumliche Variabilität besser zu kontrollieren und gegebenenfalls Temperaturabweichungen innerhalb einer Gruppe genauer beobachten zu können. Eingeteilt wurden die FIs nach primärer, sekundärer, oder pseudosekundärer Entstehung wie bei SHEPHERD et al. (1985) und ROEDDER (1984) beschrieben. Die Messapparatur wurde mehrfach geeicht und die Daten korrigiert. Eine Korrektur der Temperaturdaten wegen des lithostatischen Drucks wurde nicht vorgenommen. Dazu wäre unter anderem eine Mächtigkeitsangabe der darüberliegenden Schichten nötig, um die Druckverhältnisse zu ermitteln. Da durch ungenaue Kenntniss der ursprünglichen Sedimentmächtigkeiten bzw. -zusammensetzung und nicht zuletzt der späteren Erosion in den NKA eine Druckermittlung schwierig ist, wurde im Rahmen dieser Arbeit von einer Temperaturkorrektur abgesehen. Es handelt sich bei den gemessenen Homogenisierungstemperaturen und den Schmelztemperaturen also um Rohdaten.

3 Beobachtungen

3.1 Kartierung

Die Probengebiete Achensee und Gaichtpass wurden exemplarisch kartiert, d.h. es wurden durch Geländebegehungen stratigraphische und tektonische Position der Aufschlusspunkte ermittelt. Daraus wurde die tektonische Großstruktur abgeleitet die in den folgenden zwei Kapiteln beschrieben ist. Der genaue Verlauf einzelner Störungen, insbesondere von Blattverschiebungen konnte im Gelände nur selten anhand des Versatzes einer Schicht oder eines geologischen Markers beobachtet werden. Es wurden aber zahlreiche Störungs-Aufschlüsse mit Bewegungsspuren (Faserharnischen) angetroffen, die auch einer der bekannten Störungsrichtungen zugeordnet werden konnten.

3.1.1 Kartierung am Achensee

Es wurde zwischen Achenwald, Achenkirch und Ludwig-Aschenbrenner-Hütte ein in NS-Richtung 5 km breiter und in WE-Richtung 10 km langer Bereich am Westrand der nordvergenten, WE-streichenden Thiersee-Synklinale mit einem überkippten Südschenkel kartiert. Die aufgeschlossenen Gesteine umfassten das Alter Nor bis Kreide und gehören der Lechtal-Decke an. An der Blaubergalm wurde eine WNW-streichende Blattverschiebung mit dextralem Versatz der Ruhpolding-Formation um 300 m beobachtet. Westlich des Festlalm-Niederleger wurde aus dem WNW-wärts verlaufenden Kontakt von Hauptdolomit Formation zu WNW-streichenden Schichten der Ammergau Formation eine WNW-streichende Überschiebung interpretiert. Diese Überschiebung wird bei EISBACHER & BRANDNER (1996) auf Tafel 1 als Achental-Überschiebung bezeichnet. Die Achental-Überschiebung ist eine intern in der Lechtal-Decke parallel zur Thiersee- und Karwendel-Synklinale im Südschenkel verlaufende WE-streichende Überschiebung, deren Ausbiss im Bereich des Übergangs der Thiersee zur Karwendel-Synklinale einen vom allgemeinen WE-Trend abweichenden gekrümmten Verlauf annimmt. 1 km südwestlich vom Sattelkopf wurde ein Aufschluss mit Kleinfal-

ten mit zum Teil überkippten Schenkeln und E-streichenden Faltenachsen angetroffen. Östlich des Sattelkopfs wurde aus dem Kontakt Plattenkalk Formation mit Kössener Formation eine nach SE-abtauchende Faltenachse einer intern im Nordschenkel der Thiersee-Synklinale verlaufenden Kleinfalte interpretiert. Der Südschenkel dieser Kleinfalte ist überkippt und intern überschoben worden, was aus einem Kontakt Hauptdolomit Formation mit Kössener Formation interpretiert wurde.

3.1.2 Kartierung am Gaichtpass

Das Kartiergebiet verlief im Osten vom Haldensee über die Ödenalpe und das Notländer-Kar bis zum Lechtal. Im Süden und Westen bildete der Lech die Grenze von Weisenbach bis Niederwängle und die Nördliche Begrenzung verlief vom Schrofenwald über die Köllenspitze bis zum Haldensee. Die angetroffenen Gesteine gehören zum einen der Allgäu-Decke an und umfassten dann das Alter Nor bis Kreide zum anderen der Lechtal-Decke wo sie das Alter Ladin und Karn besitzen. Im Süden erstreckt sich zwischen Weisenbach und Gaichtspitze ein Gebiet mit Wetterstein Formation und Raibl Gruppe die zur Lechtal-Decke gehören und intern überschoben sind, wie aus der Position Wetterstein Formation auf Raibl Gruppe an der Gaichtpasstraße ersichtlich wird. Nördlich davon liegen in einem tektonischen Fenster die Gesteine der Allgäu-Decke, die in einer großen Antiklinalstruktur bis zu einer Linie Gimpelhaus-Gehrenalpe sichtbar sind. Nördlich davon schließt sich das tektonische Fenster mit dem ersten Auftreten von Wetterstein Formation. Auf dem Fenster liegt eine Klippe der Lechtal-Decke, was aus dem Vorkommen von Wetterstein Formation an der Gaichtspitze hervorgeht. Aus einem Streichen um 0° und Fallen nach Osten um 35-45° der Formationen der Allgäu-Decke im Westen nahe dem Haldensee und einem Streichen um 0° und Fallen nach Osten um 65-75° der Formationen der Allgäu-Decke im Osten nahe bei Hornberg kann auf ein Abtauchen der Faltenachse der Antiklinalstruktur nach Osten geschlossen werden. Unterstützt wird das aus dem Befund, dass Gesteine mit dem Alter Jura im Westen und der Mitte des tektoni-

schen Fensters noch auf 1700 bis 1900 m ü. NN angetroffen werden können, im Osten bei Höfen hingegen auf unter 1000 m ü. NN liegen.

3.2 Zementbeschreibung

3.2.1 KSD

Der KSD wurde unter der KL meist nicht-lumineszierend angetroffen, seltener rot-lumineszierend bzw. braun-lumineszierend und ganz selten orange-lumineszierend bzw. dunkelrot-lumineszierend. An den gebogenen Spaltflächen war er als Satteldolomit gut erkennbar und oft wurden seine Kristalle unter gekreuzten Nicols undulös ausgelöscht unter Durchlicht waren sie klar. Die Kristallformen waren meist isometrisch und untergeordnet fibrös ausgebildet, die Kristallgröße betrug zwischen 0,05 und 0,3 mm. Subtyp I und III können beide nach ZEEH 1998 einen Zonarbau aufweisen und Subtyp IV besitzt ebenfalls einen sehr feinen Zonarbau. Subtyp I und III sind durch ihre dunkelrote Farbe unter KL ebenfalls schwer unterscheidbar (siehe auch ZEEH, 1998) und sowohl Subtyp II als auch Subtyp V können unter KL nicht-lumineszierend beobachtet werden. Aufgrund der starken Ähnlichkeiten der Subtypen unter der KL, war eine eindeutige Zuordnung der Subtypen nicht möglich. Die Chloritzone wurde im untersuchten Probenmaterial nicht angetroffen. Bei gemeinsamen Auftreten mit ZCB konnte der KSD meistens nur reliktsch (z.B. Reste von KSD umgeben von ZCB) und selten auch dedolomitisert angetroffen werden.

3.2.2 ZCB

Der ZCB wies generell eine größere Kristallgröße auf als der KSD, meistens waren die Kristalle doppelt so groß und zeigten eine deutliche Spaltbarkeit. Unter Durchlicht konnten die trüben Kristalle des ZCB gut zu den klaren Kristallen des KSD abgegrenzt werden. Sehr deutlich erkennbar war der ZCB an der Zonierung, die von gelb bis rot bis braun reichte und meist um die 0,05 mm betrug. Die Kristalle konnten fibrös ausgebildet sein (siehe Fototafel 2), was jedoch im Gegensatz zur isometrischen Kristallform nur

untergeordnet auftrat. Eine Zwillingslamellierung des ZCB wurde nur in der Reifling Formation in der Nähe von Lenggries angetroffen und die Breite betrug dort weniger als 0,1 mm pro Lamelle. In drei Proben lumineszierte der ZCB so intensiv in roter bis brauner Farbe wie die Matrix (Wirtsgestein).

3.2.3 WSD

Der WSD wurde an seinem undulösen Auslöschen der Kristalle erkannt. Unter KL lumineszierte er nicht. Da der WSD nicht immer zweifelsfrei erkennbar ist, wurde eine eindeutige Abgrenzung zum klaren Satteldolomit der ersten Zementationsphase vom Vorhandensein des zonierten calcitischen Blockzements abhängig gemacht.

3.2.4 PKCB

Bei dem für diese Arbeit verwendeten Probenmaterial wurde die Korrosion nur an Kristallen des ZCB festgestellt. Der PKCB wies dort kleinere Kristalle auf, als die des ZCB. Der PKCB wurde in zwei Proben vom Achensee zusammen mit ZCB angetroffen, in einer Probe aus Mittenwald/Scharnitz war noch zusätzlich KSD vorhanden. Unter der KL lumineszierte der PKCB dunkel.

3.2.5 ECB

Der einheitliche calcitische Blockzement zeigte im Durchlicht klare Kristalle und lumineszierte unter KL meist dunkel und selten rot. Die Durchmesser der isometrischen oder untergeordnet auftretenden fibrösen Kristalle waren meist größer als die des ZCB und von diesem durch die dunklere Lumineszenz und die fehlende Zonierung gut unterscheidbar.

3.2.6 Frühdiagenetische, meteorische und nicht-karbonatische Zemente

Bei den in den untersuchten Klüften angetroffenen frühdiagenetischen Zementen handelte es sich ausschließlich um radiaxial fibrös gewachsene Calcite der flachen Versenkungsdiagenese (siehe ZEEH 1998) mit einer Kri-

stallgröße zwischen 0,5 und 1 mm. Sie wurden nur in der Lechtal-Decke beobachtet und traten dort in zwei Probengebieten in der Wetterstein Formation und der Allgäu Formation auf. Unter KL erschienen sie braun-lumineszierend, im Durchlicht zeigten sich fibröse und trübe Kristalle. Zwar wurden auch frühdiagenetischen Zemente im Porenraum der Wirtsgesteine entdeckt, sie waren jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung. In der Allgäu-Decke wurde im Probengebiet Gaichtpass ein nicht-lumineszierender meteorischer Zement in der Allgäu Formation beobachtet, der wegen der räumlichen Anordnung der Hohlräume innerhalb der Kluft nach dem ECB entstanden sein muss. Die zeitliche Abfolge nach dem ECB und der Vergleich mit den Zementbeschreibungen bei ZEEH 1998 deutet auf einen meteorischen Zement hin. Quarz trat sowohl vor dem ZCB als auch nach dem ECB auf und war an seiner fehlenden Lumineszenz unter KL erkennbar. Quarz trat im Probengebiet Tarntaler Köpfe im Mittelostalpin und etwas gehäuft im Probengebiet Livigno im Unterostalpin auf, wo er unter gekreuzten Nicols undulös auslöschte. Bei Lech wurde in der Allgäu Formation randlich korrodierte Quarzkristalle beobachtet, die vor dem ZCB entstanden sein müssen. Im Probengebiet Lenggries wurde Quarz in der Lechtal-Deckenüberschiebung angetroffen.

3.3 Zementverteilungen in den einzelnen Kluft- bzw. Störungsrichtungen

Im folgenden Abschnitt werden die Zementvorkommen und -vergesellschaftungen beschrieben, abhängig von Störungstyp, Streichrichtung, Deckenzugehörigkeit und Wirtsgestein. Eine detailliertere Probenbeschreibung befindet sich in Kapitel 7.4 im Anhang.

3.3.1 N-streichende Blattverschiebungen

In N-streichenden Blattverschiebungen traten KSD und ZCB sowohl im Probengebiet Hahntenjoch in Kalksandstein und einer Brekzie der Gosau Gruppe, welche auf der Lechtal-Decke liegt, als auch in der Kössener Formation bei Brandenburg in der Lechtal-Decke auf. KSD und zwei nicht näher be-

stimmbare calcitische Blockzemente wurden am Achensee in der Plattenkalk Formation beobachtet. Bei Lech konnte lediglich der ZCB aber keine weiteren Zemente in einer N-streichenden Blattverschiebung in der Kössener Formation innerhalb der Lechtal-Decke festgestellt werden.

3.3.2 WNW-streichende Blattverschiebungen

In den Probengebieten Achensee, Gaichtpass, Hahntenjoch Lech, Lenggries, Mittenwald/Scharnitz, Nassereith, Steeg und Wendelstein konnte in WNW-streichenden Blattverschiebungen KSD (wahrscheinlich Subtyp I bis III und V, da nicht zwischen Subtyp I und III bzw. II und V unterschieden werden konnte), zum Teil komplett, reliktsch oder dedolomitisiert angetroffen werden. Meist trat er zusammen mit ZCB auf, der ihn verdrängte. Am Achensee, Gaichtpass und bei Lenggries wurde noch zusätzlich ECB beobachtet. An den zwei Probennahmepunkten bei denen ausschließlich KSD auftrat handelte es sich um die Wetterstein Formation als Wirtsgestein, wobei bei einer Probe das Wirtsgestein selbst dolomitisiert war. Die Wetterstein Formation, die Muschelkalk Formation und die Plattenkalk Formation konnten als die bevorzugten Wirtsgesteine des KSD festgestellt werden. Der KSD fand Verbreitung in WNW-streichenden Blattverschiebungen in der Allgäu-Decke, der Lechtal-Decke und der Inntal-Decke. In einer Probe aus der Ruhpolding Formation am Gaichtpass wurde ebenfalls KSD (Subtyp V) festgestellt. Dort ließ sich auch ein Zement erkennen, der nach dem ECB in teilweise noch heute offenstehenden Hohlräumen gebildet wurde und als meteorischer Zement zu deuten ist. Am Probennahmepunkt „Mühlbach“ im Probengebiet Lenggries wurde in der Lechtal-Decke ein früher radial fibröser Zement in der Wetterstein Formation beobachtet. An einem Probennahmepunkt bei Nassereith trat ZCB allein auf und im Probengebiet Lenggries konnte die Abfolge ZCB, WSD, ECB beobachtet werden.

3.3.3 NE-streichende Blattverschiebungen

Die NE-streichenden Blattverschiebungen in den Probengebieten Achensee, Adnet, Gaichtpass, Hahntenjoch, Lenggries, Nasse-reith, Steeg und Wendelstein enthielten ZCB, während der KSD fehlte. Angetroffen wurde der ZCB in der Allgäu-Decke, der Lechtal-Decke, der Inntal-Decke und am Probennahmepunkt „Wimberg“ (Probengebiet Adnet) in der Stauffen-Decke (Höllengebirge). Am häufigsten wurde der ZCB vom ECB allein begleitet, was in Wirtsgesteinen von der Wetterstein Formation bis zur Ammergau Formation beobachtet wurde. Im Probengebiet Achensee trat der ZCB zusammen mit PKCB und im Probengebiet Lenggries mit WSD und ECB auf. In einer Probe vom Probengebiet Gaichtpass wurde Quarz nach dem ECB gebildet.

3.3.4 Anders streichende Blattverschiebungen und Überschiebungen

In den Probengebieten Achensee, Gaichtpass, Hahntenjoch, Lech und Wendelstein wurden E-streichende Blattverschiebungen beprobt, wobei sich im zuletzt genannten Probengebiet beim Probennahmepunkt „Rechenau“ ein dextraler Bewegungssinn erkennen liess. Es konnte eine vielfältige Zementverteilung in diesen E-streichenden Blattverschiebungen festgestellt werden: Die Abfolge KSD, ZCB, ECB in der Wetterstein Formation am „Nordsteinbruch Maurach“ (Achensee) bzw. die Abfolge KSD, ZCB in der Kössen Formation im Probengebiet Wendelstein kam ebenso vor wie ein Gemenge aus randlich korrodierten Quarzkristallen und fibrösem ZCB in der Allgäu Formation im Probengebiet Lech. An zwei Probennahmepunkten wurde jeweils nur ZCB bzw. ECB beobachtet. Im Probengebiet Gaichtpass wurde in einer sinistralen Blattverschiebung (28/81NW) KSD und ZCB angetroffen und in einer ähnlich streichenden Blattverschiebung (26/72SE) aus dem Probengebiet Mittenwald/Scharnitz wurde KSD, ZCB und PKCB festgestellt. Eine Blattverschiebung (150/72SW) in der Wetterstein Formation aus dem Probengebiet Nassereith enthielt nur KSD. In Sandstein der Gosau Gruppe im Probengebiet Hahntenjoch

wurde eine Überschiebung (47/78NW) im Faltenkern beprobt und ZCB beobachtet.

3.3.5 Klüfte assoziiert mit der Inntal-, der Lechtal- und der Krabachjoch-Überschiebung

Im Probengebiet Nassereith konnte an zwei verschiedenen Probennahmepunkten in der Inntal-Deckenüberschiebung Relikte eines Satteldolomits angetroffen werden, die unter KL nicht-lumineszierten. Aufgrund des KL-Bildes und den Subtypenbeschreibungen bei ZEEH 1998 könnte es sich um den Subtyp II oder V des KSD handeln. Weiterhin war im Probengebiet Nassereith auch ZCB vorhanden. Die Lechtal-Deckenüberschiebung im Probengebiet Lenggries enthielt ähnlich wie die Inntal-Deckenüberschiebung Relikte eines Dolomitzements, ZCB, der sich kreuzende Zwillingslamellen (<0,05 mm Breite) erkennen ließ, und zusätzlich Quarz. Im Probengebiet Lech wurde in der Krabachjoch-Überschiebung ein nicht exakt unterscheidbares Gemenge aus einem nicht-lumineszierenden Zement und einem rot-lumineszierendem Blockcalcit in der Allgäu Formation beobachtet.

3.3.6 Klüfte parallel zu E-streichenden Kleinfalten

In faltenachsenparallelen Klüften im Scharnier einer Kleinfalte, die zu einer Serie von Kleinfalten mit zum Teil überkippten Schenkeln und E-streichenden Faltenachsen in der Allgäu Formation der Lechtal-Decke gehört, wurde im Probengebiet Achensee ZCB und ECB festgestellt. Eine der faltenachsenparallelen Klüfte durchschlägt einen 10x6 mm großen, annähernd rechteckigen Bereich, der einen früh gebildeten radiaxial fibrösen Calcizement mit trüben Kristallen enthält.

3.3.7 Abschiebungen

Am Achensee wurde beim Probennahmepunkt „Filzmoosbach“ in einer Abschiebung mit der Orientierung 80/47S nicht-lumineszierender KSD und ZCB angetroffen. An einer Abschiebung im Steinbruch „Schnöllbruch“ (Schnöll-Abschiebung) im Probengebiet

Adnet ist ein synsedimentärer Versatz von liassischen Schichten der Schnöll Formation feststellbar (siehe dazu Fototafel 3) und eine bis zu 10 cm breite Brekzie (Fototafel 4) aus Komponenten des Wirtsgesteins bzw. nachfolgend beschriebener Zementmatrix zu beobachten. Es wurde ZCB beobachtet, der Relikte von KSD (sowohl isometrisch, als auch fibrös, nicht näher differenzierbare Subtypen I bis V) enthält. Die Störungswand und Komponenten aus Wirtsgestein innerhalb der Störung sind von einem schmalen Streifen von ZCB umgeben, der ebenso KSD und eine 0,2 bis 2 mm breite Zone aus Pyrit (=Pyritzone) enthält (siehe dazu auch Fototafel 5A und 5B). Auf der Störungsfläche der Schnöll-Abschiebung (62/83N) befinden sich Faserharnische mit der Orientierung 62/0, die einen sinistralen Bewegungssinn anzeigen.

3.3.8 Klüfte parallel zur Schichtung

Adneter Knollenkalk (Schichtung 170/34E) in der Allgäu-Decke enthielt in schichtungsp parallelen Klüften im Probengebiet Formarinsee ZCB. Im Probengebiet Lenggries wurde in der Lechtal-Decke in der Hauptdolomit Formation (Schichtung 49/69NW) fibrös ausgebildeter Satteldolomit festgestellt.

3.3.9 Beobachtungen an den Lokalitäten Tarntaler Köpfe (Mittelostalpin) und Livigno (Unterostalpin)

Am Probennahmepunkt „Navis“ wurde im Probengebiet Tarntaler Köpfe in einer N-streichenden Störung (176/65E) KSD, ZCB und Feldspat (randlich korrodiert) in der Hauptdolomit Formation beobachtet. In einem mikritischen Kalkstein mit viel Echinodermen wurde in den Tarntaler Köpfen in einer E-streichenden Störung KSD und Quarz festgestellt. Im Probengebiet Livigno wurde eine jurassische Abschiebung entlang eines Höhenunterschieds von 180 m an der südöstlichen Flanke des „Il Motto“ mit Wetterstein Formation im Liegenden und Allgäu Formation im Hangenden mehrfach beprobt. Es traten dort sowohl KSD allein auf, als auch KSD und ZCB zusammen. Weiterhin konnte dort auch Quarz-Zement beobachtet werden, der zuerst auf der Klüftwand aufwuchs, dann von

ZCB gefolgt wurde und schließlich auch wieder innerhalb des ZCB auftauchte. In einer Kleinfalte mit N-orientierter Faltenachse in der Allgäu Formation wurde am Probennahmepunkt „Alpisella 2110“ ZCB und Quarz festgestellt. Eine unorientierte Probe aus der Allgäu Formation im Probengebiet Livigno enthielt neben KSD und ZCB auch den WSD. Ebenso ließ sich in der Allgäu Formation in einer Blattverschiebung (10/59E) KSD und ZCB erkennen.

3.3.10 Unorientierte Klüfte

Relikte von KSD und ZCB konnten im Adneter Knollenkalk bei Adnet in der Staufen-Decke (Höllengebirge) angetroffen werden. Im Probengebiet Hahntenjoch (Probennahmepunkt „Bergstation Drischel“) konnten in einem Konglomerat aus der Gosau Gruppe Komponenten aus jurassischen Schwammnadeln und Fragmenten der Wetterstein Formation beobachtet werden. Relikte von KSD konnte in diesen Fragmenten der Wetterstein Formation angetroffen werden und waren räumlich nur auf diese begrenzt. Die Komponenten sind von ZCB umgeben und werden auch von diesem durchschlagen. Im Probengebiet Körbersee wurden in einer unorientierten Probe Relikte eines Satteldolomits und ZCB im Adneter Knollenkalk in der Allgäu-Decke festgestellt.

3.4 Haupt-, Neben- und Spurenelemente

3.4.1 Haupt- und Nebenelemente der Zementabfolge

Die Tabelle 1 zeigt die Haupt- (Ca, Mg, Fe) und Nebenelementgehalte (Mn, Sr) von 30 ausgewählten Karbonatzementproben und den dazugehörigen Wirtsgesteinproben. Da die Klüftweite oft nur 1-4 mm betrug, konnte meist nicht ein Zement getrennt gewonnen werden, sondern es mussten Mischproben (z.B. KSD, ZCB, ECB) entnommen werden. Die Gehalte von weiteren 25 Elementen können der Tabelle 6 im Anhang (Kapitel. 7.3) entnommen werden.

Aus der Tabelle 1 ist ersichtlich, dass -außer in der Probe „Blauberg“ (Achensee)- die Ca-Gehalte in den Proben mit beiden Blockcalci-

Tabelle 1 Haupt- und Nebenelementgehalte von 30 ausgewählten Karbonatzementproben und den dazugehörigen Wirtsgesteinproben.

NUMMER	PROBENGEBIET	ELEMENT		Ca %	Mg %	Fe %	Mn [ppm]	Sr [ppm]	ZEMENT / WIRTSGESTEIN	ORIENTIERUNG	DECKE
		PROBENNAHMEPUNKT									
95A218	Achensee	Blauberg	27,03	4,47	0,22	61	255		KSD, der von ZCB verdrängt wurde und ECE Plattenkalk Formation	ESE-WNW	Lechtal-Decke
95A218, Wirtsgestein	Achensee	Blauberg	19,93	8,49	0,33	45	237				Lechtal-Decke
95A24	Achensee	Klammbach-Süd	35,53	0,19	0,17	385	444		ZCB, ECB	NE-SW	Lechtal-Decke
95A24	Achensee	Klammbach-Süd	35,47	0,25	0,17	490	378		ZCB, ECB	NE-SW	Lechtal-Decke
95A24, Wirtsgestein	Achensee	Klammbach-Süd	30,35	0,59	0,33	329	309		Ammergau Formation		Lechtal-Decke
95A190	Achensee	Seeache	36,65	0,24	< 0,05	19	159		KSD, zwei Blockcalcizemente	N-S	Lechtal-Decke
95A190, Wirtsgestein	Achensee	Seeache	33,66	0,95	< 0,05	11	337		Plattenkalk Formation		Lechtal-Decke
95A2	Achensee	Sattelkopf	34,55	0,17	0,06	160	433		ZCB, ECB	Kluft parallel zu einer E-W-streichenden Kleinfalte	Lechtal-Decke
95A2	Achensee	Sattelkopf	34,65	0,20	0,16	184	356		ZCB, ECB		Lechtal-Decke
95A2, Wirtsgestein	Achensee	Sattelkopf	31,96	0,30	0,10	131	403		Ammergau Formation		Lechtal-Decke
96G320	Gaichtpass	Gaichtpassstrasse	34,03	0,13	0,14	2364	432		KSD, ZCB, ECB	ESE-WNW	Allgäu-Decke
96G320, Wirtsgestein	Gaichtpass	Gaichtpassstrasse	23,43	0,23	0,40	1960	307		Ruhpolding Formation		Allgäu-Decke
96G86	Gaichtpass	Krinnenalpe	34,27	0,20	0,63	755	717		ECB	E-W	Allgäu-Decke
96G86	Gaichtpass	Krinnenalpe	33,71	0,20	0,62	750	614		ECB	E-W	Allgäu-Decke
96G86, Wirtsgestein	Gaichtpass	Krinnenalpe	32,97	0,28	0,64	558	253		Allgäu Formation		Allgäu-Decke
96G2a3	Gaichtpass	Oberwald	33,83	0,08	0,13	1604	356		ECB	NE-SW	Allgäu-Decke
96G2a3	Gaichtpass	Oberwald	34,21	0,06	0,15	1525	317		ECB	NE-SW	Allgäu-Decke
96G2, Wirtsgestein	Gaichtpass	Oberwald	8,23	0,16	0,39	624	120		Ruhpolding Radiolarit		Allgäu-Decke
96G319	Gaichtpass	Gaichtpassstrasse	34,07	0,16	0,26	1113	412		ECB	ESE-WNW	Allgäu-Decke
96G319	Gaichtpass	Gaichtpassstrasse	33,84	0,08	0,13	709	507		ZCB	ESE-WNW	Allgäu-Decke
96G319, Wirtsgestein	Gaichtpass	Gaichtpassstrasse	23,42	0,24	0,24	847	269		Allgäu Formation		Allgäu-Decke
96L69	Lenggries	Rauchenberg	19,13	10,79	< 0,05	19	56		Satteldolomit	Parallel ss (49/69NW)	Lechtal-Decke
96L69, Wirtsgestein	Lenggries	Rauchenberg	21,43	12,02	< 0,05	< 10	65		Hauptdolomit Formation		Lechtal-Decke
96L17	Lenggries	Anderlkopf	34,62	0,20	< 0,05	14	512		ECB	NE-SW	Lechtal-Decke
96L17, Wirtsgestein	Lenggries	Anderlkopf	39,51	0,27	< 0,05	< 10	488		Plattenkalk Formation		Lechtal-Decke
96L58	Lenggries	Schwarzenbach	35,60	0,24	< 0,05	221	161		Relikte eines Dolomitizement, ZCB, Quarz Reiflinger Formation	Lechtal-Überschiebung	Lechtal-Decke
96L58, Wirtsgestein	Lenggries	Schwarzenbach	40,61	0,37	0,06	249	273			Lechtal-Decke	
96M18	Mittenwald/Scharnitz	Leutaschkamm	35,76	0,10	< 0,05	33	115		Dedolomitierter KSD, ZCB	ESE-WNW	Lechtal-Decke
96M18, Wirtsgestein	Mittenwald/Scharnitz	Leutaschkamm	40,59	0,19	< 0,05	< 10	164		Wetterstein Formation		Lechtal-Decke

ten zwischen 33,71 und 36,65 % liegen und damit wie stöchiometrisch zu erwarten annähernd doppelt so hoch sind wie in der Probe „Rauchenberg“ (Lenggries) mit reinem Satteldolomit (19,13 %). In der Probe „Blau-berg“ (Achensee) wird der niedrigere Ca-Gehalt (27,03 %) von einem höheren Mg-Gehalt (4,47 %) begleitet, was deutlich über dem Mg-Gehalt der anderen Proben (0,06 - 0,24%) liegt. Der Satteldolomit der Probe „Rauchenberg“ (Lenggries) erreicht mit 10,79 % den höchsten gemessenen Mg-Wert. Der Fe-Gehalt aller Proben schwankt zwischen <0,05 und 0,63 %. Mn kommt in den untersuchten Proben mit 14 - 2364 ppm in beträchtlichen Schwankungen von mehr als zwei Größenordnungen vor, wobei die beiden höchsten Werte dort erreicht werden, wo Ruhpolding Radiolarit das Wirtsgestein bildet. Der Sr-Gehalt der Probe mit ausschließlich Satteldolomit („Rauchenberg“, Lenggries) liegt bei 56 ppm, die Mischproben enthalten zwischen 115 und 432 ppm Sr, reine Blockcalcitemente haben mit 317 - 717 ppm die höchsten Sr-Werte.

3.4.2 Spurenelementuntersuchungen im Schnöllbruch (Adnet)

Am Nordrand des Steinbruchs „Schnöllbruch“ (880 m östlich von Adnet) sind Schichten des Unterjura und die Marmorea-Kruste (BÖHM et al. 1996) aufgeschlossen (Abbauniveau Okt. 1997). Die Marmorea-Kruste, eine Fe-Mn-Kruste die ihren Namen wegen der reichen Ammonitenfauna mit *Schlotheimia marmorea* trägt, trennt kondensierte rot-graue Kalksteine der Schnöll Formation von der darüberliegenden Adnet Formation (Sinemur bis Toarc). In der Marmorea-Kruste wurden kubische Kristallformen beobachtet, bei denen es sich möglicherweise um Fluorit handelt, die später von einem Calcit ersetzt wurden. Zur Bestimmung der Spurenelementgehalte wurde eine Probe aus dem Wirtsgestein (Schnöll Formation) und drei Proben aus der Marmorea-Kruste genommen. Aus der Schnöll-Abschiebung wurden die Zemente ZCB mit Relikten von KSD, die Pyritzone und die Komponenten aus Wirtsgestein beprobt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 wiedergegeben.

Der Gesamtgehalt der gemessenen Spurenelemente ist in der Marmorea-Kruste höher

als in der Pyritzone. Das Verteilungsmuster der Spurenelemente ist in der Marmorea-Kruste und in der Pyritzone auffallend ähnlich (siehe dazu Abb. 6). In beide wird mit zunehmenden Konzentrationen die Elemente Mo, Cu, Pb und Zn eingebaut. Die Ag-Gehalte sind sehr niedrig während die Ni-Gehalte sehr hoch sind und von etwas niedrigeren Co-Gehalten gefolgt werden. Die Gehalte an Mn, Fe und As ähneln sich ebenfalls, wobei der As-Gehalt in der Pyritzone über dem der Marmorea-Kruste liegt. Die Gehalte an U, Th, Cd, Sb, Bi, La, Ba, Ti, und Bi sind sowohl in der Pyritzone als auch in der Marmorea-Kruste relativ niedrig. Die Verteilung der Gehalte an V, Ca, P, Cr und Mg sind in beiden nicht-karbonatischen Zonen sehr ähnlich. Bemerkenswert sind die relativ hohen Al-Gehalte, welche jeweils von niedrigeren Na-Gehalten und etwas höheren K-Gehalten gefolgt werden.

3.5 Flüssigkeitseinschlüsse aus der Schnöll-Abschiebung (Adnet)

Die Schnöll-Abschiebung im Steinbruch Adnet enthält neben der Pyritzone Relikte von Satteldolomit und ZCB. Von der Probe 97D2 aus der Schnöll-Abschiebung wurde ein 0,21 x 0,16 mm großer Bereich mit ZCB ausgewählt, der 28 dicht beeinanderliegende Flüssigkeitseinschlüsse enthält (Abb. 7). Neben diesen Flüssigkeitseinschlüssen wurden noch fünf weitere einzeln verteilte Flüssigkeitseinschlüsse gemessen, die ebenfalls aus der Probe 97D2 stammen. Die Werte für die Homogenisierungstemperatur $T_{(h)}$ liegen zwischen 108 und 233 °C, die Werte für die Schmelztemperatur $T_{(m,ice)}$ zwischen 3,6 und -12,3 °C. Die Messwerte sind in der Tabelle 3 wiedergegeben und auf der Fototafel 6 bzw. 7 im Anhang in ihrer örtlichen Verteilung dargestellt.

Die tiefsten Messwerte für $T_{(m,ice)}$ befinden sich an der unteren rechten Ecke (siehe Fototafel 7 im Anhang) und nahe der oberen Zwillinglamelle. Die höchsten Messwerte für $T_{(m,ice)}$ verlaufen parallel zu den Zwillinglamellen in der Mitte. Die Verteilung der Messwerte von $T_{(h)}$ ist heterogener als der von $T_{(m,ice)}$, die höchsten Messungen von $T_{(h)}$ liegen aber ebenfalls an der unteren rechten Ecke und in der Nähe der oberen Zwillinglamelle. Die tiefsten $T_{(h)}$ -Messwerte befinden

Tabelle 2 Spurenelementgehalte der Pyritzone, der Marmorea-Kruste (drei Proben und Mittelwert), des Wirtsgesteins, der Komponenten aus der Störungsbrechie und des ZCB mit Relikten von KSD.

PROBE	ELEMENT	Mo [ppm]	Cu [ppm]	Pb [ppm]	Zn [ppm]	Ag [ppm]	Ni [ppm]	Co [ppm]	Mn [ppm]	Fe [ppm]	As [ppm]	U [ppm]	Th [ppm]	Sr [ppm]	Cd [ppm]
Pyritzone		23	47	110	377	<0,3	109	57	151	162400	466	<8	2	17	3,2
Marmoreakruste Probe 1		17	145	45	596	2,2	349	407	1931	367800	305	46	14	62	2,3
Marmoreakruste Probe 2		12	76	65	188	0,3	483	219	3648	214500	240	58	9	178	3,2
Marmoreakruste Probe 3		11	69	86	77	1	2320	179	3297	148300	118	38	7	182	1,7
Marmoreakruste (Durchschnittsgehalt)		13	96	65	287	1	1050	268	2959	240000	221	47	10	141	2,4
Schnöll-Formation Komponenten in Störung		<1	4	3	<1	<0,3	16	<1	515	300	3	<8	<2	171	0,5
		<1	<1	5	<1	<0,3	68	1	225	140	<2	<8	3	156	0,5
ZCB (mit Relikten von KSD)		<1	<1	4	<1	<0,3	48	1	734	1600	<2	20	<2	348	0,3
PROBE	ELEMENT	Sb [ppm]	Bi [ppm]	V [ppm]	Ca [ppm]	P [ppm]	La [ppm]	Cr [ppm]	Mg [ppm]	Ba [ppm]	Ti [ppm]	B [ppm]	Al [ppm]	Na [ppm]	K [ppm]
Pyritzone		<3	<3	18	29600	50	2	8	1500	<1	100	<3	4200	100	1400
Marmoreakruste Probe 1		22	<3	1943	76400	1450	4	931	8200	<1	4500	33	22400	500	1300
Marmoreakruste Probe 2		22	13	694	167500	2630	17	315	5400	16	600	14	9200	300	1600
Marmoreakruste Probe 3		9	21	434	200400	810	18	168	4800	1	600	7	8300	300	1300
Marmoreakruste (Durchschnittsgehalt)		18	17	1024	148000	1630	13	471	6100	8,5	1900	18	13300	300	1400
Schnöll-Formation Komponenten in Störung		3	10	1	376600	60	9	2	3300	<1	100	6	300	300	200
		<3	<3	1	361500	20	10	2	2500	6	100	9	400	100	400
ZCB (mit Relikten von KSD)		<3	5	4	392700	10	<1	2	1400	1	<0,01	<3	100	100	200

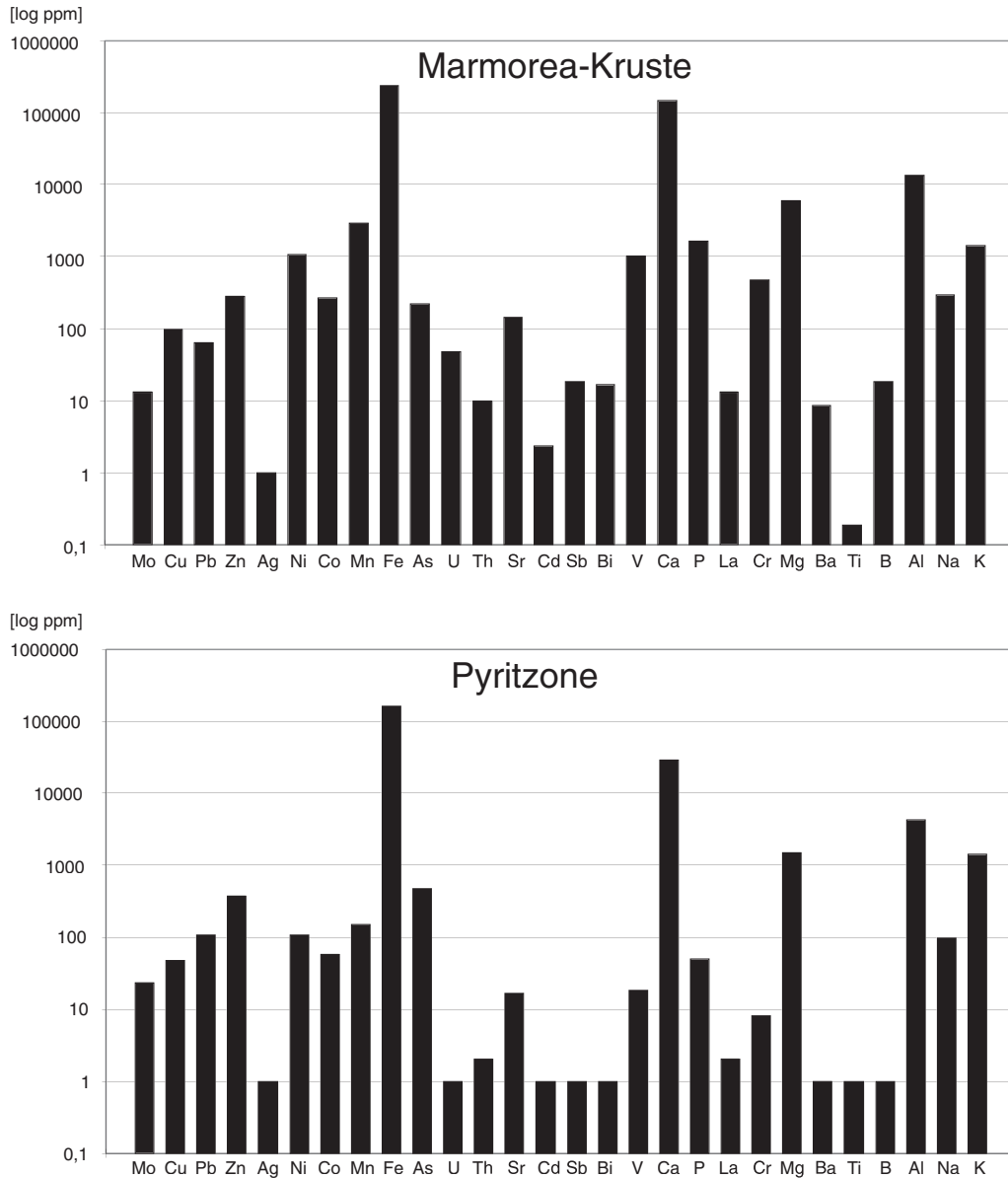


Abbildung 6 Logarithmischer Auftrag der Verteilung der Spurenelemente in der Marmorea-Kruste und der Pyritzone (Mittelwert).

Messpunkt	Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
T(h)	[°C]	152	150	159	158	139	108	166	138	151	200	135
T(m ICE)	[°C]	-8,9	-5,2	-5,5	-1,4	3,6	2,6			-11,3	-11,7	3,4
Messpunkt	Nr.	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
T(h)	[°C]	167	166	155	172	126	219	205	208	191	233	159
T(m ICE)	[°C]	-0,9				-11,1	-12,3	-1,5		-1,2		-3,3
Messpunkt	Nr.	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
T(h)	[°C]	193	186	206	173	164		168	184	184	152	164
T(m ICE)	[°C]	-11,6	2,4	-5,7		-11,1	-11,2	Einzelproben 97D2				

Tabelle 3 Messwerte von $T_{(h)}$ und $T_{(m,ice)}$ der 28 dicht beeinanderliegenden Flüssigkeitseinschlüsse und fünf weiterer Flüssigkeitseinschlüsse aus der Probe 97D2.

sich in der Mitte parallel zu den Zwillingenlamellen.

Von 19 Flüssigkeitseinschlüssen konnten sowohl $T_{(h)}$ als auch $T_{(m,ice)}$ gemessen werden und diese Messergebnisse wurden in einem Plot „ $T_{(h)}$ gegen $T_{(m,ice)}$ “ aufgetragen (Abb. 8). Es zeigen sich vier ausgeprägte Häufungen bei gleichen $T_{(m,ice)}$ -Werten: Vier Messwerte plotten um 3 °C für $T_{(m,ice)}$ und Werten von 108 bis 186 °C für $T_{(h)}$ (Gruppe 1). Bei der Messung der Schmelztemperatur wurde bei diesen vier Einschlüssen ein schlagartiges Erscheinen der Gasblase beim Erwärmen beobachtet.

Vier weitere Messwerte liegen um -1 °C für $T_{(m,ice)}$ und streuen bei den $T_{(h)}$ -Werten zwischen 158 und 205 °C (Gruppe 2). Drei Messungen haben einen $T_{(m,ice)}$ -Wert von ca. $-5,5\text{ °C}$ und $T_{(h)}$ -Werte von 150 bis 206 °C (Gruppe 3). Die vierte Häufung für $T_{(m,ice)}$ befindet sich bei ca. -11 °C und besitzt $T_{(h)}$ -Werte von 126 bis 219 °C (Gruppe 4).

Ebenfalls auffallend ist eine Häufung von acht Messwerten um 155 °C für $T_{(h)}$. Die fünf weiteren Messwerte von Probe 97D2 außerhalb der Abb. 7 liegen bei Werten von 152 bis 184 °C für $T_{(h)}$.

Lage der Flüssigkeitseinschlüsse

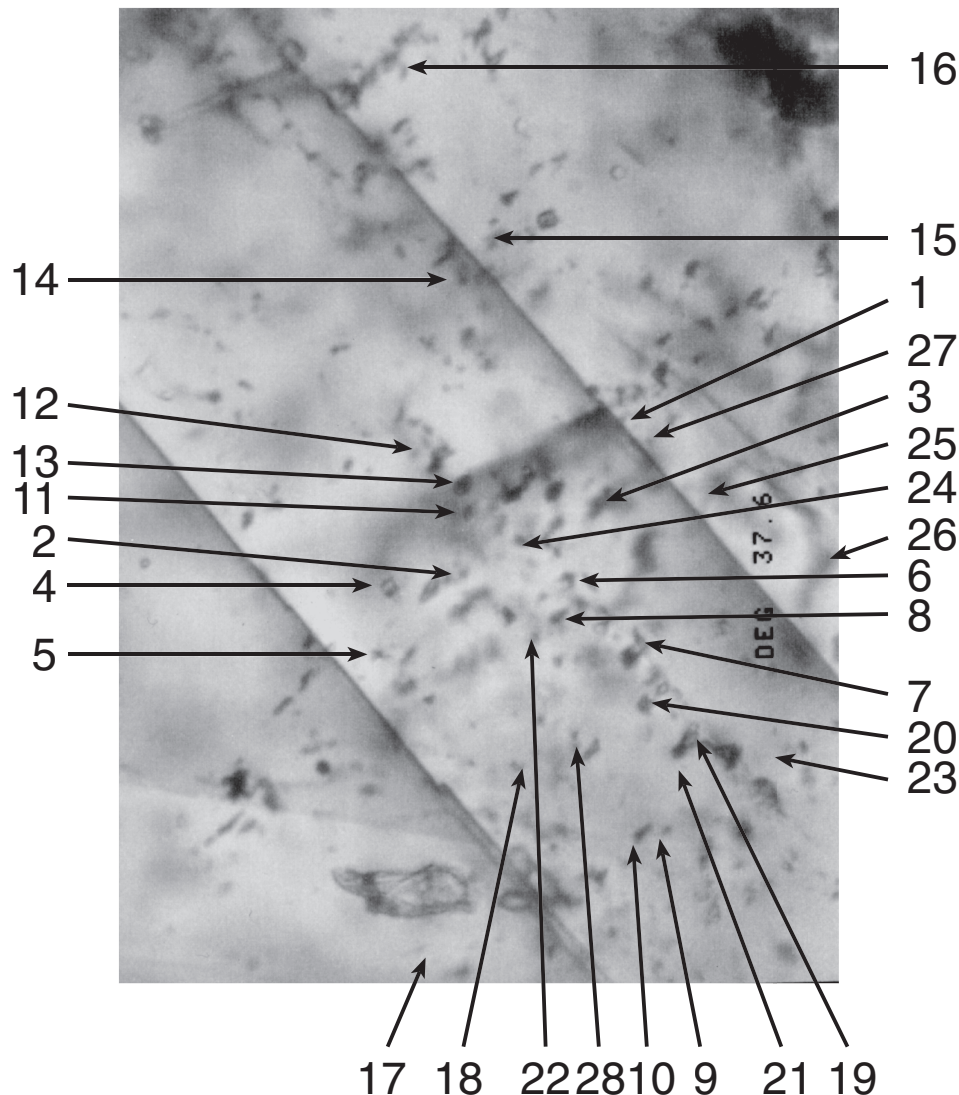


Abbildung 7 Verteilung der Flüssigkeitseinschlüsse. Die Bildbreite beträgt $0,16\text{ mm}$.

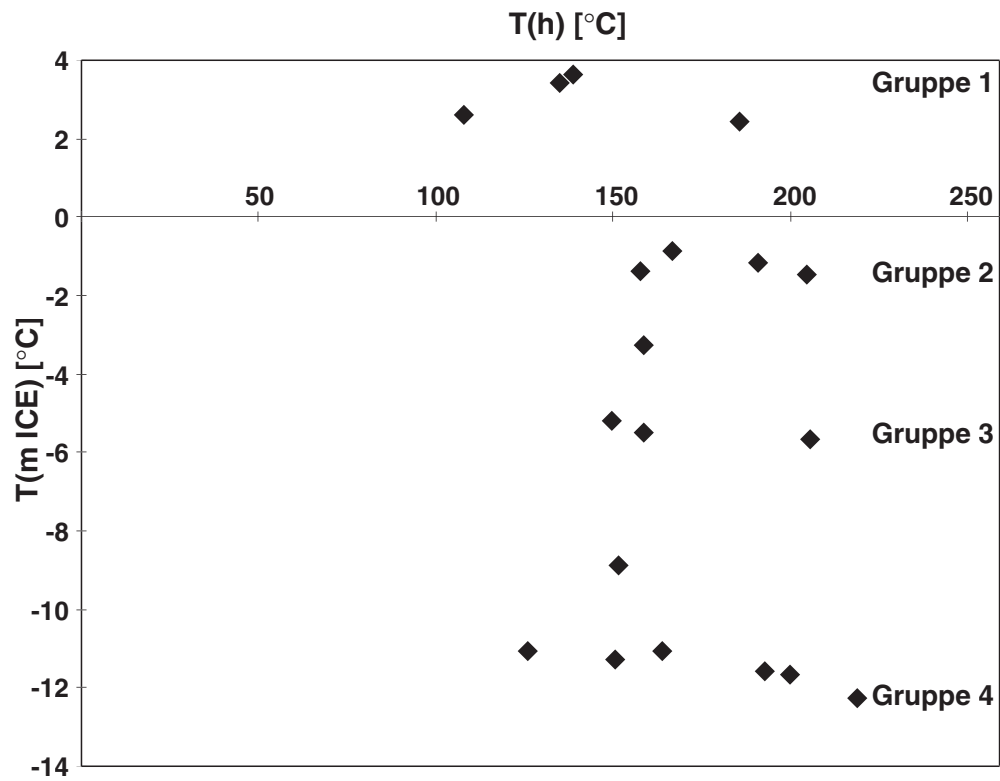


Abbildung 8 „ $T_{(h)}$ gegen $T_{(m,ice)}$ -Plot“ aus Zementen in der Schnöll-Abschiebung.

4 Interpretation und Diskussion

4.1 Schnittbeziehungen und Altersabfolgen der Zemente

Die Altersbeziehungen einzelner Zementgenerationen ergeben sich aus den Schnittbeziehungen untereinander, ein älterer Zement kann nur von einem jüngeren Zement durchschnitten werden. Kommen mehrere Zementgenerationen innerhalb einer Kluft vor, so ist der jüngste Zement im Normalfall in der Mitte was mit syntaxialem Wachstum bezeichnet wird (RAMSAY & HUBER 1983, PASSCHIER & TROUW 1996). Eine umgekehrte Abfolge wird antitaxial genannt, was aber nur einmal bei einer NE-streichenden Kluft aus dem Probengebiet Gaichtpass beobachtet werden konnte (siehe Fototafel 1). Die Bestimmung der Altersabfolge bzw. Schnittbeziehungen kann erschwert werden, wenn Zemente von Drucklösung betroffen sind, wobei im allgemeinen aber Stylolithe übrigbleiben und dann eventuelle Lösungsreste mit UV-Licht angeregt werden können, wie im Fall der Probe „Klambach-Süd“ im Probengebiet Achensee.

4.1.1 Vorkommen der Zemente in den einzelnen Störungssets und das daraus abgeleitete Alter

Für die relative zeitliche Einordnung von tektonischen Bewegungen entlang von Störungen und von Zementation in den entstandenen Hohlräumen wurde eine einfache geologische Methode angewandt, die Methode der stratigraphischen Reichweite: Das Vorkommen von Zementen in einer Störung bedeutet, dass diese Störung mindestens das Alter des Zements haben muss. Umgekehrt kann, wenn das Alter der Störung bekannt ist, die Bildung des Zements zeitlich eingegrenzt werden.







Der KSD aus der ersten Zementationsphase und der ZCB aus der zweiten Zementationsphase treten in den N-streichenden Blattverschiebungen auf. Die NE-streichenden sinistralen Blattverschiebungen enthalten alle Zemente der zweiten Zementationsphase, also ZCB und jüngere Zemente. In Klüften die

subparallel zur C-Achse der E-streichenden Falten gebildet wurden konnten nur Zemente der zweiten Zementationsphase beobachtet werden. Die WNW-streichenden, dextralen Blattverschiebungen enthalten alle Zemente vom KSD bis zum ECB. In den Proben aus Klüften die mit der Lechtal-Überschiebung oder der Inntal-Überschiebung assoziiert sind, waren Relikte eines Satteldolomits, die zum Teil als Subtyp V des KSD interpretiert werden, und der zonierte calcitische Blockzement feststellbar. Die untersuchten Abschiebungen enthalten alle Zemente aus der ersten und zweiten Zementationsphase. Die Tabelle 4 fasst die Zementverteilungen und das daraus abgeleitete Entstehungsalter zusammen.

4.1.1.1 Das Alter der N- und WNW-streichenden Blattverschiebungen

Das Entstehungsalter beträgt für die N-streichenden und die WNW-streichenden Blattverschiebungen mindestens Obere Trias / Unterer Jura, weil in diesen Störungen jeweils der klare Satteldolomit beobachtet werden konnte. Interessant ist die Beobachtung am Probenahmepunkt „Mühlbach“ im Probengebiet Lenggries. Dort wurde in einer WNW-streichenden Blattverschiebung, die in der Wetterstein Formation angetroffen wurde, ein früher radiaxial fibröser Zement mit trüben Kristallen beobachtet. Dieses Vorkommen

Tabelle 4 Verteilung der Karbonatzemente in den verschiedenen Störungen bzw. Klüften und das daraus abgeleitete minimale Bildungsalter.

Karbonatzemente	Störungen / assoziierte Klüfte	Minimales Bildungsalter
KSD und ZCB	 N-streichende Blattverschiebungen	Unterer Jura
ZCB und jünger	 NE-streichende Blattverschiebungen	Tertiär
ZCB und jünger	 E-streichende Faltenachsen	Tertiär
Alle Zemente ZCB kann fibrös sein	 WNW-streichende Blattverschiebungen	Unterer Jura Trias?
KSD (Subtyp V?) und ZCB	 Lechtal- und Inntal-Überschiebung	Kreide
Alle Zemente	 Abschiebungen	Unterer Jura

zeigt an, dass WNW-streichende Störungen auch schon im Ladin aktiv gewesen sein können. Ob die WNW-streichenden Blattverschiebungen schon in der Mehrzahl präjurassisch angelegt wurden und erst später bei der Bildung des KSD verfüllt wurden ist nicht eindeutig feststellbar. Da sich im Unteren Jura WNW-streichende Neptunian Dikes im mittleren Teil der NKA (BÖHM et al. 1995, SCHWELGEL & NEUBAUER 1997) entwickelten, wird in dieser Arbeit ebenfalls ein jurassisches Entstehungsalter der meisten WNW-streichenden Blattverschiebungen angenommen. Das bisher von EISBACHER et al. (1990) und LINZER et al. (1995) angenommene kretazische Alter der WNW-streichenden Blattverschiebungen ist zu jung, weil dort der klare Satteldolomit (Subtyp I bis IV) mit jurassischem Alter angetroffen wurde. FROITZHEIM & EBERLI (1990) beschreiben am westlichen Rand der Ostalpen N-streichende listrische Abschiebungen aus dem Unteren Jura, belegt durch synsedimentäre Ablagerungen und einer auf Ammoniten beruhenden Stratigraphie. Mit dem Auftreten des klaren Satteldolomits in den N-streichenden Blattverschiebungen in den NKA ist deren jurassisches (Minimum-)Alter ebenfalls bewiesen. Ob die N-streichenden Störungen vom Rand der Ostalpen und die in dieser Arbeit untersuchten genetisch zusammenhängen ist jedoch unklar. Mit dem Auftreten der Zemente der zweiten Zementationsphase sowohl in den N-streichenden als auch in den WNW-streichenden Blattverschiebungen ist eine Reaktivierung derselben anzunehmen. Zwar wäre auch ein unvollständiges Verfüllen der Kluft- bzw. - Störungshohlräume durch den KSD denkbar, da aber im Tertiär von verschiedenen Autoren (z.B. RATSCHBACHER et al. 1991, FRISCH et al. 1998) eine intensive Störungsaktivität entlang der WNW-streichenden Blattverschiebungen durch laterale Fluchtbewegungen bzw. Extrusion der Ostalpen nach Osten berichtet wird, wird hier von einer Reaktivierung der N-streichenden als auch WNW-streichenden Blattverschiebungen ausgegangen. Da in den N-streichenden Blattverschiebungen von den Zementen der zweiten Zementationsphase lediglich der ZCB beobachtet werden konnte, ist es möglich, dass diese zuletzt im Unteren Miozän, dem Bildungsalter des ZCB entsprechend (KUHLEMANN et al. 1996), während der late-

ralen Extrusion der Ostalpen (FRISCH et al. in press) reaktiviert wurden.

4.1.1.2 Das Alter der E-streichenden (Klein-)Falten und der NE-streichenden Blattverschiebungen

Klüfte in der Allgäu Formation assoziiert mit E-streichenden Kleinfalten, die aus mechanischen Gründen in den Schenkeln von E-streichenden Großfalten angelegt wurden, enthalten nur Zemente der zweiten Zementationsphase und belegen damit deren tertiäres Entstehungsalter. Die raumgreifende und E-streichende Faltung des Deckenstapels im Tertiär (EISBACHER & BRANDNER 1996) kann somit auch in den Kleinfalten wiedergefunden werden. Da in den jurassischen Sedimenten der NKA auch Rutschfalten bekannt sind, die manchmal von Kleinfalten aus der späteren Faltung nicht zu unterscheiden sind, ließe sich zukünftig mit der Methode der stratigraphischen Reichweite der Zemente in solchen Klüften mehr Klarheit über die Faltengeneese verschaffen. Die NE-streichenden Blattverschiebungen enthalten ebenfalls nur Zemente der zweiten Zementationsphase, so dass durch das Fehlen des klaren Satteldolomits eine Entstehung nach der Deckenüberschiebung anzunehmen ist. In der vorliegenden Arbeit wird für die NE-streichenden Blattverschiebungen mit sinistralen Bewegungssinn von einem miozänen Alter ausgegangen, da sich das Zementalter annähernd mit den Untersuchungen von EISBACHER et al. (1990) und sehr gut mit den Untersuchungen von FRISCH et al. (in press) deckt. EISBACHER et al. (1990) vermutet ein paläogenes Alter für die NE-streichenden Blattverschiebungen in Zusammenhang mit der Schließung penninischer Becken, während FRISCH et al. (in press) aus Provenanzanalysen und Spaltspurendatierungen von Sedimenten in intramontanen Becken, die sich entlang von NE-streichenden Blattverschiebungen bildeten, ein Alter am Ende des Unteren Miozäns für die Störungsaktivitäten in Zusammenhang mit der lateralen Extrusion der Ostalpen herleitet.

4.1.1.3 Das Alter der Lechtal- und der Inntal-Überschiebung

Mit der Lechtal- und der Inntal-Überschiebung assoziierte Klüfte können zwar Relikte des klaren Satteldolomits enthalten sind, aber ansonsten nur mit zonierte calcitischen Blockzement verfüllt. Für das Vorkommen des KSD gibt es zwei Möglichkeiten: Entweder wurden bei den untersuchten Proben Störungen beprobt, die schon vorher angelegt wurden und später bei der Deckenüberschiebung benutzt wurden. Das können z.B. invertierte Abschiebungen bzw. günstig orientierte Blattverschiebungen sein. So nehmen LEMOINE & TRÜMPY (1987) an, dass präexistente Sedimentationsmuster und Faziesunterschiede zur Ausbildung von späteren Überschiebungen und Blattverschiebungen führten. Oder es handelt sich bei den Relikten um den Subtyp V des klaren Satteldolomits, der sich frühestens post-Unter Jura eventuell nahe der Wende Untere/Obere Kreide (vgl. Deckenüberschiebungsbeginn um 97 Ma nach EISBACHER et al. 1990) gebildet haben könnte. Da in der Probe „Buchhorn“ im Probengebiet Nassereith in der oberjurassischen Ammergau Formation KSD angetroffen wurde, ist es am wahrscheinlichsten, dass es sich bei dem KSD um den Subtyp V handelt.

Auffallend ist, dass während der Zeit der Deckenüberschiebung ab der Oberen Kreide bis zur Bildung der NE-streichenden Blattverschiebungen im Miozän keine Zementabscheidungen beobachtet werden können. Nach SIBSON (1993) führen kompressive Spannungsregime bzw. Überschiebungen allgemein bis auf den kurzzeitigen Vorgang des Bebens selbst zum Ausquetschen von Fluiden. Der Subtyp V könnte demnach hauptsächlich dann entstanden sein, als das Spannungsregime von vormals extensional auf kompressiv wechselte. Eine spätere generelle Fluidarmut (zumindest in der Nähe der Störungen) könnte eine Erklärung sein, warum zwischen dem letzten Subtyp V des klaren Satteldolomits und dem ersten Zement der zweiten Zementationsphase keine Zementabscheidung stattfand, obwohl durch tektonischen Spannungsabbau Hohlräume entlang der Störungen gebildet worden sein müssen. Das Vorkommen von ZCB in Zusammenhang mit der Lechtal- und der Inntal-

Überschiebung wird auf die tertiäre großräumige Faltung des Deckenstapels und den damit verbundenen Überschiebungen in tieferen Niveaus erklärt.

4.1.1.4 Das Alter der Abschiebungen

Die angetroffenen Abschiebungen müssen ein jurassisches (Minimal-)Alter haben, weil dort KSD beobachtet werden konnte. Während am Probennahmepunkt „Filzmosbach“ am Achensee ausschließlich KSD beobachtet wurde, trat am Probennahmepunkt „Schnöllbruch“ bei Adnet noch zusätzlich ZCB auf, sodass bei letztgenannter Lokalität von einer Reaktivierung ausgegangen werden kann. Diese Interpretation wird durch die NE-streichende Orientierung der Schnöll-Abschiebung (62/83N) mit 62/0-orientierten Faserharnischen und sinistralen Bewegungssinn unterstützt. Auch in der jurassischen Abschiebung an den Probennahmepunkten „Motto“ im Probengebiet Livigno (Unterostalpin) ist ebenfalls noch zusätzlich ZCB vorhanden so dass auch diese Störungen reaktiviert worden sein müssen. Wenn auch bisher in der Literatur sehr wenig von prä-kretazischen Abschiebungen berichtet wurde, so sind doch immerhin WNW-streichende Neptunian Dikes im mittleren Teil der NKA von BÖHM et al. (1995) im Unteren Jura beschrieben worden. Diese Synchronizität von Dehnungsbewegungen (Neptunian Dikes) und Zementation ist bemerkenswert.

4.1.1.5 Das Alter von anderen Blattverschiebungen und Falten

In der E-streichenden Blattverschiebung (88/88S) am „Nordsteinbruch Maurach“ im Probengebiet Achensee wurde die Zementabfolge KSD, ZCB, ECB beobachtet. Dies deutet darauf hin, dass diese Störung auch schon im Unteren Jura entwickelt wurde. Die Störung könnte zu dem E-streichenden jurassischen Transferstörungssystem gehört haben, welches CHANNELL et al. (1990) in ihrem ca. 10 km weiter nördlichen Untersuchungsgebiet untersucht haben. Eine weitere E-streichende Blattverschiebung (92/72S) mit dextralem Bewegungssinn am Probennahmepunkt „Rechenau“ (Probengebiet Wendel-

stein) enthält ebenfalls den Satteldolomit der ersten Zementationsphase und somit ist das Entstehungsalter dieser Störung jetzt auch lokal zeitlich eingrenzbar. Die Probe „Hinteres Alpjoch“ (Probengebiet Hahntenjoch) zeigt an, dass die Faltenbildung im Tertiär durchaus lokal im Streichen variiert und von der generellen E-W-Richtung abweichen kann. Dort ist nämlich in einer Überschiebung im Faltenkern mit der Orientierung 47/78NW der ZCB beobachtet worden.

4.1.2 Ausbildung der Zemente

Die Ausbildung der Zemente wurde unterschieden in isometrisch und fibrös. Ferner wurde berücksichtigt, ob die Karbonatzemente durch Korrosion Relikte von früheren Zementen enthalten. Ebenso kann ein Calcit-zement in der Kristallform eines Satteldolomitzements durch Dedolomitierung vorkommen. Zur eindeutigen Unterscheidung der Zementgeneration wurde daher in einem solchen Zweifelsfall der Schliff angefärbt, dann unter KL näher bestimmt oder mit Hilfe der Schnittbeziehungen eine eindeutige Zuordnung hergestellt.

4.1.2.1 Fibröses Kristallwachstum

Aus der Unterscheidung von fibrösem und isometrischem Kristallwachstum, kann ein zeitlicher Zusammenhang zwischen Kluftentstehung und Bildung des Karbonatzements abgeleitet werden. Ein faseriges Kristallwachstum kann nach RAMSAY & HUBER (1983) so gedeutet werden, dass Zementation und Kluftöffnung gleichzeitig abläuft. Das Auseinanderkriechen der Kluftwände erfolgt nämlich hierbei so langsam, dass das Kristallwachstum mithalten kann. Kommt es neben der Translationsbewegung auch noch zu Rotationsbewegungen so können die fibrösen Kristalle gebogen aufwachsen (siehe dazu Fototafel 2). Bei isometrischem Wachstum ist der Zement in einem freien unbehinderten Raum aufgewachsen, d.h. er ist nach der Kluftöffnung entstanden. Wieviel Zeit zwischen Kluftöffnung und Zementation verstrichen ist, bleibt unklar. Einerseits ist es somit vorstellbar, dass auch schon ein schlagartiges Aufreißen der Kluft (z.B. induziert durch

ein starkes Beben) genügt, um den Zement danach isometrisch auszubilden. Andererseits kann zwischen der Öffnung und der Zementation auch ein größerer Zeitraum liegen, wodurch eine Kluft sogar nur mit einer späteren Zementgeneration verfüllt wird, wenn das Ausgangsfluid die Kluft nicht ausreichend erreicht hat oder das Fluid nicht übersättigt war.

Im Untersuchungsgebiet wurde fibröses Kristallwachstum in sechs Fällen beim ZCB, zweimal beim UCB und zweimal beim KSD beobachtet. Einmal ist ein früher radiaxial fibröser Zement ausgebildet. Sechs fibröse Vorkommen konnten in den WNW-streichenden Blattverschiebungen angetroffen werden. Das sind zwei verschiedene Proben vom Probennahmepunkt „Gaichtpassstraße“ (Allgäu Formation und Ruhpolding Formation, Probengebiet Gaichtpass), der Probennahmepunkt „Brücke“ (Kalkstein aus der Kössener Formation, Probengebiet Lech), der Probennahmepunkt „Mühlbach“ (Wetterstein Formation, Probengebiet Lenggries), der Probennahmepunkt „Kochel“ (Wetterstein Formation, Probengebiet Lenggries) und der Probennahmepunkt „Leutaschklamm“ (Wetterstein Formation, Probengebiet Mittenwald/Scharnitz). Drei NE-streichende Blattverschiebungen enthielten fibröse Kristallformen, so die Probennahmepunkte „Klamm bach-Süd“ (Ammergau Formation, Probengebiet Achensee), „Bschrabstunnel“ (Kalkstein aus der Kössener Formation, Probengebiet Hahntenjoch) und „Tunnel“ (Allgäu Formation, Probengebiet Lech). Die Schnöll-Abschiebung (Kalkstein aus der Schnöll Formation, Probengebiet Adnet) enthielt ein fibröses Vorkommen. In den N-streichenden Blattverschiebungen konnte kein fibröses Wachstum festgestellt werden.

Zwar kommt der ZCB häufiger in fibröser Kristallausbildung vor als alle anderen und die WNW-streichenden Blattverschiebungen sind auch bevorzugte Plätze für fibröse Zemente, eine Interpretation dieses Phänomens ist aber auf Grund fehlender statistischer Absicherung nur eingeschränkt möglich. So wäre es denkbar, dass der ZCB deshalb in den WNW-streichenden Blattverschiebungen doppelt so oft in fibröser Kristallform vorkommt als in den NE-streichenden Blattverschiebungen, weil in den WNW-streichenden

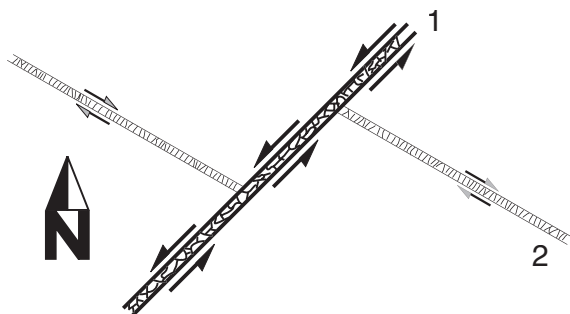


Abbildung 9 Modell für das konjugierte Scherpaar: Während der ZCB in den NE-streichenden Blattverschiebungen (1) isometrisch ausgebildet wurde, weil diese sich schnell öffneten, wuchs er in den WNW-streichenden Blattverschiebungen (2) fibrös auf, da er im Wachstum mithalten konnte.

Blattverschiebungen die Klüfte langsam auf-rissen bzw. die Versatzbeträge an den Störungen geringer waren, als zum gleichen Zeitpunkt an den NE-streichenden Blattverschiebungen. Dieses Modell eines konjugierten Scherpaars ist in der Abb. 9 dargestellt und muss für das Miozän gelten, weil da der ZCB gebildet wurde (KUHLEMANN 1995, ZEEH et al. 1997, WALTER 1999). Es passt gut in die Beobachtungen von FRISCH et al. (1998), wonach bei den palinospastischen Rekonstruktionen der NKA auch den NE-streichenden Blattverschiebungen eine größere Bedeutung beim Versatz zugemessen wird als den WNW-streichenden Blattverschiebungen, um die NKA ab dem Oligozän in die heutige Position zu schieben (vgl. FRISCH et al 1998: Fig. 2). Die beiden bedeutendsten Störungen in den NKA, die Inntal-Blattverschiebung und die Salzachtal-Ennstal-Blattverschiebung, gehören beide zum System der NE-streichenden Blattverschiebungen mit sinistralen Versatz. Unter rheologischen Gesichtspunkten ist es bemerkenswert, dass die fibröse Ausbildung besonders in kompetenteren Wirtsgesteinen auftritt, also Kalksteinen (hier besonders die Wetterstein Formation), während in inkompetenteren Gesteinen wie Mergeln, Tonsteinen, Wechsellagerungen von Kalk- und Dolomitgesteinen etc. eher isometrische Kristallformen vorherrschen.

4.1.2.2 Dedolomitisierung und Zwillingslamellen

In den WNW-streichenden Blattverschiebungen treten neben jüngeren Blockcalcitzementen sechs Vorkommen von KSD mit normalen Kristallformen (z. B. gebogene Spaltflächen) auf, sechsmal waren nur noch Relikte anzutreffen und dreimal war der KSD vollkommen dedolomitiert und wurde dann mit Hilfe der Anfärbetechnik erkannt. In den N-streichenden Blattverschiebungen waren drei unbeeinflusste KSD-Vorkommen und ein reliktsches Vorkommen feststellbar. In den Deckenüberschiebungen und der Schnöll-Abschiebung (Probengebiet Adnet) wurde KSD ausnahmslos reliktsch beobachtet. Anhand der Messwerte für Ca und Mg in der Tabelle 1 (Kapitel 3.4.1) lässt sich zeigen, dass sich die frühere Präsenz von KSD nicht deutlich in verringerten Ca-Gehalten bzw. erhöhten Mg-Gehalten der Mischproben niederschlägt, was auf eine durchgreifende Dedolomitisierung des KSD zurückzuführen sein kann. Die Probe Schwarzenbach (Probengebiet Lenggries) beispielsweise enthielt zwar neben ZCB auch Relikte von KSD, aber dennoch lag der Mg-Gehalt bei 0,24 % und damit ungefähr gleichauf (0,20 %) zu der Probe Anderlkopf (Probengebiet Lenggries), in der nur ECB aber kein KSD auftrat. Die Ca-Werte lagen bei beiden Proben bei 34,62 % (Anderlkopf) und 35,60 % (Schwarzenbach). Wenn das Wirtsgestein jedoch schon einen höheren Mg-Gehalt besitzt, so enthält auch der KSD in einer Mischprobe, selbst wenn er vom ZCB weitestgehend verdrängt wurde, einen höheren Mg- bzw. niedrigeren Ca-Gehalt. Das wurde an der Probe Blauberg (Probengebiet Achensee) festgestellt, wo in der Plattenkalk Formation, an deren Basis noch Bänke von Hauptdolomit Formation eingeschaltet sein können, der Mg-Gehalt bereits 8,49 % betrug und der beprobte Zement einen Mg-Gehalt von 4,47 % aufwies.

Eine sich durchkreuzende Zwillingslamellierung des ZCB wurde nur in der Lechtal-Überschiebung bei Lenggries angetroffen und die Breite betrug dort weniger als 0,1 mm pro Lamelle. Nach der Calcitzwillings-Klassifikation von BURKHARD (1993, gut zusammengefasst in PASSCHIER & TROUW 1996) ist diese Probe dem Zwillingstyp I zuzuordnen, der

eine Temperatur unter 200 °C anzeigt. Da die Zwillingstypen von I bis IV zunehmende Temperaturen und insbesondere eine durchgreifendere Deformation anzeigen, wird in dieser Arbeit davon ausgegangen, dass alle Zementproben bis auf die Probe aus der Lechtal-Überschiebung mit großer Wahrscheinlichkeit keiner ersichtlichen Deformation ausgesetzt wurden.

4.2 Die Spurenelemente und das Alter des Subtyp II und III des KSD

Die Spurenelementgehalte der Pyritzone, welche in der Schnöll-Abschiebung innerhalb des ZCB auftritt, die wiederum Relikte von dedolomitiertem KSD enthält, und der Marmorea-Kruste aus Adnet zeigen ein sehr ähnliches Verteilungsmuster, welches in Kapitel 3.4.2 bereits beschrieben wurde (siehe auch Abb. 6). Zwischen dem Subtyp II und III des KSD tritt die Chloritzone auf, die hauptsächlich Clinochlorit ($(\text{Mg,Fe,Al})_6(\text{Si,Al})_4\text{O}_{10}(\text{OH})_8$) und untergeordnet Pyrit (FeS_2), Bleiglanz (PbS) und Zinkblende (ZnS) enthält (ZEEH 1998, KAPPLER & ZEEH 2000). Untersuchungen von KAPPLER & ZEEH (2000) an den Spurenelementgehalten der Chloritzone an einer Probe mit anisichem Alter aus dem Fellbachgraben (Weissensee im Drauzug) ergaben Messwerte, die in Tabelle 5 dargestellt sind. Die Gesamtgehalte aller gemessenen Elemente sind in der Chloritzone geringer als die der Pyritzone bzw. Marmorea-Kruste (vgl. Tabelle 2) und speziell die Fe- und Mn-Werte sind besonders hoch in den letztgenannten. Die Ca- und Mg-Werte sind in allen drei nicht-karbonatischen Zonen relativ hoch, mit einem absoluten und besonders herausragenden Maximum an Mg in der Chloritzone. Die Al-, Pb-, Zn-, and Ni- Gehalte sind in allen drei

nicht-karbonatischen Zonen ebenso bemerkenswert hoch.

Das Verteilungsmuster aller Spurenelemente der Pyritzone, der Marmorea-Kruste und der Chloritzone liegt sehr ähnlich, wie in Abb. 10 wiedergegeben. Anhand einer Korrelationsanalyse wurden die Spurenelementgehalte der Marmorea-Kruste, der Pyritzone und der Chloritzone näher untersucht. Aufgrund der unterschiedlichen Mineralogie der Marmorea-Kruste und Pyritzone einerseits und der Chloritzone andererseits wurden die Hauptelemente Ca, Mg und Fe bei der Korrelationsanalyse zwischen diesen drei nicht-karbonatischen Zonen nicht berücksichtigt. Zweck der Auslassung dieser drei Elemente mit bis in den zweistelligen Prozentbereich reichenden Gehalten ist es, die Spurenelemente gegenüber den Hauptelementen besser zu wichten. Damit soll dem Rechnung getragen werden, dass z. B. der Mg-Gehalt der Chloritzone schon aufgrund der chemischen Formel als Hauptelement eine übergroße Bedeutung hat und der hohe Gehalt an Fe in der Pyritzone sich bereits aus dem Vorkommen des Pyrits selbst ergibt. Ca kann beim Bohren als Verunreinigung während der Probenaufbereitung der Pyritzone in die Analyse gelangt sein, da die Pyritzone selbst ja nur 0,2 bis 2 mm breit ist und von calcitischem Blockzement umgeben wird. Die Marmorea-Kruste kann auch Ca als Hauptelement enthalten. Ohne Ca-, Mg- und Fe-Werte ergab sich ein Korrelationskoeffizient von 0,96 für die Chloritzone und die Marmorea-Kruste, für die Chloritzone und die Pyritzone lag der Korrelationskoeffizient bei 0,94 und für die Marmorea-Kruste und die Pyritzone wurde ein Korrelationskoeffizient von 0,93 ermittelt. Damit bestätigt sich die geochemische Gemeinsamkeit der Spurenelementgehalte des

Tabelle 5 Spurenelementgehalte der Chloritzone. Probe Fellbachgraben (Weissensee/Drauzug)

ELEMENT	Mo (ppm)	Cu (ppm)	Pb (ppm)	Zn (ppm)	Ag (ppm)	Ni (ppm)	Co (ppm)	Mn (ppm)	Fe (ppm)	As (ppm)	U (ppm)	Th (ppm)	Sr (ppm)	Cd (ppm)
Chloritzone	4	7	110	208	< 0,3	20	1	25	20500	90	< 5	5	9	0,2
ELEMENT	Sb (ppm)	Bi (ppm)	V (ppm)	Ca (ppm)	P (ppm)	La (ppm)	Cr (ppm)	Mg (ppm)	Ba (ppm)	Ti (ppm)	B (ppm)	Al (ppm)	Na (ppm)	K (ppm)
Chloritzone	4	< 2	27	3700	50	< 1	24	121200	3	< 0,1	3	52000	100	< 1000

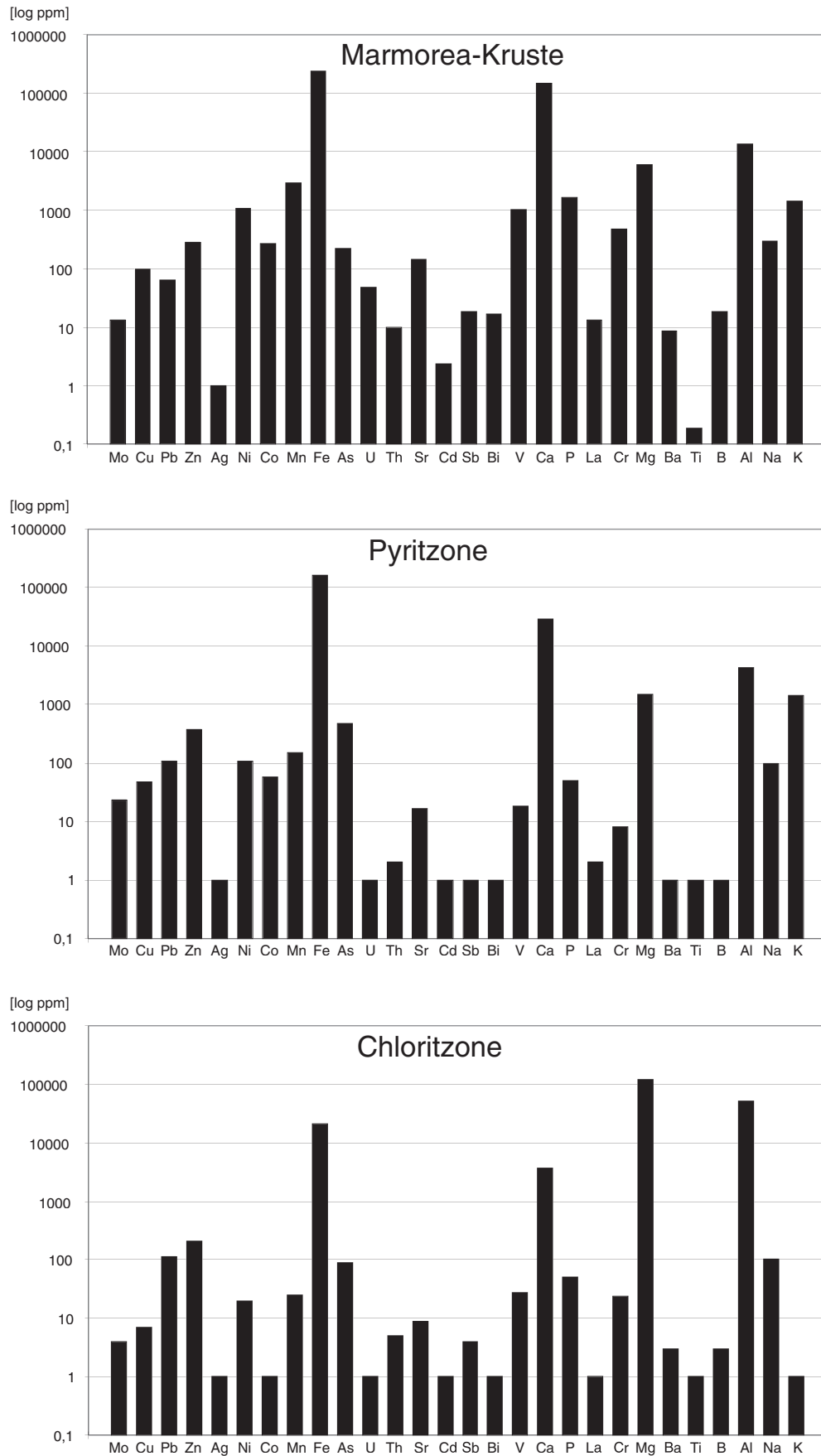


Abbildung 10 Logarithmischer Auftrag der Verteilung der Spurenelemente in der Marmorea-Kruste, der Pyritzone (Mittelwert) und der Chloritzone.

Ausgangsfluids für alle drei nicht-karbonatischen Zonen.

Andere Fe-Mn-Krusten aus dem westlichen Teil der NKA enthalten nach KINDLE (1990) hohe Gehalte an Pb, Zn, Ni, Co, V, und Cu. KINDLE (1990) interpretiert diese als Ergebnis hydrothermalen Aktivitäten im Unteren Jura und nimmt eine Temperatur-Tiefen-Zonierung der Minerale je nach Aquiferlage an. Pb-Zn-reiche Vererzungen sollen sich demnach in größeren Tiefen und bei höheren Temperaturen gebildet haben, Fe-Mn-reiche Vererzungen präzipitierten in geringerer Tiefe bei niedrigerer Temperatur. BÖHM et al. (1996) nimmt aufgrund der Spurenelementverteilung für die Marmorea-Kruste einen hydrothermalen Ursprung an. Auch ZEEH et al. (1997) machen einen solchen hydrothermalen Ursprung während der späten Trias und dem frühen Jura für die Bildung des KSD aufgrund von Bildungstemperaturen und $d^{18}O$ Werten des Fluids verantwortlich. Die hydrothermalen Aktivitäten werden in Zusammenhang mit dem Beginn des Rifts in dem sich öffnenden Becken in der späten Trias (BERTOTTI et al. 1993) und im frühen Jura (FROITZHEIM & EBERLI 1990) gebracht. LEMOINE & TRUMPY (1987) postulieren, dass das erste extensionale Spannungsereignis während des Hettang und des frühen Sinemur stattfindet. Die drei nicht-karbonatischen Zonen können unterschiedliche Stockwerke eines Aquifers darstellen, wo an der Grenze Hettang/Sinemur (datiert mit Hilfe der Marmorea-Kruste) in größerer Tiefe (Gesteine des Anis, Ladin, Karn) und bei höheren Temperaturen Pb-Zn-reiche Vererzungen sich abschieden bzw. die Chloritzone gebildet wurde und in geringerer Tiefe (Gesteine des Unteren Jura) und bei niedrigeren Temperaturen Fe-Mn-reiche Vererzungen, d.h. Pyritzone und Marmorea-Kruste gebildet wurden. Somit kann für den Subtyp II des KSD ein prä- bis syn-Spät-Hettang Alter und für den Subtyp III ein syn- bis post-Spät-Hettang Alter abgeleitet werden.

4.3 Alter der Zemente

Das bisher bekannte Alter der Zemente konnte in dieser Arbeit bestätigt werden, die stratigraphische Reichweite des KSD (Subtyp I - IV) reichte vom Anis (Muschelkalk Formation)

bis Unterer Jura (Allgäu Formation), der Subtyp V erreicht wahrscheinlich den Oberen Jura (Ammergau Formation). In der Probe „Gaichtpassstraße“ im Probengebiet Gaichtpass tritt in der Ruhpolding Formation in einer WNW-streichenden Blattverschiebung der KSD auf. Da diese Probe nur ca. 50 m von der Lechtal-Deckenüberschiebung entfernt genommen wurde, liegt die Vermutung nahe, dass es sich hierbei um den Subtyp V handelt, der an anderen Probennahmepunkten sowohl in der Lechtal- als auch in der Inntal-Deckenüberschiebung beobachtet werden konnte. Da die WNW-streichenden Blattverschiebungen schon vor der Deckenüberschiebung angelegt waren, ist es denkbar, dass eine Verbindung zwischen den beiden bestand. Am Probennahmepunkt „Bergstation Drischel“ im Probengebiet Hahntenjoch trat der KSD lediglich in den Wettersteinkomponenten eines Komglomerats der Gosau Formation auf. Die Komponenten selbst sind von ZCB umgeben und werden auch von diesem durchschlagen. Diese Probe beweist, dass der KSD prä-gosauisches Alter haben muss, was sich mit den bisherigen Untersuchungen deckt.

4.4 Fluideinschlüsse der Schnöllabschiebung

Die im ZCB in der Schnöllabschiebung gemessenen Fluideinschlüsse (siehe Kapitel 3.5.) lassen aufgrund der geringen Anzahl der gemessenen Fluideinschlüsse (mit Schmelztemperatur als auch Homogenisierungstemperatur) nur eingeschränkt statistische Aussagen zu; es wird daher zusätzlich eine Einzelbewertung vorgenommen. Auffallend ist eine Häufung der $T_{(h)}$ -Werte im Bereich von 150 bis 170 °C, wo sich allein 45% aller gemessenen Homogenisierungstemperaturen befinden (vgl. Tabelle 3). Die Schmelztemperaturen variieren bei diesen Messpunkten über einen Bereich von -1 bis -11 °C. Unter der Annahme, dass die unterschiedlichen Schmelztemperaturen von unterschiedlichen Salinitäten der Flüssigkeitseinschlüsse herühren, liegt der Schluss nahe, dass sich hier verschieden saline Wässer gemischt haben könnten. Dieses Modell wird in der Abb. 11 mit dem vertikalen Doppelpfeil als „Zufluss“ angedeutet. Da es sich bei dem Zement um

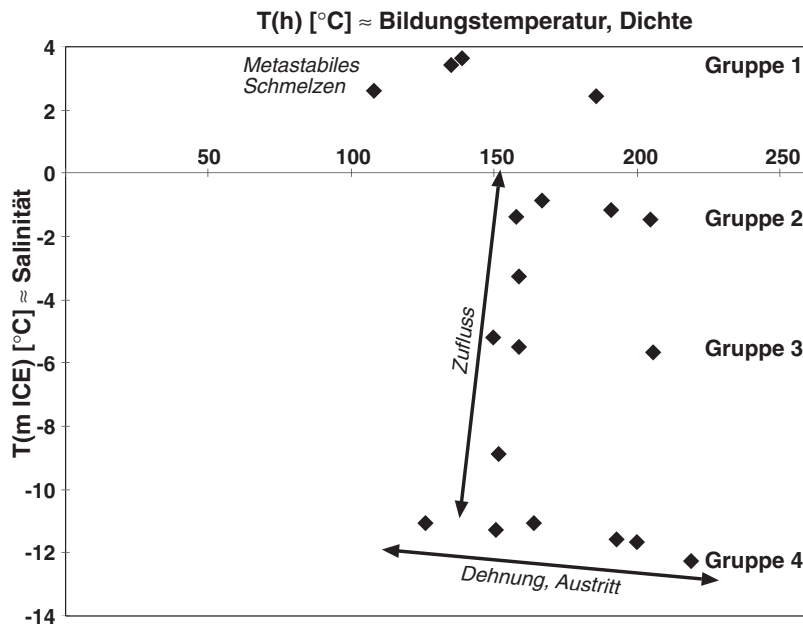


Abbildung 11 Interpretation des „ $T_{(h)}$ gegen $T_{(m,ice)}$ “-Plot“ aus der Schnöll-Abschiebung bei Adnet: Metastabiles Schmelzen erzeugt $T_{(m,ice)}$ -Werte über $0^{\circ}C$, Zufluss verschieden-salinärer Lösungen führt zu veränderlichen Schmelztemperaturen $T_{(m,ice)}$ bei Konstanz der Homogenisierungstemperatur $T_{(h)}$ und Dehnung bzw. Austritt kann die konstanten Schmelztemperaturen bei veränderlicher Homogenisierungstemperatur erklären.

den zonierten calcitischen Blockzement handelt, der noch Relikte von klaren Satteldolomit enthält, könnte die Ursache für die Variabilität der Salinitäten auch damit erklärt werden, dass sich hier zwei verschiedenen salinare Zement-Ausgangsfluide gemischt haben. Dafür spricht die Tatsache, dass alle Messpunkte obwohl sie unterschiedliche Schmelztemperaturen aufweisen, sehr dicht beieinander liegen (siehe Fototafel 7).

Die vier Einschlüsse mit positiven $T_{(m,ice)}$ können durch metastabiles Schmelzen erklärt werden, d.h. beim Erwärmen bleibt die Eisphase über ihren eigentlichen Schmelzpunkt hinaus bestehen. Dafür spricht verstärkt die Tatsache, dass die Gasblase am Ende der Erwärmung schlagartig wieder auftauchte. Es bestehen nun zwei Möglichkeiten der Zuordnung zu einem Ausgangsfluid: Entweder die Einschlüsse der Gruppe 1 werden zusammen mit Gruppe 2 in eine Gruppe eingeordnet, was bei einer Differenz von ca. $4^{\circ}C$ für $T_{(m,ice)}$ durchaus vertretbar wäre, die dann lediglich dem metastabilen Schmelzen zu verdanken wäre. Oder die Einschlüsse der Gruppe 2 sind dem gleichen Fluid der Gruppe 3 zuzuordnen, welche ebenfalls ca. $4^{\circ}C$ auseinander liegen. Aufgrund fehlender statistischer Absicherung ist hier keine nähere Aussage möglich.

Auffallend ist, dass die einzelnen Gruppen bei ihren $T_{(h)}$ -Werten jeweils zwischen ca. 60 und $100^{\circ}C$ differieren (horizontale „Streckung“ der Messpunkte). Da die Homogenisierungstemperatur eine unterschiedliche Bildungstemperatur angibt, liegt es nahe, unterschiedliche Ausgangstemperaturen der Fluideinschlüsse bei der Entstehung anzunehmen. Der gleiche Effekt kann jedoch auch mit der Dehnung (engl. „stretching“) der negativen Kristallformen bzw. Fluideinschlüsse und einer Volumenveränderung erklärt werden oder mit einem Austritt bzw. Flüssigkeitsverlust (engl. „leakage“). Dabei bleibt die Zusammensetzung (Salinität) des Fluids gleich, die Dichte innerhalb des Einschluss ändert sich jedoch durch die Volumenzunahme oder den Flüssigkeitsverlust. Für eine Dehnung der Fluideinschlüsse spricht besonders die Tatsache, dass sich die Zemente in einer Abschiebung (62/83N) befinden, die im Tertiär als sinistrale Blattverschiebung reaktiviert wurde. Das beweisen die horizontalen Faserharnische mit einer 62/0-Orientierung auf der Störungsfläche. Ob es sich bei den gemessenen Einschlüssen um primäre Einschlüsse handelt, konnte nicht eindeutig festgestellt werden.

5 Zusammenfassung

Ausgehend von einer spätdiagenetischen Zementstratigraphie für die Ost- bzw. die Südalpen (ZEEH 1990, ZEEH 1998, ZEEH et al. 1997, ZEEH & BECHSTÄDT 1994, KUHLEMANN et al. 1993, KUHLEMANN 1995, WALTER 1999) wurden im Bereich der NKA, dem Mittelostalpin und dem Unterostalpin die Beziehungen von karbonatischen Zementen, nicht-karbonatischer Zementation und verschiedenen Störungssets untersucht. Arbeitsansatz war, die Vorkommen von zwei Satteldolomitcementen und drei karbonatischen Blockcalcitcementen, die aus zwei verschiedenen Zementationsereignissen entstanden waren, in Störungen und subparallelen bzw. assoziierten Klüften zu untersuchen. Das erste Zementationsereignis führte zur Ausbildung des KSD, der nur selten anhand verschiedener Zonierungen bzw. Lumineszenzfarben unter KL in weitere Subtypen unterteilt werden kann. Zwischen dem Subtyp II und III tritt eine sogenannte Chloritzzone auf, die hauptsächlich Clinochlorit und untergeordnet Pyrit, Bleiglanz und Zinkblende enthält. Die stratigraphische Reichweite des KSD umfasst für den Subtyp I bis IV den Zeitraum Anis bis Unterer Jura, der Subtyp V ist auch noch in oberjurassischen Gesteinen anzutreffen. Für die Zementation des Subtyps I wird Obere Trias/Unterer Jura angenommen, der Subtyp V kann sich frühestens im Oberen Jura und spätestens in der Oberen Kreide gebildet haben. Am Beginn des zweiten Zementationsereignisses wurde der ZCB gebildet, dem ein Satteldolomitcement (WSD) und zwei weitere karbonatische Blockzemente (PKCB, ECB) folgten. Die zweite Zementationsphase hat miozänes Alter und betraf alle im Untersuchungsgebiet angetroffenen Sedimentgesteine, deren Alter Anis bis Kreide umfasste.

Der Bereich der Ostalpen wurde von drei großregionalen tektonischen Spannungsregimen geprägt. Das erste extensionale Spannungsregime ab der Trias führte am Nordwestrand der Tethys zur Anlage von Abschiebungen und damit verbundener Sedimentation von bis zu mehreren hundert Metern mächtigen Formationen aus Kalksteinen, Mergeln, Tonsteinen und Sandsteinen. Laterale sowie horizontale Verzahnungen von For-

mationen bzw. Faziesbereichen führten zur Anlage von später bedeutenden Abscherhorizonten. Eine bedeutende Beckenvertiefung erfolgte an der Wende Trias/Jura was zur vermehrten Sedimentation von Tiefwasserfazies führte. Spätestens mit dem Ende der Unteren Kreide, lokal aber eventuell auch schon früher wechselte das Spannungsregime auf Kompression was zur Ausbildung einer Subduktionszone und der Ablagerung von Flyschsedimenten führte. Im Hangenden der unteren Platte bildete sich im westlichen Bereich der NKA ein Akkretionskeil mit drei großen Decken, das ist von unten nach oben, bzw. von Norden nach Süden die Allgäu-Decke, die Lechtal-Decke und die Inntal-Decke. Zum Teil erfolgte noch auf den Decken während des Herannahens der nächst höheren Decke Sedimentation, zum Teil wurde auch auf den schon gefalteten Deckenteilen in Depressionen und auf den Schenkeln von sich entwickelnden Synklinalen synorogene Klastika abgelagert. Im zentralen Bereich der NKA entwickelte sich ein anderes Deckenmuster aus Staufen-Decke, Dachstein-Decke und Osterhorn-Decke. Der anfangs WNW-gerichtete Überschiebungsgürtel wird ab dem Paläogen durch N-S-Kompression tiefgreifend deformiert, was zur Anlage eines E-streichenden Großfaltenbaus führte, der die Überschiebungshorizonte mit erfasste. Das dritte extensionale Spannungsregime beginnt mit dem Aufstieg der Zentralalpen im Miozän. Dabei erfolgte gleichzeitig das gravitative Abgleiten höherer Stockwerke nach Norden, die weiterhin nordwärts gerichtete Überschiebung auf das europäische Vorland (Molasse) und die nach E gerichtete Fluchtbewegung von Teilen der Ostalpen. Entlang von Blattverschiebungen, Pull-apart-Becken und antithetischen Flexuren bildeten sich syntektonische intramontane Grobklastika. Im westlichen Bereich der NKA sind heute neben den bereits erwähnten Überschiebungen weitere regional bedeutende Blattverschiebungen bekannt: WNW-streichende dextrale Blattverschiebungen, NE-streichende sinistrale Blattverschiebungen und N-streichende Blattverschiebungen. Abschiebungen aus dem ersten Spannungsregime konnten bisher nur lokal beobachtet werden, meist wurden sie aus dem Fehlen einzelner Formationen interpretiert (BECHSTÄDT et al. 1978, TOLLMANN 1985, EISBACHER et al. 1990,

FROITZHEIM & EBERLI 1990, LEISS 1990, RATSCHBACHER et al. 1991, EISBACHER & BRANDNER 1996, SCHWEIGEL & NEUBAUER 1997, FRISCH et al. 1998, FRISCH et al. in press).

Aus 16 Probengebieten wurde Kluft- und Störungsmaterial gewonnen, die Zugehörigkeit zu einem bekannten Zement und Störungssystem bestimmt und die Kristallausbildung (fibrös, isometrisch, dedolomitiert) festgestellt. Fibröses Kristallwachstum zeigt eine langsamere Kluftöffnung, isometrisches Kristallwachstum eine schnellere Kluftöffnung an (RAMSAY & HUBER 1983). Es zeigte sich, dass in den WNW-streichenden Blattverschiebungen und den Abschiebungen alle Zemente auftraten. In den NE-streichenden Blattverschiebungen und in Klüften die mit dem E-streichenden Faltenbau entstanden waren, wurden nur Zemente der zweiten Zementationsphase beobachtet. Die N-streichenden Blattverschiebungen enthielten den jeweils ersten Zement der beiden Zementationsphasen und in Klüften die mit der Lechtal- bzw. Inntal-Deckenüberschiebung entstanden waren, wurden der ZCB und ein Satteldolomit, der als KSD Subtyp V interpretiert wird, angetroffen. Eine Häufung von fibrösem Kristallwachstum wurde beim ZCB in den WNW-streichenden Blattverschiebungen und von mehr isometrischem Kristallwachstum des gleichen Zements in den NE-streichenden Blattverschiebungen festgestellt.

Aus den bekannten Zementaltern konnte für die jeweiligen Störungen ein Bildungsalter abgeleitet werden, wobei zu bedenken ist, dass die Zementbildung erst deutlich später nach der Störungsbildung erfolgen könnte. Es wird daher von minimalen Bildungsaltern der Störungen gesprochen. Die Abschiebungen, die N-streichenden Blattverschiebungen und die WNW-streichenden Blattverschiebungen wurden im Unteren Jura gebildet, wobei es möglich ist, dass einzelne WNW-streichende Blattverschiebungen auch schon früher angelegt wurden, da in einer Probe frühdiagenetischer radiaxial fibröser Zement angetroffen wurde. Für die Lechtal- bzw. Inntal-Deckenüberschiebung wird die Kreide als das minimale Bildungsalter angenommen, wobei hier das unsichere Bildungsalter des Subtyps V des KSD eine gewisse Bandbreite

zulässt. In der vorliegenden Arbeit wurde das Bildungsalter des Subtyps V im Zusammenhang des Spannungsregimewechsels von extensional nach kompressiv beim Herannahen der Subduktionszone diskutiert. Die NE-streichenden Blattverschiebungen und die mit E-streichenden Falten assoziierten Klüfte wurden im Tertiär gebildet, weil dort nur Zement der zweiten miozänen Zementationsphase auftraten. Die Beobachtung von ZCB und jüngeren Zementen in den N-streichenden bzw. WNW-streichenden Blattverschiebungen, der Lechtal- bzw. Inntal-Deckenüberschiebung und den Abschiebungen zeigt an, dass alle diese Störungen im Tertiär reaktiviert worden sein müssen. Dies gilt unter der Annahme, dass die Hohlräume vorher vollständig gefüllt wurden, denn eine unvollständige Füllung könnte theoretisch zu der selben Zementabfolge auch ohne erneute Reaktivierung bzw. Hohlraumschaffung führen. Die Reaktivierung und das Auftreten von ZCB wird in Zusammenhang mit dem Wechsel des Spannungsregimes im Miozän gebracht. Ab da bewegen sich Teile der Ostalpen fluchtkeilartig und zusammen mit der Anlage von kleinen extensionalen Becken nach Osten, während die NKA zeitgleich entlang der WNW-streichenden Blattverschiebungen bzw. NE-streichenden Blattverschiebungen in ihre heutige Position gebracht werden. Da die NE-streichenden Blattverschiebungen dabei einen größeren horizontalen Versatzbetrag als die WNW-streichenden Blattverschiebungen in der selben Zeit aufweisen, wird in dieser Arbeit diskutiert, dass für den ZCB langsameres fibröses Kristallwachstum bei den WNW-streichenden Blattverschiebungen und schnelleres isometrisches Kristallwachstum bei den NE-streichenden Blattverschiebungen vorherrschte.

Anhand von Spurenelementuntersuchungen in der Schnöll-Abschiebung (62/83N) bei Adnet (Staufen-Decke) konnte die Bildung des Subtyps II und III zeitlich genauer bestimmt werden. Dort wurde ein schmaler Streifen von ZCB, Relikten von KSD und eine 0,2 bis 2 mm breite Zone aus Pyrit (=Pyritzone) an den Störungswänden und um die Störungskomponenten beobachtet. Die Ergebnisse der 30 gemessenen Spurenelemente aus der Pyritzone wurden mit 30 ebenfalls gemessenen Spurenelementgehalten der von

BÖHM et al. (1996) auf die Grenze Hettang/Sinemur datierten Marmorea-Kruste, einer submarinen Fe-Mn-Kruste, verglichen. Dabei konnte eine ähnliche Spurenelementverteilung in den beiden nicht-karbonatischen Zonen beobachtet werden. Da eine von KAPPLER & ZEEH 2000 gemessene Chloritzone in Wirtsgestein mit anisistischem Alter aus dem Drauzug ebenfalls eine sehr ähnliche Spurenelementverteilung enthält, wurden die Spurenelementsignaturen mit Hilfe einer Korrelationsanalyse näher untersucht und es ergaben sich Korrelationskoeffizienten von 0,93 für die Marmorea-Kruste und die Pyritzone, 0,94 für die Chloritzone und die Pyritzone und schließlich 0,96 für die Chloritzone und die Marmorea-Kruste. Aus dieser geochemischen Gemeinsamkeit wurde folgendes Modell entwickelt: Die drei nicht-karbonatischen Zonen, d. h. Chloritzone, Pyritzone und Marmorea-Kruste entstammen alle dem selben Fluidevent und erhielten dadurch ihre ähnliche Spurenelementsignaturen. Da sie in unterschiedlichen Tiefen (Chloritzone Anis, Pyritzone bzw. Marmorea-Kruste Jura) präzipitierten, bildete sich in größerer Tiefe und bei höheren Temperaturen Pb-Zn-reiche Vererzungen (Chloritzone) und in geringerer Tiefen und bei niedrigeren Temperaturen Fe-Mn-reiche Vererzungen (Pyritzone/Marmorea-Kruste). Ähnliche tiefenabhängige Aquiferzonierungen konnte auch KINDLE (1990) in der Allgäu- und Lechtal-Decke ebenfalls im Unteren Jura nachweisen. Die mit 83 ° sehr steil einfallende Schnöll-Abschiebung wirkte zusammen mit dem durch Extension bedingten weiten Aufreissen der Störungshohlräume (bis zu 10 cm) als wichtiger Transportpfad von Fluiden. Eine Veränderung der Redoxbedingungen und das damit möglicherweise verbundene Ausfällen bestimmter Mineralien (z. B. Pyrit) könnte am Übergang von einem Wassersystem unter lithostatischem Druck hin zu einem Wassersystem unter hydrostatischem Druck geschehen. Auch eine Temperaturabnahme des Fluids auf dem Weg nach oben könnte zur Ausfällung beigetragen haben. Während des Hettang und des frühen Sinemur nehmen LEMOINE & TRÜMPY (1987) das erste extensionale Spannungsereignis an.

In der im Jura bereits angelegten Schnöll-Abschiebung wurden im ZCB, der Relikte von KSD enthält, an 33 Fluideinschlüssen entweder die Schmelztemperatur oder die Homogenisierungstemperatur oder soweit möglich beides gemessen. Die Daten wurden wegen fehlender Kenntnis der ehemaligen Auflast nicht druckkorrigiert. Es konnten bei 45% aller gemessenen Fluideinschlüsse Homogenisierungstemperaturen von 150 bis 170 °C beobachtet werden. Die restlichen $T_{(h)}$ -Werte schwankten zwischen 233 und 108 °C. Die Schmelztemperaturen lagen zwischen 3,6 bis -12,3 °C. Aus einem Plot „ $T_{(h)}$ gegen $T_{(m,ice)}$ “, in dem 19 Einschlüsse eingetragen werden konnten, wurde für die gemessenen Einschlüsse ein Modell mit Zufluss verschieden salinärer Fluide und nachträglicher Volumenveränderung der Einschlüsse erstellt. Unterstützend wurde hier gewertet, dass der ZCB Relikte des KSD enthielt, was wahrscheinlich als überregionales Ereignis bei der Umstellung von KSD auf ZCB mit einem Fluidzufluss verbunden war und dass die Abschiebung als Blattverschiebung im Tertiär reaktiviert worden war (mechanische Volumenänderung von außen).

Sehr bemerkenswert ist, dass eine zeitliche und tektonisch-strukturelle Koinzidenz der Untersuchungsergebnisse vorliegt. Der Untere Jura spielt dabei mit den hydrothermalen Aktivitäten und einem extensionalen Ereignis ebenso eine Rolle, wie das Miozän, in dem die zweite Zementationsphase mit der Reaktivierung der WNW-streichenden Blattverschiebungen bzw. der Neubildung der NE-streichenden Blattverschiebungen zusammenfällt. Obwohl schon viele tektonisch-strukturelle Methoden in den NKA und den Ostalpen insgesamt angewendet wurden, lieferten sie bisher nur via indirektem Nachweis zeitlich einzuordnende Störungsaktivitäten, insbesondere für frühe Bewegungen in der Trias und dem Jura. Mit dieser Arbeit konnten auf der Grundlage einer zuvor etablierten Zementstratigraphie minimale Alter der erstmaligen Anlage der Störungen festgestellt werden. Dieser noch selten versuchte Ansatz führte zum direkten Beweis der Entstehungsalter der Störungen.

6 Literatur

- AMPFERER, O. (1912): Geologische Spezialkarte: Innsbruck und Achensee, Maßstab 1 : 75 000.- Verlag der k. k. Geologischen Reichsanstalt, Wien.
- AMPFERER, O. (1912): Geologische Spezialkarte: Zirl und Nassereith, Maßstab 1 : 75 000.- Verlag der k. k. Geologischen Reichsanstalt, Wien.
- BECHSTÄDT, T., BRANDNER, R., MOSTLER, H. & SCHMIDT, K. (1978): Aborted Rifting in the Triassic of the Eastern and Southern Alps.- *N. Jb. Geol. Paläont. Abh.*, 156/2, 157-178.
- BEHR, H., GERLER, J., HEIN, U. F. & REUTEL, C. J. (1993): Tectonic Brines und Basement Brines in den mitteleuropäischen Varisziden: Herkunft, metallogenetische Bedeutung und geologische Aktivität.- *Göttinger Arbeiten Geologie Paläontologie*, 58, 3-28.
- BERTOTTI, G., SILETTO, G. B. & SPALLA, M. I. (1993): Deformation and metamorphism associated with crustal rifting: the Permian to Liassic evolution of the Lake Lugano-Lake Como area, Southern Alps.- *Tectonophysics*, 226, 273-284.
- BETHKE, C. M. & MARSHAK S. (1990): Brine migrations across North America - The plate tectonics of groundwater.- *Annu. Rev. Earth Planet. Sci.*, 18, 287-315.
- BLANCKENBURG, F. v. & DAVIES, J. H. (1995): Slab breakoff: A model for syncollisional magmatism and tectonics in the Alps.- *Tectonics*, 14, 120-131.
- BÖGEL, H. & SCHMIDT, K. (1976): *Kleine Geologie der Ostalpen*.- 231 S., Thun (Ott Verlag).
- BÖHM, F., DOMMERGUES, J.-L. & MEISTER, C. (1995): Breccias of the Adnet Formation: indicators of a Mid-Liassic tectonic event in the Northern Calcareous Alps (Salzburg/Austria).- *Geol. Rdsch.*, 84, 272-286.
- BÖHM, F., EBELI, O., HLADIKOVA, J. & LOBITZER, H. (1996): Jura/Kreide südlich von Salzburg. In: Wagneich, M., Böhm, F. & Lobitzer, H. (Eds.), *Exkursion B1, Sedimentologie des kalkalpinen Mesozoikums in Salzburg und Ober-österreich (Jura, Kreide)*.- *Geol. Bundesanstalt Berichte Wien* 33, 8-36.
- BRANDNER, R. (1980): *Übersichtskarte von Tirol, Tirol-Atlas*. Maßstab 1 : 300 000.- Universitätsverlag Wagner, Innsbruck.
- BRANDNER, R. (1984): Meeresspiegelschwankungen und Tektonik in der Trias der NW-Tethys.- *Jb. Geol. B.-A.*, 126, 435-475.
- BURKHARD, M. (1993): Calcite twins, their geometry, appearance, significance as stress-strain markers and indicators of tectonic regime: a review.- *Jour. Struct. Geol.*, 15 (3-5), 351-368.
- CHANNELL, J. E. T., BRANDNER, R., SPIELER, A. & SMATHERS, N. P. (1990): Mesozoic paleogeography of the Northern Calcareous Alps - Evidence from paleomagnetism and facies analysis.- *Geology*, 18/9, 828-831.
- DECKER, K., MESCHEDÉ, M. & RING, U. (1993): Fault slip analysis along the northern margin of the Eastern Alps (Molasse, Helvetic nappes, North and South Penninic flysch, and the Northern Calcareous Alps).- *Tectonophysics*, 223, 291-312.
- DICKSON, J. A. D. (1966): Carbonate identification and genesis as revealed by staining; *Jour. Sed. Petr.*, 36/2, 491-505.
- DOROBÉK, S. (1988): Migration of orogenic fluids through the Siluro-Devonian Helderberg Group during late Paleozoic deformation: constraints on fluid sources and implications for thermal histories of sedimentary basins.- *Tectonophysics*, 159, 25-45.
- EBERLI, G. P. (1987): Carbonate turbidite sequences deposited in rift-basins of the Jurassic Tethys Ocean (eastern Alps, Switzerland).- *Sedimentology*, 34, 363-388.

- EISBACHER, G. H., LINZER, H.-G., MEIER, L. & POLINSKI, R. (1990): A depth-extrapolated structural transect across the Northern Calcareous Alps of western Tirol.- *Eclogae geol. Helv.*, 83, 711-725.
- EISBACHER, G. H. & BRANDNER, R. (1996): Superposed fold-thrust structures and high-angle faults, Northwestern Calcareous Alps, Austria.- *Eclogae geol. Helv.*, 89, 553-571.
- EYNATTEN, H.v. & GAUPP, R. (1999): Provenance of Cretaceous synorogenic sandstones in the Eastern Alps: constraints from framework petrography, heavy mineral analysis and mineral chemistry.- *Sed. Geol.*, 124, 81-111.
- FRISCH, W., BRÜGEL, A., DUNKL, I., KUHLEMANN, J. & SATIR, M. (in press): Post-collisional large-scale extension and mountain uplift in the Eastern Alps.- *Mem. Sci. Geol. Padova*.
- FRISCH, W., KUHLEMANN, J., DUNKL, I. & BRÜGEL, A. (1998): Palinspastic reconstruction and topographic evolution of the Eastern Alps during Late Tertiary tectonic extrusion.- *Tectonophysics*, 297, 1-15.
- FROITZHEIM, N. & EBERLI, G. P. (1990): Extensional detachment faulting in the evolution of a Tethys passive continental margin, Eastern Alps, Switzerland.- *Geol. Soc. Am. Bull.*, 102, 1297-1308.
- GAWLICK, H.-J., FRISCH, W., VESCEI, A., STEIGER, T. & BÖHM, F. (1999): The change from rifting to thrusting in the Northern Calcareous Alps as recorded in Jurassic sediments.- *Geol. Rundsch.*, 87, 644-657.
- KAPPLER, P. & ZEEH, S. (2000): Relationship between fluid flow and faulting in the Alpine realm (Austria, Germany, Italy).- *Sed. Geol. Spec. Publ.*, 131, 147-162.
- KINDLE, P. J. (1990): Tektonisch kontrollierte Alterationen und Neubildungen in Prae- und Syn-Rift-Sedimenten der westlichen Nördlichen Kalkalpen.- *Mitt. Geol. Inst. ETH Zürich N.F.*, 291, 178 S.
- KNIFE, R. J. (1992): Faulting processes and fault seal. In: LARSEN, R. M.; BREKKE, H.; LARSEN, B. T. & TALLERAAS, E. (Eds.), *Structural and Tectonic Modelling and its Application to Petroleum Geology.- Norwegian Petroleum Society (NPF) Spec. Publ.*, 1, 325-342.
- KUHLEMANN, J. (1995): Zur Diagenese des Karawanken-Nordstammes (Österreich/Slowenien). Spättriassische, epigenetische Blei-Zink-Vererzung und mitteltertiäre, hydrothermale Karbonatzeimentation.- *Arch. f. Lagerstättenforschung geol. B.-A.*, 18, 57-116.
- KUHLEMANN, J., ZEEH, S. & BECHSTÄDT, T. (1993): Datierung von Vererzungsphasen mit Hilfe der Zementstratigraphie: Die Pb-Zn Lagerstätten des Drauzuges (Österreich, Slowenien).- *Zbl. Geol. Paläont. Teil I*, 1992, 719-729.
- KUHLEMANN, J., KAZMER, M., DUNKL, I., BRÜGEL, A. & FRISCH, W. (1996): Sedimentbilanzierung ostalpiner Becken als Teil einer orogenen Massenbilanz.- *Sediment '96 Wien Kurzfassungen*, S. 93.
- LEISS, O. (1990): Neue Aspekte zur Geodynamik und Deckenbildung als Ergebnis der Beckenanalyse von synorogenen Kreidvorkommen innerhalb der Nördlichen Kalkalpen (Österreich). -*Geol. Rdsch.*, 79/1, 47-84.
- (1992): Orogenically controlled sedimentation in the Lechtaler Kreideschiefer (Lechtal shale; Cretaceous) and geodynamics of the inner western NCA (Northern Calcareous Alps; Lechtal Alps). -*Geol. Rdsch.*, 81/3, 603-634.
- LEMOINE, M. & TRÜMPY, R. (1987): Pre-oceanic rifting in the Alps.- *Tectonophysics*, 133/3-4, 305-320.
- LINZER, H.-G., RATSCHBACHER, L. & FRISCH, W. (1995): Transpressional collision structures in the upper crust: the fold-thrust belt of the Northern Calcareous Alps. In: NEUBAUER, F., EBNER, F. & WALLBRECHER, E. (Ed.), *Tectonics of the*

- Alpine-Carpathian-Pannonian Region.- Tectonophysics, Spec. Publ., 242, 41-61.
- MAUL, B. (1991): Vom vadosen Bereich zur Anchimetamorphose. Diagenese des Oberen Wettersteinkalks der westlichen Nördlichen Kalkalpen.- Unveröffentl. Diss. Univ. Freiburg, 180 S.
- MESCHÉDE, M. & DECKER, K. (1993): Störungsflächenanalyse am Nordrand der Ostalpen - ein Vergleich numerischer und graphischer Methoden.- Z. dt. geol. Ges., 144, 419-433.
- PARNELL, J. (ed.) (1994.): Geofluids: Origin, migration and evolution of fluids in sedimentary basins.- Geol. Soc. Spec. Publ., 78, London (Geological Society of London), 372 S.
- PASSCHIER, C. W. & TROUW, R. A. J. (1996): Microtectonics.- 289 S., Springer, Berlin, Heidelberg.
- RAMSAY, J. G. & HUBER, M. I. (1983): The techniques of modern structural Geology, Volume I. Strain Analysis.- 307 S., Academic Press, London.
- RATSCHBACHER, L., FRISCH, W. & LINZER, H.-G. (1991): Lateral extrusion in the Eastern Alps, Part 2: Structural analysis.- Tectonics, 10, 257-271.
- RING, U., RATSCHBACHER, L. & FRISCH, W. (1988): Plate boundary kinematics in the Alps: Motion in the Arosa suture zone.- Geology, 16, 696-698.
- RÜFFER, T. & ZÜHLKE, R. (1995): Sequence stratigraphy and sea-level changes in the early to middle Triassic of the Alps: a global comparison. In: HAQ, B. U. (Ed.), Sequence stratigraphy and depositional response to eustatic, tectonic and climatic forcing.- Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 161-207.
- ROEDDER, E. (1984): Fluid inclusions.- Reviews in Mineralogy, 12, 644 S.
- SAMPLE, J. C. (1990): The effect of carbonate cementation of underthrust sediments on deformation styles during underplating.- Jour. Geophys. Res., 95/B6, 9111-9121.
- SCHLAGER, W. & SCHÖLLNBERGER, W. (1974): Das Prinzip stratigraphischer Wenden in der Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen. - Mitt. Geol. Ges. Wien, 66/67, 165-193.
- SCHWEIGEL, J. & NEUBAUER, F. (1997): Structural evolution of the central Northern Calcareous Alps: Significance for the Jurassic to Tertiary geodynamics in the Alps.- Eclogae geol. Helv., 90, 303-323.
- SHEPHERD, T. J., RANKIN, A. H. & ALDERTON, D. H. M. (1985): A practical guide to fluid inclusion studies.- 239 S., Blackie, Glasgow, London.
- SIBSON, R. H. (1993): Load-strengthening versus load-weakening faulting.- J. Struct. Geol., 15/2, 123-128.
- SPIELER, A. & BRANDNER, R. (1989): Vom jurassischen Pull-Apart Becken zur Westüberschiebung der Achantaler Schubmasse (Tirol, Österreich).- Geol. Paläont. Mitt. Innsbruck, 16, 191-194.
- TOLLMANN, A., (1977): Geologie von Österreich. Band I. Die Zentralalpen.- 766 S., Wien (Deuticke).
- TOLLMANN, A. (1985): Geologie von Österreich, Band II. Außeralpiner Anteil.- 710 S., Wien (Deuticke)
- WAGREICH, M. (1993): Subcrustal tectonic erosion in orogenic belts - A model for Late Cretaceous subsidence of the Northern Calcareous Alps (Austria).- Geology, 21, 941-944.
- WALTER, U. (1999): Karbonatzemente als Schlüssel zur Rekonstruktion des Paläoporenwasserstromes innerhalb der westlichen Nördlichen Kalkalpen und des Alpenvorlandes (Österreich, Deutschland).- Unveröffentl. Dissertation Univ. Heidelberg, 109 S.

- WINKLER, W. (1988): Mid- to Early Cretaceous Flysch and Melange Formations in the Western Part of the Eastern Alps. Palaeotonic Implications.- *Jb. Geol. B.-A.*, 131/2, 341-389
- ZEEH, S. (1990): Fazies und Diagenese des obersten Wettersteinkalkes der Gailtaler Alpen.- *Freiburger Geowiss. Beitr.*, 1, 210+VI S.
- (1998): Karbonatzemente als Indikatoren des Fluid-Flow während der alpinen Orogenese in den Ost- und Südalpen.- *Gaia heidelbergensis*, 5, 1-168.
- ZEEH, S. & BECHSTÄDT, T. (1994): Carbonate-hosted Pb-Zn mineralisation at Bleiberg-Kreuth (Austria): compilation of data and new aspects.- In: BONI, M. & FONTBOTÉ, L. (Ed.): *Sediment-hosted Zn-Pb ores*, 271-296, Heidelberg (Springer).
- ZEEH, S., BECHSTÄDT, T., MCKENZIE, J. & RICHTER, D. K. (1995): Diagenetic evolution in carbonate platforms of the Carnian Wetterstein Formation of the Drau Range and the Northern Calcareous Alps.- *Sedimentology*, 42, 199-222.
- ZEEH, S., KUHLEMANN, J. & BECHSTÄDT, T. (1999): The classical Pb-Zn deposits of the Eastern Alps (Austria/Slovenia) revisited: MVT deposits resulting from gravity driven fluid flow in the Alpine realm.- *Geologija (Ljubljana)*, 41, 257-273.
- ZEEH, S., WALTER, U., KUHLEMANN, J., HERLEC, U., KEPPENS, E. & BECHSTÄDT, T. (1997): Carbonate cements as a tool for fluid flow reconstruction: A study in parts of the Eastern Alps (Austria, Germany, Slovenia).- *SEPM Spec. Pub.*, 57, 167-181.

7 Anhang

7.1 Verwendete Abkürzungen

NKA	:	Nördliche Kalkalpen
KSD	:	Klarer Satteldolomit
ZCB	:	Zonierter calcitischer Blockcalcit
WSD	:	Wolkiger Satteldolomit
PKCB	:	Calcitischer Blockzement post-Korrosion
ECB	:	Einheitlicher calcitischer Blockcalcit

7.2 Verwendetes Kartenmaterial

7.2.1 Straßenkarten

Autokarte Nr. 87: Alpen, 1:800.000, 1958.- Reise und Verkehrsverlag (Stuttgart).

Die Generalkarte Österreich, 1:200.000, Blatt 7 (1990/91) und 8 (1988/89).- Ostfildern (Mair).

7.2.2 Topographische Karten

Deutschland:

Topographische Karte 1 : 25.000, Ausgabe mit Wanderwegen, Bayerisches Landesver-

messungsamt München: Blatt 8238 Neubeuern (1979), 8334 Kochel a. See (1991), 8335 Lenggries (1991), 8336/8436 Rottach-Egern (1980), 8337/8437 Josefthal (1979), 8338 Bayrischzell (1977), 8533/8633 Mittenwald (1990), 8534 Östl. Karwendelspitze (1992).

Topographische Karte 1 : 50.000, Ausgabe mit Wander- und Radwanderwegen, Bayerisches Landesvermessungsamt München: Blatt Bad Tölz - Lenggries und Umgebung (1992/94), Mangfallgebirge (1992).

Österreich:

Österreichische Karte 25 V, Maßstab 1 : 25.000, Ausgabe mit Wegmarkierungen, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (Landesaufnahme), Wien: Blatt 84 Jungholz (1988), 85 Vils (1988), 88 Achenkirch (1984), 89 Angath (1984), 94 Hallein (1988), 112 Bezaun (1988), 113 Mittelberg (1987), 114 Holzgau (1991), 115 Reutte (1988), 116 Telfs (1988), 117 Zirl (1984), 118 Innsbruck (1991), 119 Schwaz (1984), 142 Schruns (1989), 143 Sankt Anton (1988), 144 Landeck (1994), 147 Axams (1990), 148 Brenner (1992), 149 Lannersbach (1986).

Italien:

Carta stradale e dei sentieri di Livigno, Maßstab 1 : 40.000, Serie Valtellina, Kompass-Fleischmann S.a.r.l, Bozen (1990).

7.3 Tabellen



Tabelle 6 Elementgehalte von 30 ausgewählten Karbonatzementproben und den dazugehörigen Wirtsgesteinproben

ELEMENT	Bi	V	Ca	P	La	Cr	Mg	Ba	Ti	B	Al	Na	K	W
PROBE	[ppm]	[ppm]	%	%	[ppm]	[ppm]	%	[ppm]	%	[ppm]	%	%	%	[ppm]
95A218	< 10	6	27,03	0,010	< 5	75	4,47	< 5	< 0,05	< 15	0,22	< 0,05	0,09	< 10
95A218, Wirtsgestein	< 10	10	19,93	0,019	< 5	12	8,49	7	< 0,05	16	0,43	0,07	0,19	< 10
95A24	< 10	< 5	35,53	< 0,005	6	< 5	0,19	1108	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
95A24	13	< 5	35,47	0,018	10	< 5	0,25	10	< 0,05	< 15	0,08	< 0,05	< 0,05	< 10
95A24, Wirtsgestein	< 10	< 5	30,35	0,081	31	< 5	0,59	11	< 0,05	< 15	0,30	< 0,05	0,13	< 10
95A190	< 10	< 5	36,65	< 0,005	< 5	52	0,24	17	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
95A190, Wirtsgestein	< 10	< 5	33,66	< 0,005	< 5	< 5	0,95	< 5	< 0,05	< 15	0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
95A2	< 10	< 5	34,55	< 0,005	< 5	< 5	0,17	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
95A2	< 10	< 5	34,65	< 0,005	< 5	121	0,20	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
95A2, Wirtsgestein	< 10	< 5	31,96	0,007	7	< 5	0,30	< 5	< 0,05	< 15	0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96G320	< 10	< 5	34,03	< 0,005	< 5	< 5	0,13	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96G320, Wirtsgestein	< 10	5	23,43	0,018	15	< 5	0,23	19	< 0,05	< 15	0,35	< 0,05	0,16	< 10
96G86	< 10	< 5	34,27	< 0,005	10	< 5	0,20	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96G86	< 10	< 5	33,71	< 0,005	8	< 5	0,20	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96G86, Wirtsgestein	< 10	11	32,97	0,011	14	17	0,28	< 5	< 0,05	< 15	0,23	< 0,05	< 0,05	< 10
96G2	< 10	< 5	33,83	< 0,005	6	< 5	0,08	34	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96G2	< 10	< 5	34,21	< 0,005	5	< 5	0,06	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96G2, Wirtsgestein	< 10	7	8,23	0,026	10	11	0,16	14	< 0,05	< 15	0,38	< 0,05	0,16	< 10
96G319	< 10	< 5	34,07	< 0,005	8	36	0,16	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96G319	< 10	< 5	33,84	< 0,005	< 5	< 5	0,08	11	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96G319, Wirtsgestein	< 10	8	23,42	0,015	6	< 5	0,24	24	< 0,05	< 15	0,21	< 0,05	0,08	< 10
96L69	10	5	19,13	0,009	< 5	< 5	10,79	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96L69, Wirtsgestein	21	13	21,43	0,018	< 5	17	12,02	< 5	< 0,05	< 15	0,09	< 0,05	< 0,05	< 10
96L17	< 10	< 5	34,62	< 0,005	5	< 5	0,20	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96L17, Wirtsgestein	< 10	< 5	39,51	< 0,005	5	< 5	0,27	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96L58	11	< 5	35,6	0,008	13	< 5	0,24	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96L58, Wirtsgestein	< 10	15	40,61	0,017	18	5	0,37	38	< 0,05	< 15	0,06	< 0,05	0,06	< 10
96M18	< 10	< 5	35,76	< 0,005	8	< 5	0,10	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10
96M18, Wirtsgestein	< 10	< 5	40,59	0,005	< 5	< 5	0,19	< 5	< 0,05	< 15	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 10

Tabelle 7 Originale der Messungen der Fa. Acme in Vancouver/Kanada

ACME ANALYTICAL LABORATORIES LTD.		852 E. HASTINGS ST. VANCOUVER BC V6A 1R6										PHONE (604) 253-3158 FAX (604) 253-1716																									
AA		GEOCHEMICAL ANALYSIS CERTIFICATE																																			
AA		Geol.-Pal. Inst. Univ. Heidelberg File # 97-2718 Page 1																																			
AA		im Neuenheimer Feld 234, 69120 Heidelberg Germany Submitted by: Stefan Zeeh																																			
SAMPLE#	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe ppm	As ppm	U ppm	Au ppm	Th ppm	Sr ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	V ppm	Ca ppm	P ppm	La ppm	Cr ppm	Mg ppm	Ba ppm	Ti ppm	B ppm	Al ppm	Na ppm	K ppm	W ppm							
1	N.S.																																				
2	<5	<5	<5	22	<1.5	424	<5	61	22	<10	<25	<10	<10	255	<1	<10	<10	6	27.03	0.10	<5	75	4.47	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5					
3	<5	<5	<5	11	<1.5	59	<5	160	17	<10	<25	<10	<10	444	<1	<10	<10	<5	35.53	<0.05	<5	<5	19	1108	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5					
4	<5	<5	<5	25	<1.5	375	6	490	17	<10	<25	<10	<10	378	<1	<10	<10	<5	35.47	0.18	10	<5	25	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5				
5	<5	<5	<5	6	<1.5	449	<5	19	<0.5	<10	<25	<10	<10	159	<1	<10	<10	<5	36.65	<0.05	<5	52	24	17	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5				
6	<5	<5	<5	<5	<1.5	3134	8	57	12	<10	<25	<10	<10	789	<1	<10	<10	<5	34.71	<0.05	<5	71	24	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5				
7	<5	<5	<5	<5	<1.5	10	<5	160	06	<10	<25	<10	<10	433	<1	<10	<10	<5	34.55	<0.05	<5	<5	17	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5				
8	<5	<5	<5	<5	<1.5	3993	37	184	16	<10	<25	<10	<10	356	<1	<10	<10	<5	34.65	<0.05	<5	121	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			
9	<5	<5	<5	5	<1.5	7	<5	61	<0.5	<10	<25	<10	<10	144	<1	<10	<10	<5	34.97	<0.05	<5	<5	14	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			
10	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	84	13	<10	<25	<10	<10	912	<1	<10	<10	<5	36.83	<0.05	<5	<5	18	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			
11	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	102	13	<10	<25	<10	<10	639	<1	<10	<10	<5	35.13	<0.05	<5	<5	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			
12	<5	<5	<5	<5	<1.5	13	<5	138	12	<10	<25	<10	<10	468	<1	<10	<10	<5	35.42	<0.05	<5	<5	23	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5			
13	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	2364	14	<10	<25	<10	<10	432	<1	<10	<10	<5	34.05	<0.05	<5	<5	13	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
14	<5	<5	<5	<5	<1.5	41	<5	755	63	<10	<25	<10	<10	717	<1	<10	<10	<5	34.27	<0.05	10	<5	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
15	<5	<5	<5	<5	<1.5	35	<5	1604	13	10	<25	<10	<10	356	<1	<10	<10	<5	33.83	<0.05	6	<5	08	34	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
16	<5	<5	<5	<5	<1.5	6	<5	1525	15	<10	<25	<10	<10	317	<1	<10	<10	<5	34.21	<0.05	5	<5	06	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
17	N.S.																																				
18	<5	<5	<5	<5	<1.5	698	<5	1113	26	<10	<25	<10	<10	412	<1	<10	<10	<5	34.07	<0.05	8	36	16	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5		
19	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	709	13	<10	<25	<10	<10	507	<1	<10	<10	<5	33.84	<0.05	<5	<5	08	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
RE 19	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	739	14	<10	<25	<10	<10	526	<1	<10	<10	<5	33.41	<0.05	<5	<5	09	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
20	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	19	<0.5	<10	<25	<10	<10	56	<1	<10	<10	5	19.13	0.09	<5	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	
21	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	14	<0.5	<10	<25	<10	<10	512	<1	<10	<10	<5	34.62	<0.05	5	<5	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
22	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	221	<0.5	15	<25	<10	<10	161	<1	<10	<10	<5	35.60	0.08	13	<5	24	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
23	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	750	62	11	<25	<10	<10	614	<1	<10	<10	<5	33.71	<0.05	8	<5	20	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
24	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	33	<0.5	<10	<25	<10	<10	115	<1	<10	<10	<5	35.76	<0.05	8	<5	10	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
25	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	45	33	<10	<25	<10	<10	237	<1	<10	<10	10	19.93	0.19	<5	12	8.49	7	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
26	<5	10	<5	13	<1.5	6	5	329	33	<10	<25	<10	<10	309	<1	<10	<10	5	30.35	0.81	31	5	59	11	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
27	<5	<5	<5	<5	<1.5	11	<5	11	<0.5	<10	<25	<10	<10	337	<1	<10	<10	5	33.66	<0.05	<5	<5	95	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
28	<5	<5	<5	<5	<1.5	23	<5	47	10	<10	<25	<10	<10	315	<1	<10	<10	5	33.44	0.06	6	<5	32	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
29	<5	<5	<5	<5	<1.5	31	<5	131	10	10	<25	<10	<10	403	<1	<10	<10	5	31.96	0.07	7	<5	30	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
30	<5	<5	<5	<5	<1.5	5	5	79	10	11	<25	<10	<10	399	<1	<10	<10	5	34.22	<0.05	<5	<5	25	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
31	<5	9	15	9	<1.5	15	5	1960	40	<10	<25	<10	<10	307	<1	<10	<10	5	23.43	0.18	15	<5	23	19	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
32	<5	<5	<5	<5	<1.5	15	<5	558	64	<10	<25	<10	<10	253	<1	<10	<10	11	32.97	0.11	14	17	28	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
33	<5	18	<5	13	<1.5	35	6	624	39	11	<25	<10	<10	120	<1	<10	<10	7	8.23	0.26	6	<5	16	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
34	<5	<5	<5	<5	<1.5	<5	<5	56	<0.5	<10	<25	<10	<10	118	<1	<10	<10	6	34.68	<0.05	6	<5	17	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
STANDARD C3	24	58	33	177	5.1	30	11	705	3.52	51	26	<10	17	33	22.4	16	27	74	57	0.91	18	181															

Tabelle 7 (Fortsetzung)

		Geol.-Pal. Inst. Univ. Heidelberg FILE # 97-2718																												
		Page 2																												
SAMPLE#	Mo ppm	Cu ppm	Pb ppm	Zn ppm	Ag ppm	Ni ppm	Co ppm	Mn ppm	Fe %	As ppm	U ppm	Au ppm	Th ppm	Sr ppm	Cd ppm	Sb ppm	Bi ppm	V ppm	Ca %	P %	La ppm	Cr ppm	Mg %	Ba ppm	Ti %	B ppm	Al %	Na %	K %	W ppm
35	<5	<5	<15	9	<1.5	12	<5	84.7	.24	<10	<25	<10	<10	269	<1	<10	<10	8	23.42	.015	6	<5	.24	24	<.05	<15	.21	<.05	.08	<10
36	<5	<5	<15	6	<1.5	20	<5	<10	<.05	<10	<25	<10	<10	65	<1	<10	21	13	21.43	.018	<5	17	12.02	<5	<.05	<15	.09	<.05	<.05	<10
37	<5	<5	<15	<5	<1.5	9	<5	<10	<.05	<10	<25	<10	<10	488	<1	<10	<10	<5	39.51	<.005	5	<5	.27	<5	<.05	<15	<.05	<.05	<.05	<10
38	<5	<5	<15	<5	<1.5	14	<5	24.9	.06	<10	<25	<10	<10	273	<1	<10	<10	15	40.61	.017	18	5	.37	38	<.05	<15	.06	<.05	.06	<10
39	<5	<5	<15	<5	<1.5	<5	<5	<10	<.05	<10	<25	<10	<10	164	<1	<10	<10	<5	40.59	.005	<5	<5	.19	<5	<.05	<15	<.05	<.05	<.05	<10
RE 39	<5	<5	<15	6	<1.5	<5	<5	<10	<.05	<10	<25	<10	<10	160	<1	<10	<10	6	39.83	<.005	<5	<5	.18	<5	<.05	<15	<.05	<.05	<.05	<10
STANDARD C3	25	56	37	158	6.1	34	10	710	3.47	48	<25	<10	14	33	25.0	17	22	88	.60	.099	17	158	.64	159	.12	30	1.93	<.05	.18	28

Sample type: PULP. Samples beginning /RE/ are Retuns and /RRE/ are Reject Retuns.

All results are considered the confidential property of the client. Acme assumes the liabilities for actual cost of the analysis only. Data FA

7.4 Lokalisationsbeschreibungen

Nachfolgend werden alle untersuchten Zementverteilungen beschrieben, eingeteilt nach Zugehörigkeit zu einem bekannten Störungssystem, Probengebiet, genauem Probennahmepunkt, tekt. Einheit und Wirtsgestein.

7.4.1 N-streichende Blattverschiebungen

Probengebiet: Lech

Probennahmepunkt: „Materialbahn“ (98E5). Der Probennahmepunkt liegt auf der westlichen Seite der Straße von Lech nach Warth an der Talstation der Bürstegg-Materialbahn. Zemente: ZCB. Tektonische Einheit: Lechtal-Decke Wirtsgestein: Kössener Formation

Probengebiet: Achensee

Probennahmepunkt: „Seeache“ (95A190). Der Probennahmepunkt liegt 500 m westlich des Schmalkopf auf der östlichen Uferseite der Seeache auf 880 m ü. NN. Zemente: KSD. Zwei calcitische Blockzemente, die nicht näher bestimmbar sind, da bei dieser Probe nicht genügend Lumineszenz erzeugt werden kann. Tektonische Einheit: Lechtal-Decke Wirtsgestein: Plattenkalk Formation

Probengebiet: Brandenburg

Probennahmepunkt: „Kuppe“ (97B1). Der Probennahmepunkt liegt auf der östlichen Seite der Straße von Kramsach nach Brandenburg 100 m südlich der Straßenkuppe. Zemente: KSD, ZCB. Tektonische Einheit: Lechtal-Decke Wirtsgestein: Kössener Formation (Riffazies)

Probengebiet: Hahntenjoch

Probennahmepunkt: „Gratl“ (97H5b), Der Probennahmepunkt liegt 500 m nordwestlich der Bergstation Drischel auf dem Vorderen Alpjochngrat. Zemente: KSD, ZCB. Tektonische Einheit: Auf der Lechtal-Decke liegend Wirtsgestein: Kalksandstein (Gosau Gruppe)

Probengebiet: Hahntenjoch

Probennahmepunkt: „Riesenblock“ (97H6a), Der Probennahmepunkt liegt 300 m östlich vom Hinteren Alpjochn. Zemente: Relikte von KSD, ZCB. Tektonische Einheit: Auf der Lechtal-Decke liegend Wirtsgestein: Brekzie (Gosau Gruppe)

7.4.2 WNW-streichende Blattverschiebungen

Probengebiet: Achensee

Probennahmepunkt: „Campingplatz Maurach“ (98A341). Der Probennahmepunkt liegt 30 m westlich des Campingplatzes Lärchenwiese am Fuß eines Steinbruchs. Zemente: KSD. Tektonische Einheit: Lechtal-Decke Wirtsgestein: Wetterstein Formation, dolomitisiert

Probengebiet: Achensee

Probennahmepunkt: „Blauberg“ (95A218). Der Probennahmepunkt liegt 700 m südöstlich der Wichtlplatte Zemente: KSD, der von ZCB verdrängt wurde. ECB. Tektonische Einheit: Lechtal-Decke Wirtsgestein: Plattenkalk Formation

Probengebiet: Gaichtpass

Probennahmepunkt: „Gaichtpassstraße“ (96G319). Der Probennahmepunkt liegt 200 m westlich von Gaicht auf der östlichen Seite der Gaichtpassstraße auf 1100 m ü. NN. Zemente: Dolomitzement, der von ZCB (fibrös) verdrängt wurde. Danach bildete sich ECB. In jüngeren und teilweise noch offenen Hohlräumen innerhalb der Störung tritt ein unter KL nicht-lumineszierender meteorischer Zement auf. Tektonische Einheit: Allgäu-Decke Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Gaichtpass

Probennahmepunkt: „Gaichtpassstraße“ (96G320). Der Probennahmepunkt liegt 40 m südlich vom Probennahmepunkt „Gaichtpassstraße“ (96G319) auf der östlichen Seite der Gaichtpassstraße auf 1090 m ü. NN. Zemente: KSD (unter KL nicht-lumineszierend), ZCB (fibrös), ECB (fibrös).

Tektonische Einheit: Allgäu-Decke, ca. 50 m unterhalb der Lechtal-Deckenüberschiebung
Wirtsgestein: Ruhpolding Formation

Probengebiet: Gaichtpass

Probennahmepunkt: „Bundesstraße“ (96G322). Der Probennahmepunkt liegt auf der nördlichen Seite der Bundesstraße B 314 von Heiterwang nach Reutte, 100 m westlich der Eisenbahnbrücke auf 980 m ü. NN.
Zemente: KSD.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Hahntenjoch

Probennahmepunkt: „Gratl“ (97H5a). Der Probennahmepunkt liegt 500 m nordwestlich der Bergstation Drischel auf dem Vorderen Alpjochgrat.
Zemente: Relikte eines Dolomitzements, ZCB.
Tektonische Einheit: Auf der Lechtal-Decke liegend
Wirtsgestein: Kalksandstein (Gosau Gruppe)

Probengebiet: Lech

Probennahmepunkt: „Brücke“ (98E8). Der Probennahmepunkt liegt an der dritten Straßenbrücke der Straße von Lech nach Warth an der westlichen Seite auf 1458 m ü. NN.
Zemente: KSD, ZCB (fibrös).
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Kalkstein (Kössener Formation)

Probengebiet: Lenggries

Probennahmepunkt: „Kochel“ (96L48). Der Probennahmepunkt liegt auf der südlichen Straßenseite der Bundesstraße 11 von Kochel a. See nach Urfeld auf 630 m ü. NN.
Zemente: ZCB, fibröse, gebogene Kristallformen (Fototafel 2). ECB. Reste von Satteldolomit mit gebogene Spaltflächen und dedolomitiertem Satteldolomit.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Lenggries

Probennahmepunkt: „Untermurbach“ (96L34). Der Probennahmepunkt liegt am Westrand des Steinbruchs 400 m südlich von Untermurbach.
Zemente: Relikte von dedolomitiertem KSD, ZCB.

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Muschelkalk Formation

Probengebiet: Lenggries

Probennahmepunkt: „Mühlbach“ (96L32). Der Probennahmepunkt liegt 300 m südwestlich von Untermurbach am Südrand des Mühlbachs.
Zemente: Früher radiaxial fibröser Zement mit trüben Kristallen.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Lenggries

Probennahmepunkt: „Fleck“ (96L35). Der Probennahmepunkt liegt in der nordöstlichen Ecke eines Steinbruchs, der 350 m südöstlich von Fleck liegt.
Zemente: ZCB, WSD, ECB.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Plattenkalk Formation

Probengebiet: Mittenwald/Scharnitz

Probennahmepunkt: „Leutaschklamm“ (96M18). Der Probennahmepunkt liegt auf der nördlichen Straßenseite der Straße von Mittenwald ins Leutaschtal, 25 m nördlich vom Elektrizitätswerk „Leutaschklamm“.
Zemente: KSD (dedolomitiert, fibrös), ZCB.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Nassereith

Probennahmepunkt: „Sportplatz“ (97N1). Der Probennahmepunkt liegt 70 m südwestlich des Sportplatz am Ostrand des Gafleintal.
Zemente: ZCB.
Tektonische Einheit: Inntal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Nassereith

Probennahmepunkt: „Brücke“ (97N9). Der Probennahmepunkt liegt 10 m nördlich der Heimbachtal-Brücke im Tegestal.
Zemente: KSD, ZCB.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Nassereith

Probennahmepunkt: „Marienbergjoch“ (97N18). Der Probennahmepunkt liegt 40 m nordöstlich des Marienbergjochs an einem Hochspannungsmast.

Zemente: Relikte von KSD, ZCB.
 Tektonische Einheit: Inntal-Decke
 Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Steeg

Probennahmepunkt: „Lechtalbrücke“ (97S2).
 Der Probennahmepunkt liegt an der Lechtal-
 straße von Steeg Richtung Westen, 60 m vor
 der Lechtalbrücke auf der nördlichen
 Straßenseite

Zemente: Relikte von KSD, ZCB.
 Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
 Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Wendelstein

Probennahmepunkt: „Rennbahn B307“
 (98W4). Der Probennahmepunkt liegt auf der
 nördlichen Straßenseite der Bundesstraße
 307 von Tatzelwurm nach Bayrischzell 300
 m westlich von Sudelfeld.

Zemente: KSD, ZCB.
 Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
 Wirtsgestein: Plattenkalk Formation

**7.4.3 NE-streichende
 Blattverschiebungen**

Probengebiet: Achensee

Probennahmepunkt: „Klamm bach-Süd“
 (95A24). Der Probennahmepunkt liegt 20 m
 südlich der Klamm bachtalbrücke (911 m ü.
 NN).

Zemente: ZCB, ECB (fibrös). Da es anfangs
 an einer Schnittstelle der zwei Zemente so
 schien, dass der ältere einheitliche calciti-
 sche Blockcalcit den jüngeren zonierten Cal-
 citischen Blockcalcit durchschlägt, wurde
 die Schnittstelle mit UV-Anregung unter-
 sucht. Es konnte dort eine höhere Fluores-
 zenz als in den umgebenden Calcitzementen
 festgestellt werden. Dies deutet auf Reste
 organischer Substanz oder von Tonminera-
 len hin. Die Schnittstelle selbst war in einem
 ca. 1 mm breiten Bereich innerhalb des ein-
 heitlichen calcitischen Blockcalcits sehr un-
 deutlich abgrenzbar. Hier wurde eine
 nachträgliche Drucklösung des einheitlichen
 calcitischen Blockcalcits angenommen, die
 zu der oben beschriebenen scheinbar um-
 gekehrten Schnittbeziehung führte.

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
 Wirtsgestein: Ammergau Formation

Probengebiet: Achensee

Probennahmepunkt: „Nordsteinbruch Mau-
 rach“ (97A344). Der Probennahmepunkt liegt
 auf dem unteren Abbauniveau (Okt. 1997)
 des Steinbruchs am Nordrand von Maurach.
 Zemente: ZCB, PKCB.

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
 Wirtsgestein: Wetterstein Formation (Riffa-
 zies)

Probengebiet: Achensee

Probennahmepunkt: „Nordsteinbruch Mau-
 rach“ (97A343). Der Probennahmepunkt liegt
 auf dem oberen Abbauniveau (Okt. 1997)
 des Steinbruchs am Nordrand von Maurach.
 Zemente: ZCB, PKCB.

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
 Wirtsgestein: Wetterstein Formation (Riffa-
 zies)

Probengebiet: Adnet

Probennahmepunkt: „Wimberg“ (98D11).
 Der Probennahmepunkt liegt am Ostrand
 des Steinbruchs „Wimberg“ (Abbauniveau
 Aug. 1998).

Zemente: ZCB.
 Tektonische Einheit: Stauf en-Decke (Höll en-
 gebirge)
 Wirtsgestein: Adneter Knollenkalk

Probengebiet: Gaichtpass

Probennahmepunkt: „Oberwald“ (96G2). Der
 Probennahmepunkt liegt 250 m nordöstlich
 von Nesselwängle an der Waldgrenze zum
 Oberwald auf 1220 m ü. NN.

Zemente: ZCB, ECB, Quarz. Eine Besonder-
 heit stellt hier die „inverse“ Zementabfolge
 innerhalb der Kluft dar, d.h. an den Kluftwän-
 den befindet sich ECB, in der Mitte ist ZCB
 ausgebildet (siehe dazu auch Fototafel 1A
 und 1B). Dieses Wachstum wird auch als an-
 titaxial bezeichnet (vgl. PASSCHIER &
 TROUW 1996).

Tektonische Einheit: Allgäu-Decke
 Wirtsgestein: Ruhpolding Formation

Probengebiet: Hahntenjoch

Probennahmepunkt: „Bs chlabstunnel“
 (97H2). Der Probennahmepunkt liegt an der
 Straße von Elmen nach Bs chlabs auf der
 östlichen Straßenseite 20 m vor einem
 Straßentunnel.

Zemente: ZCB (fibrös).

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Kalkstein (Kössener Formation)

Probengebiet: Lenggries

Probennahmepunkt: „Anderlkopf“ (96L17).
Der Probennahmepunkt liegt auf der Südseite der Forststraße von Rauchenberg zum Anderlkopf auf 1060 m ü. NN.
Zemente: ZCB, WSD, ECB.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Plattenkalk Formation

Probengebiet: Nassereith

Probennahmepunkt: „Königreich“ (97N7).
Der Probennahmepunkt liegt 100 m nordwestlich vom Probennahmepunkt 97N6 („Jägerhütte“) auf der südlichen Wegseite des Forstpfad.
Zemente: ZCB, ECB.
Tektonische Einheit: Inntal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Steeg

Probennahmepunkt: „Lechtalbrücke“ (97S1).
Der Probennahmepunkt liegt an der Lechtalstraße von Steeg Richtung Westen, 50 m vor der Lechtalbrücke auf der nördlichen Straßenseite
Zemente: ZCB.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Wendelstein

Probennahmepunkt: „Seebach-Wald“ (98W1a). Der Probennahmepunkt liegt auf der nördlichen Straßenseite der Straße von Auerbach nach Tatzelwurm 250 m westlich von Seebach.
Zemente: Brekzie mit nicht näher unterscheidbaren Dolomit- und Calcizementen.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Kössener Dolomit (Kössener Formation)

7.4.4 Anders streichende Blattverschiebungen und Überschiebungen

Probengebiet: Achensee

Probennahmepunkt: „Nordsteinbruch Maurach“ (97A342). Der Probennahmepunkt liegt auf dem mittleren Abbauniveau (Okt. 1997) des Steinbruchs am Nordrand von Maurach.

Orientierung: E-streichende Blattverschiebung (88/88S).

Zemente: KSD, ZCB, ECB.

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation (Rifffazies)

Probengebiet: Gaichtpass

Probennahmepunkt: „Gaichtpassstraße“ (96G321). Der Probennahmepunkt liegt auf der nördlichen Seite der Gaichtpassstraße auf 1060 m ü. NN.

Orientierung: sinistrale Blattverschiebung (28/81NW).

Zemente: KSD, ZCB.

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation (Lagunäre Fazies)

Probengebiet: Gaichtpass

Probennahmepunkt: „Krinnenalpe“ (96G86).
Der Probennahmepunkt liegt am Südrand der Skipiste von der Krinnenalpe nach Nesselwängle auf 1295 m ü. NN.

Orientierung: E-streichende Blattverschiebung (88/80N).

Zemente: ECB.

Tektonische Einheit: Allgäu-Decke
Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Hahntenjoch

Probennahmepunkt: „Hinteres Alpjoch“ (97H7a). Der Probennahmepunkt liegt 300 m südsüdöstlich vom Hinteren Alpjoch.

Orientierung: Überschiebung im Faltenkern (47/78NW)

Zemente: ZCB.

Tektonische Einheit: Auf der Lechtal-Decke liegend
Wirtsgestein: Sandstein (Gosau Gruppe)

Probengebiet: Hahntenjoch

Probennahmepunkt: „Bsclabstal“ (97H1a1).
Der Probennahmepunkt liegt an der Straße von Elmen nach Bsclabs auf der östlichen Straßenseite in einer Kurve auf 1100 m ü. NN.

Orientierung: E-streichende Blattverschiebung

Zemente: ZCB.

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Plattenkalk Formation

Probengebiet: Lech

Probennahmepunkt: „Tunnel“ (98E9). Der Probennahmepunkt liegt am Eingang zu einem stillgelegten Straßentunnel 30 m nördlich der fünften Straßenbrücke an der Straße von Lech nach Warth.
Orientierung: E-streichende Blattverschiebung (94/70S)
Zemente: Randlich korrodierte Quarzkristalle, ZCB (fibrös).
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Mittenwald/Scharnitz

Probennahmepunkt: „Ferchensee“ (96M59). Der Probennahmepunkt liegt 1 km südwestlich vom Ferchensee am Wanderpfad zur Wettersteinspitze auf 1400 m ü. NN.
Orientierung: Blattverschiebung (26/72SE).
Zemente: KSD, ZCB, PKCB.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Nassereith

Probennahmepunkt: „Jägerhütte“ (97N6). Der Probennahmepunkt liegt 500 m nordwestlich der Brunwaldkopf-Jägerhütte am Ende der Forststraße.
Orientierung: Blattverschiebung (150/72SW)
Zemente: KSD.
Tektonische Einheit: Inntal-Decke
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Wendelstein

Probennahmepunkt: „Rechenau“ (98W3). Der Probennahmepunkt liegt auf der südlichen Straßenseite der Straße von Auerbach nach Tatzelwurm 100 m westlich von Rechenau.
Orientierung: E-streichende Blattverschiebung (92/72S), dextraler Bewegungssinn.
Zemente: KSD, ZCB.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Kössener Dolomit (Kössen Formation)

7.4.5 Klüfte assoziiert mit der Inntal-, der Lechtal- und der Krabachjoch-Überschiebung**Probengebiet: Lenggries**

Probennahmepunkt: „Schwarzenbach“ (96L58). Der Probennahmepunkt liegt am

südlichen Wegrand des Wanderpfads von der Dora-Kiessling-Hütte zur Vorderen Krotten-Alm auf 1010 m ü. NN.
Störung: Lechtal-Deckenüberschiebung.
Zemente: Relikte eines Dolomitzements, ZCB mit sich kreuzenden Zwillingslamellen (<0,05 mm Breite), Quarz.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Reifling Formation

Probengebiet: Nassereith

Probennahmepunkt: „Tegestal“ (97N8). Der Probennahmepunkt liegt 30 m nördlich der Tegestal-Jägerhütte.
Störung: Inntal-Deckenüberschiebung.
Zemente: Relikte von KSD, die unter KL nicht-lumineszierend auftreten. Daher könnte es sich um Subtyp II oder V des KSD handeln. Zusätzlich wurde ZCB beobachtet.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Nassereith

Probennahmepunkt: „Buchhorn“ (97N15). Der Probennahmepunkt liegt 500 m südwestlich der alten Buchhorn-Hütte an der Westseite der Tegestal-Forststraße auf 1160 m ü. NN.
Störung: Inntal-Deckenüberschiebung.
Zemente: Relikte von KSD (unter KL nicht-lumineszierend), ZCB.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Ammergau Formation

Probengebiet: Lech

Probennahmepunkt: „Rüfispitze“ (98R4). Der Probennahmepunkt liegt 300 m nordwestlich der Rüfispitze auf 2440 m ü. NN.
Störung: Krabachjoch-Überschiebung.
Zemente: Ein nicht exakt unterscheidbares Gemenge aus einem nicht-lumineszierenden Zement und einem rot-lumineszierendem Blockcalcit.
Tektonische Einheit: Lechtal-Decke
Wirtsgestein: Allgäu Formation

7.4.6 Klüfte parallel zu E-streichenden Kleinfalten**Probengebiet: Achensee**

Probennahmepunkt: „Sattelkopf“ (95A2). Der Probennahmepunkt liegt 1 km südwestlich vom Sattelkopf auf der westlichen Seite

des Fußwegs von Achenwald zur Reitbergalm auf 750 m ü. NN. Dort befindet sich ein ca. 20 m langer Bereich mit Kleinfalten mit zum Teil überkippten Schenkeln und E-streichenden Faltenachsen. Die Probennahme erfolgte im Scharnier einer Kleinfalte mit faltenachsenparallelen Klüften.

Zemente: ZCB, ECB. Eine der faltenachsenparallelen Klüfte durchschlägt einen 10x6 mm großen, annähernd rechteckigen Bereich, der einen früh gebildeten radiaxial fibrösen Calcitcement mit trüben Kristallen enthält.

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke

Wirtsgestein: Allgäu Formation

7.4.7 Abschiebungen

Probengebiet: Achensee

Probennahmepunkt: „Filzmossbach“ (95A102). Der Probennahmepunkt liegt 700 m östlich der Natterwand im Filzmossbach. Orientierung: Abschiebung (80/47S). Zemente: KSD (nicht-lumineszierend), ZCB. Tektonische Einheit: Lechtal-Decke Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Adnet

Probennahmepunkt: „Schnöllbruch“ (97D1 und 97D2). Der Probennahmepunkt liegt im Steinbruch „Schnöllbruch“, 880 m östlich von Adnet. Dort befindet sich am Südrand des ca. 100 m breiten Steinbruchs (Abbauniveau Sommer 98) eine Abschiebung (Schnöll-Abschiebung) mit synsedimentärem Versatz der liassischen Schichten (siehe dazu Fototafel 3). An der Abschiebung selbst ist eine bis zu 10 cm breite Brekzie aus Komponenten des Wirtsgesteins, eingebunden in eine Zementmatrix, zu beobachten (Fototafel 4).

Orientierung: Abschiebung (62/83N). Auf der Störungsfläche befinden sich Faserharnische mit der Orientierung 62/0, die einen sinistralen Bewegungssinn anzeigen.

Zemente: Die Matrix besteht aus ZCB, der Relikte von KSD (sowohl isometrisch, als auch fibrös) enthält. Die Störungswand und die Komponenten sind von einem schmalen Streifen von ZCB umgeben, der ebenso KSD und eine 0,2 bis 2 mm breite Zone aus Pyrit (=Pyritzone) enthält (siehe dazu auch Fototafel 5A und 5B).

Tektonische Einheit: Staufendecke (Höllengebirge)

Wirtsgestein: Schnöll Formation. Die Schichtung liegt im gesamten Steinbruch durchgehend bei ungefähr 15/25W.

7.4.8 Klüfte parallel zur Schichtung

Probengebiet: Formarinsee

Probennahmepunkt: „Formaletsch“ (98F3). Der Probennahmepunkt liegt 500 m westlich vom Formaletsch auf 2060 m ü. NN.

Orientierung: Schichtung 170/34E.

Zemente: ZCB.

Tektonische Einheit: Allgäu-Decke

Wirtsgestein: Adnetter Knollenkalk

Probengebiet: Lenggries

Probennahmepunkt: „Rauchenberg“ (96L69). Der Probennahmepunkt liegt auf der Südseite der Forststraße von Rauchenberg zum Anderkopf auf 900 m ü. NN.

Orientierung: Schichtung 49/69NW.

Zemente: Satteldolomit (fibrös).

Tektonische Einheit: Lechtal-Decke

Wirtsgestein: Hauptdolomit Formation

7.4.9 Beobachtungen an den Lokalitäten Tarntaler Köpfe (Mittelostalpin) und Livigno (Unterostalpin)

Probengebiet: Tarntaler Köpfe

Probennahmepunkt: „Navis“ (97T1). Der Probennahmepunkt liegt 250 m östlich der Dorfkirche an der südlichen Straßenseite der Dorfstraße.

Orientierung: N-streichende Störung (176/65E).

Zemente: KSD, ZCB, Feldspat (randlich korrodiert).

Wirtsgestein: Hauptdolomit Formation

Probengebiet: Tarntaler Köpfe

Probennahmepunkt: „Tarntaler Köpfe“ (97T2). Der Probennahmepunkt liegt am Westufer eines Bergsees 750 m westlich der Lizumer Sonnenspitze.

Orientierung: E-streichende Störung.

Zemente: KSD, Quarz.

Wirtsgestein: Mikritischer Kalkstein mit viel Echinodermen

Im Probengebiet Livigno wurde bei den Probenahmepunkten 97V2 bis 97V4 eine jurassische Abschiebung an der südöstlichen Flanke des „Il Motto“ mit Wetterstein Formation im Liegenden und Allgäu Formation im Hangenden beprobt.

Probengebiet: Livigno

Probennahmepunkt: „Motto 2020“ (97V2). Der Probennahmepunkt liegt auf 2020 m ü. NN, 1 km nördlich der Kirche Croce di Campaccio (Livigno).
Zemente: KSD.
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Livigno

Probennahmepunkt: „Motto 2030“ (97V3). Der Probennahmepunkt liegt auf 2020 m ü. NN, 1,3 km nördlich der Kirche Croce di Campaccio (Livigno).
Zemente: Auf der Kluftwand zuerst Quarz-Zement, dann ZCB. Der Quarz-Zement kann auch wieder innerhalb des ZCB auftreten.
Wirtsgestein: Wetterstein Formation

Probengebiet: Livigno

Probennahmepunkt: „Motto 2200“ (97V4). Der Probennahmepunkt liegt auf 2200 m ü. NN, 1 km nördlich der Kirche Croce di Campaccio (Livigno).
Zemente: KSD, ZCB.
Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Livigno

Probennahmepunkt: „Alpisella 2110“ (97V5). Der Probennahmepunkt liegt im Val Pila, 400 m östlich von C. Rodigheir auf 2110 m ü. NN.
Orientierung: Kleinfalte mit N-orientierter Faltenachse.
Zemente: ZCB, Quarz.
Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Livigno

Probennahmepunkt: „Rocka“ (97V6). Der Probennahmepunkt liegt 50 m nordwestlich vom Probennahmepunkt „Alpisella 2110“ (97V5).
Orientierung: unorientierte Probe.
Zemente: KSD, ZCB, WSD
Wirtsgestein: Allgäu Formation

Probengebiet: Livigno

Probennahmepunkt: „Alpisella 2150“ (97V7). Der Probennahmepunkt liegt im Val Pila, 700 m östlich von Stefan auf 2150 m ü. NN.
Orientierung: Blattverschiebung (10/59E).
Zemente: KSD, ZCB.
Wirtsgestein: Allgäu Formation

7.4.10 Weitere Klüfte

Die folgenden Proben wurden Klüften entnommen, deren räumlichen Lage nicht eindeutig zu bestimmen war, z.B. weil es sich um Bruchstücke aus einer Steinbruchwand handelt.

Probengebiet: Adnet

Probennahmepunkt: „Schnöllbruch“ (97D2). Der Probennahmepunkt liegt am Südrand des Steinbruchs „Schnöllbruch“. Abbauni-veau Okt. 1997.
Zemente: Relikte von KSD, ZCB.
Tektonische Einheit: Staufen-Decke (Höllengebirge)
Wirtsgestein: Adneter Knollenkalk

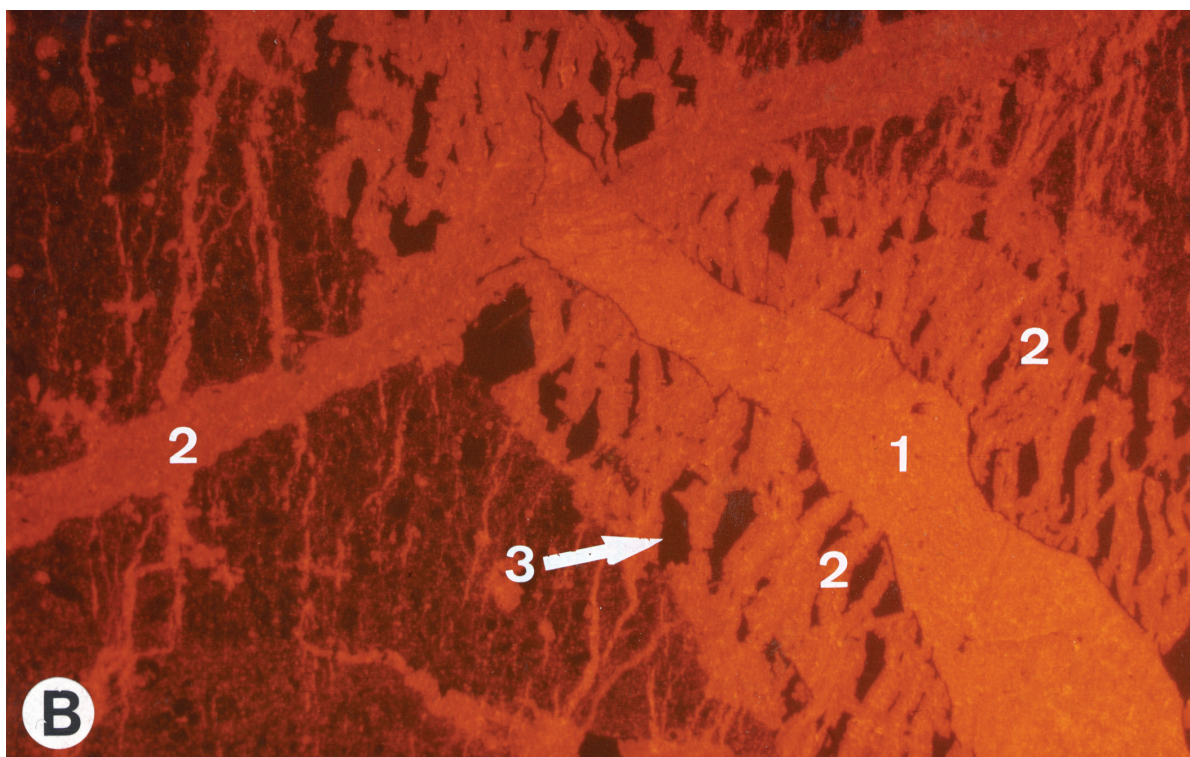
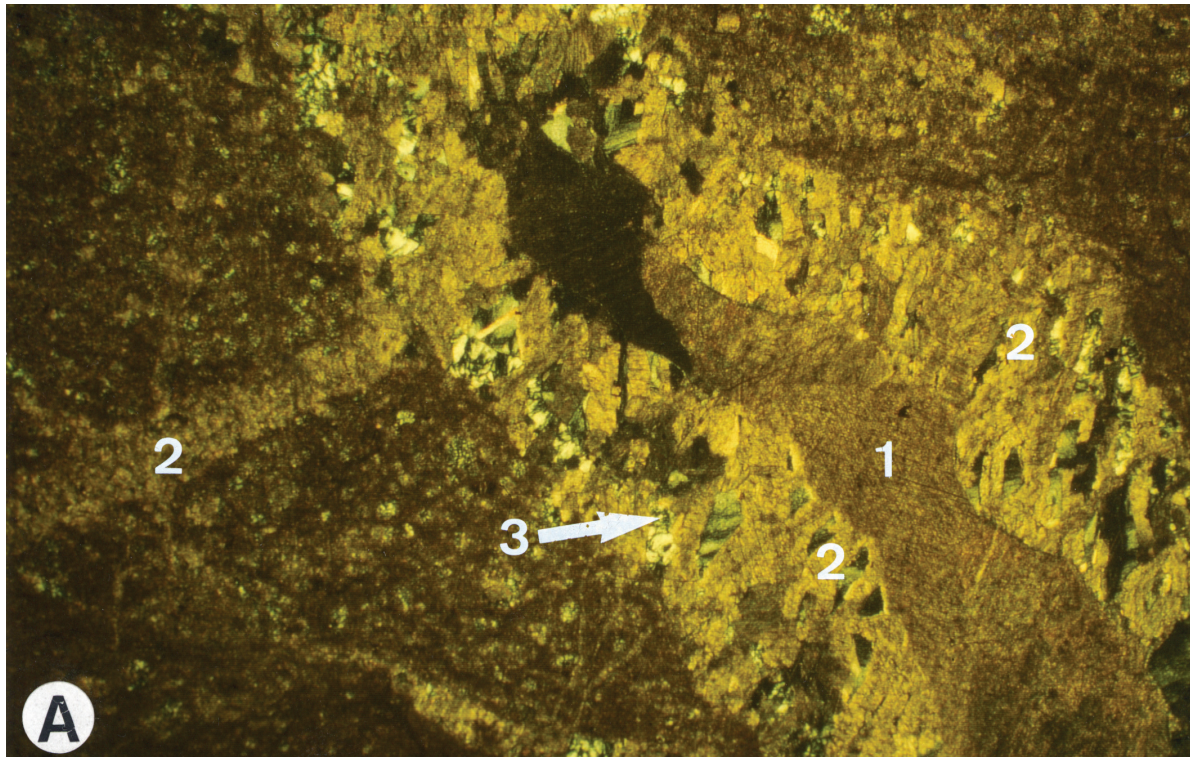
Probengebiet: Hahntenjoch

Probennahmepunkt: „Bergstation Drischel“ (97H4a). Der Probennahmepunkt liegt 20 m nördlich der Bergstation Drischel auf 2090 m ü. NN.
Zemente: Komponenten bestehend u.a. aus jurassischen Schwammnadeln und aus Fragmenten der Wetterstein Formation, wobei letztere Relikte von KSD inkorporieren. Die Komponenten sind von ZCB umgeben und werden auch von diesem durchschlagen.
Tektonische Einheit: Auf der Lechtal-Decke liegend
Wirtsgestein: Konglomerat (Gosau Gruppe)

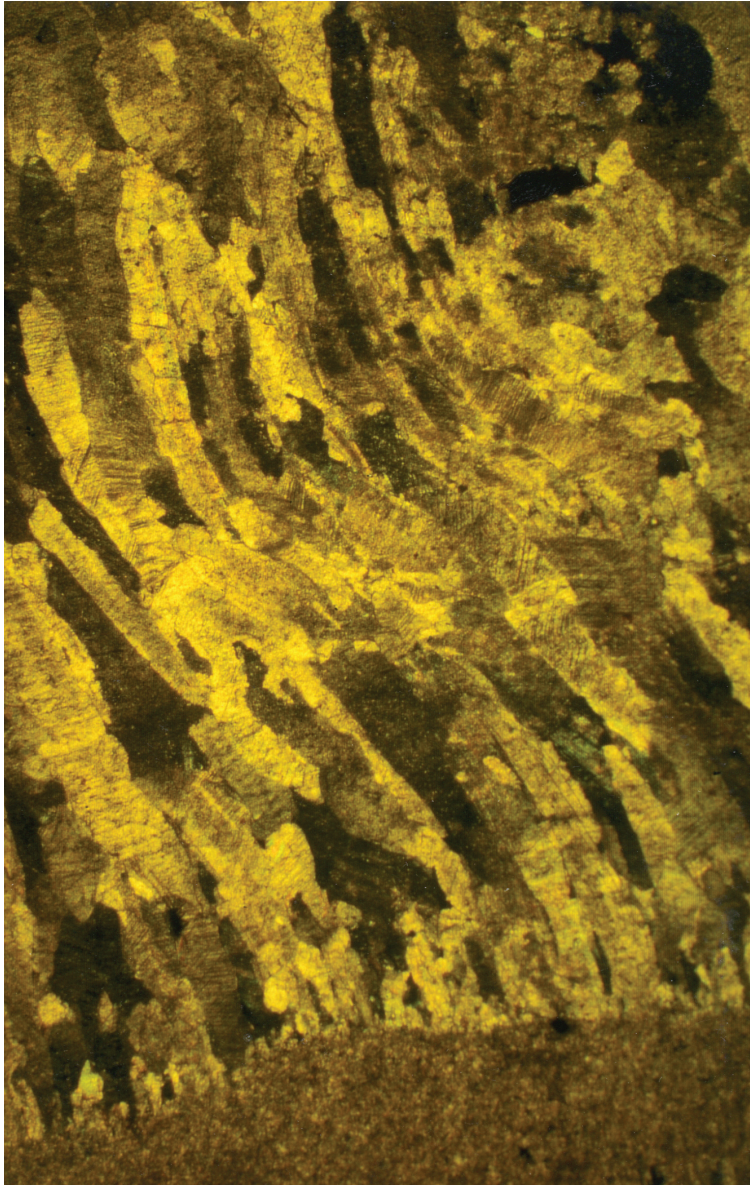
Probengebiet: Körbersee

Probennahmepunkt: „Hotel Körbersee“ (98K3a). Der Probennahmepunkt liegt 300 m nördlich vom Hotel Körbersee
Zemente: Relikte eines Satteldolomits, ZCB.
Tektonische Einheit: Allgäu-Decke
Wirtsgestein: Adneter Knollenkalk

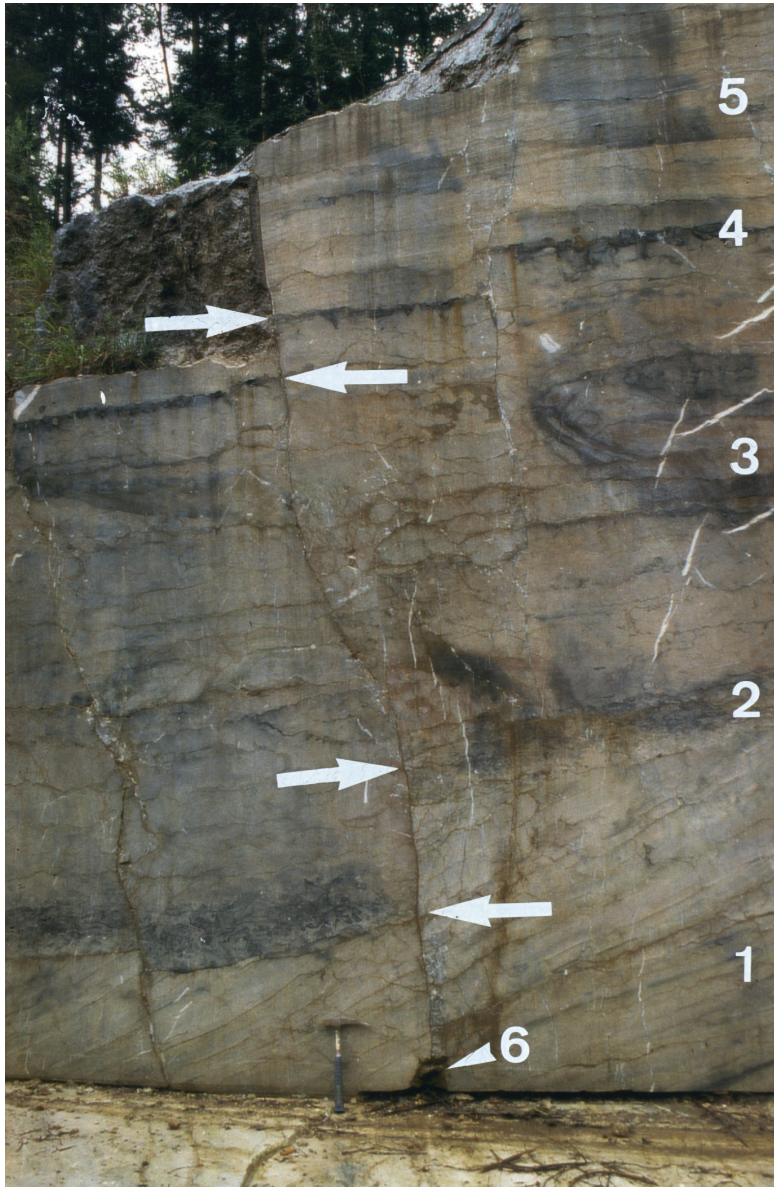
7.5 Fototafeln



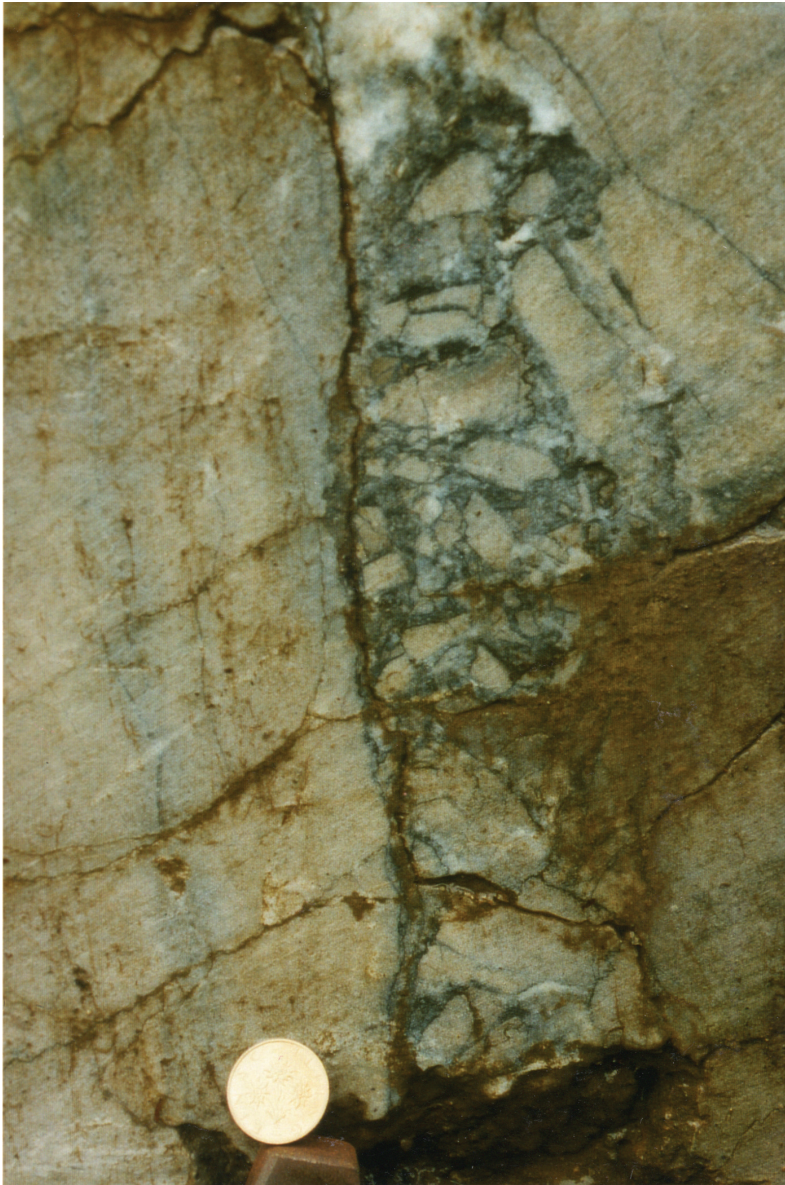
Tafel 1A und 1B Eine Kluft (NE-streichend) mit zonierte calcitischem Blockzement in der Mitte (1) und einheitlichem calcitischem Blockzement an der Kluftwand (2). Die undulösen Bereiche (Durchlicht) bzw. dunklen Bereiche (KL) sind Quarzkristalle (3). Der zonierte calcitischer Blockzement wird an einem Ende vom einheitlichen calcitischem Blockzement durchschlagen, wodurch die relative Altersbeziehung eindeutig festgelegt wird. Probengebiet Gaichtpass, Probennahmepunkt „Oberwald“, Allgäu-Decke, Ruhpolding Formation. **A** = Durchlicht, ungekreuzte Nicols, **B** = Kathodolumineszenz. Die Bildbreite beträgt 5,8 mm.



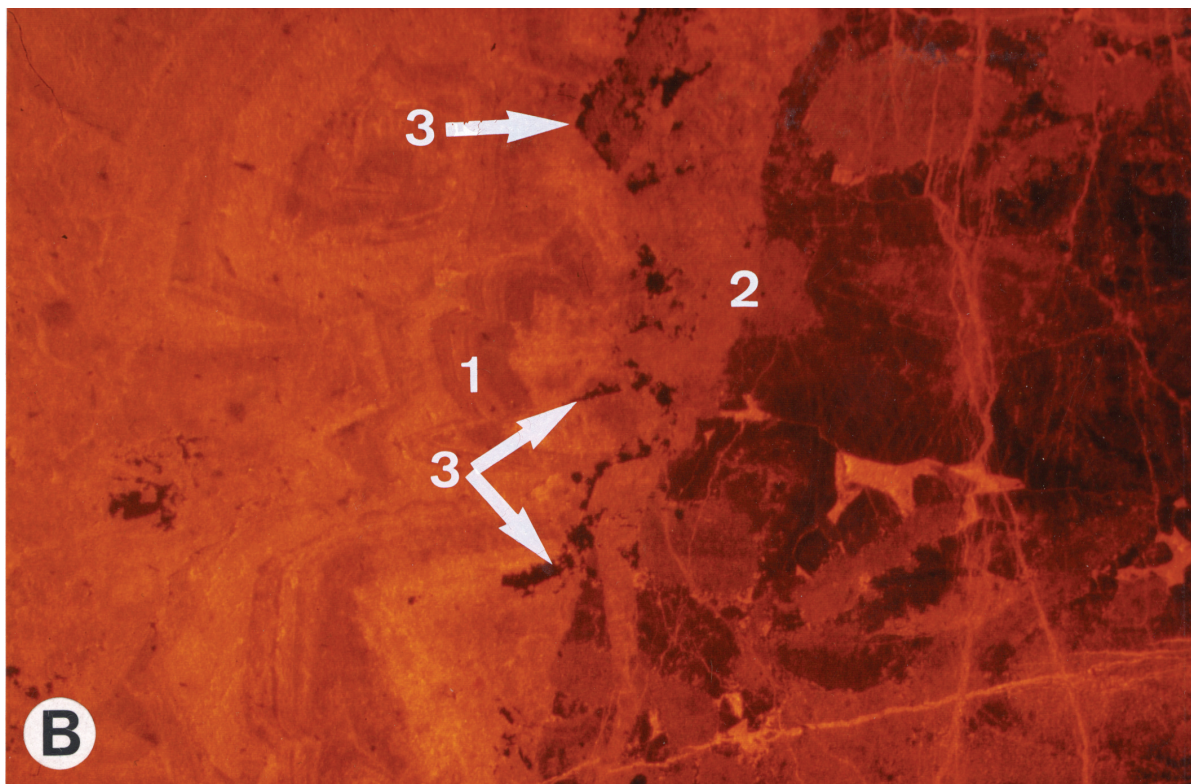
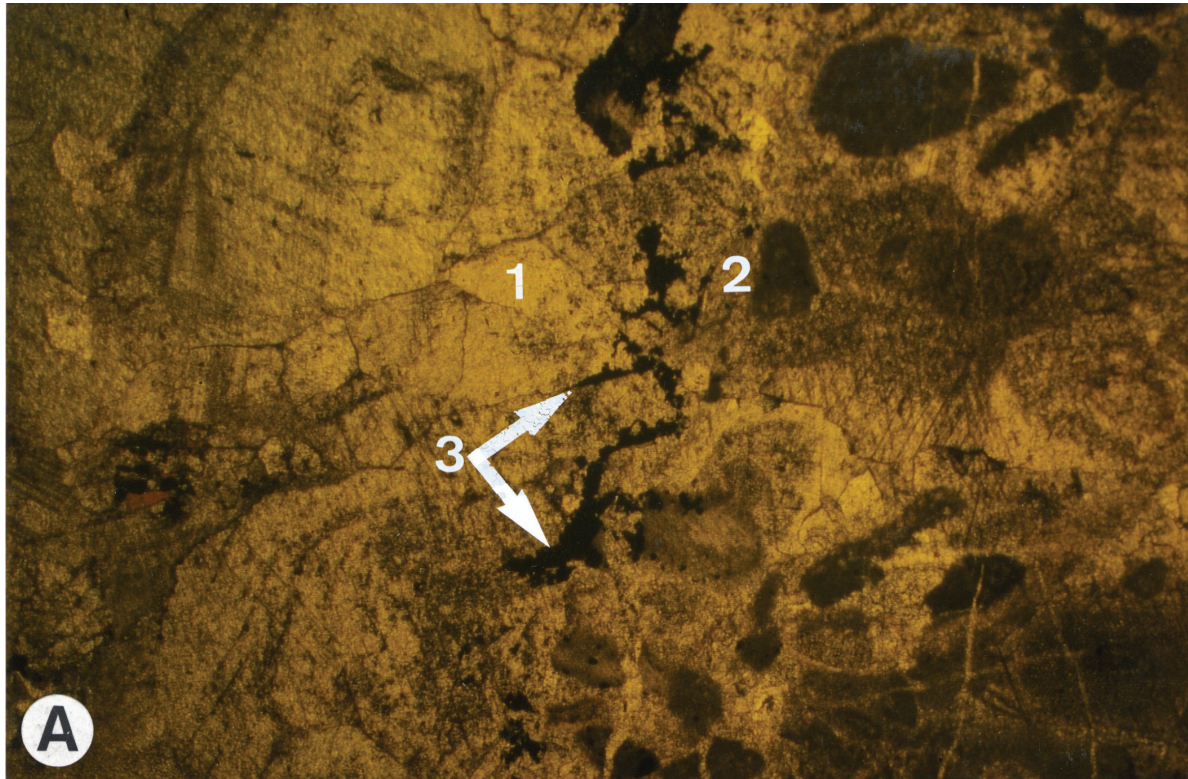
Tafel 2 Gebogene, fibröse Kristalle des Zonierten Calcitischen Blockcalcits in einer WNW-streichenden Blattverschiebung. Probenahmepunkt „Kochel“ im Probengebiet Lenggries. Die Bildbreite beträgt 9,6 mm.



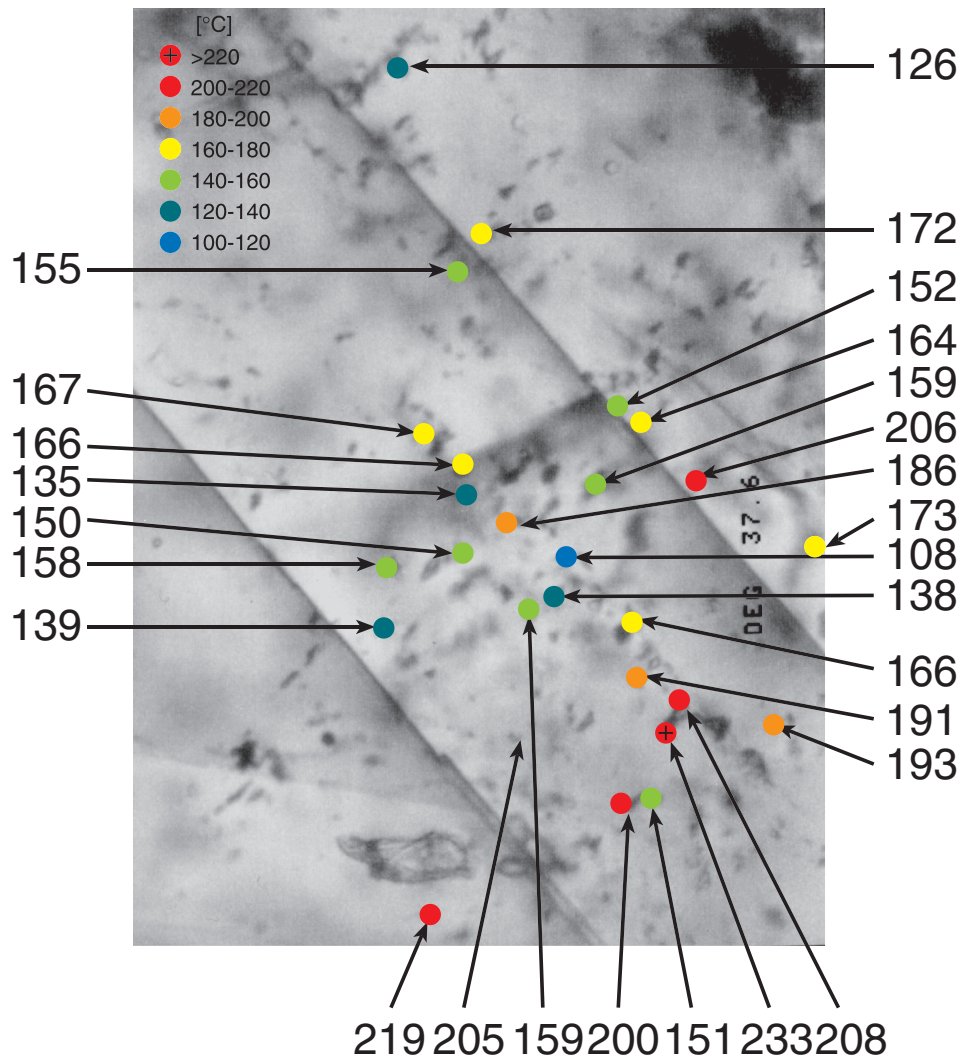
Tafel 3 Blick nach Ostsüdost auf die Schnöll-Abschiebung (62/83N) im Schnöllbruch bei Adnet. Ganz unten stehen graue beckenwärts geneigte Schichten (1) der Schnöll Formation aus dem Frühen Hettang an. Getrennt durch eine scharfe Erosionsfläche (2) liegen horizontal darüber rot-graue Kalksteine (3) der Schnöll Formation aus dem Mittleren Hettang. Die Marmorea-Kruste (4) trennt die Schnöll Formation von den darüberliegenden roten Schichten der Adnet Formation (5) aus dem Mittleren Sinemur. Zu beachten sind die unterschiedlichen Vertikalversätze der Liegend- bzw. Hangendabbrisspunkte zwischen der Erosionsfläche (2) und der Marmorea-Kruste (4). Die Mächtigkeit der Schnöll Formation nimmt im Mittleren Hettang vom Liegenden (rechts) zum Hangenden (links) deutlich zu. Der Probennahmepunkt (6) für die Zemente liegt in den untersten Schichten in der Schnöll-Abschiebung.



Tafel 4 Brekzie in der Schnöll-Abschiebung. Komponenten der Schnöll Formation in einer Zementmatrix aus KSD und ZCB.

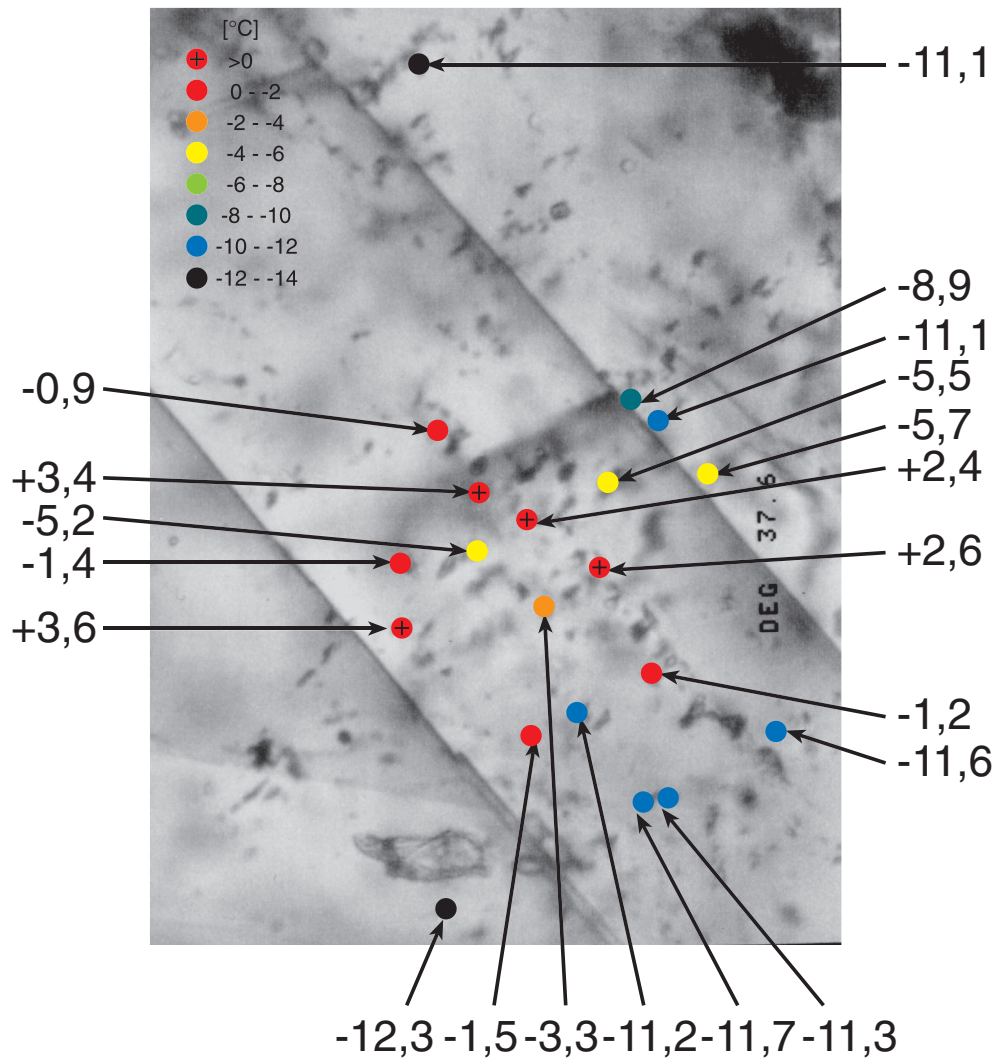


Tafel 5A und 5B Zemente aus der Schnöll-Abschiebung bei Adnet. ZCB (1) mit Relikten von KSD (2) und der Pyritzone (3). **A** = Durchlicht, ungekreuzte Nicols, **B** = Kathodolumineszenz. Die Bildbreite beträgt 5,8 mm.

Temperaturen $T(h)$ [$^{\circ}\text{C}$]

Tafel 6 Örtliche Verteilung der $T_{(h)}$ -Messwerte der Zemente aus der Schnöll-Abschiebung. Die Bildbreite beträgt 0,16 mm.

Temperaturen $T(m \text{ ICE})$ [$^{\circ}\text{C}$]



Tafel 7 Örtliche Verteilung der $T_{(m,ice)}$ -Messwerte der Zemente aus der Schnöll-Abschiebung. Die Bildbreite beträgt 0,16 mm.