



universität  
wien

# MASTERARBEIT

Titel der Masterarbeit

Mikrotektonische Analyse und Reservoireigenschaften  
von karbonatischen Störungsgesteinen

Verfasserin

Theresa-Christina Schröckenfuchs, BSc.

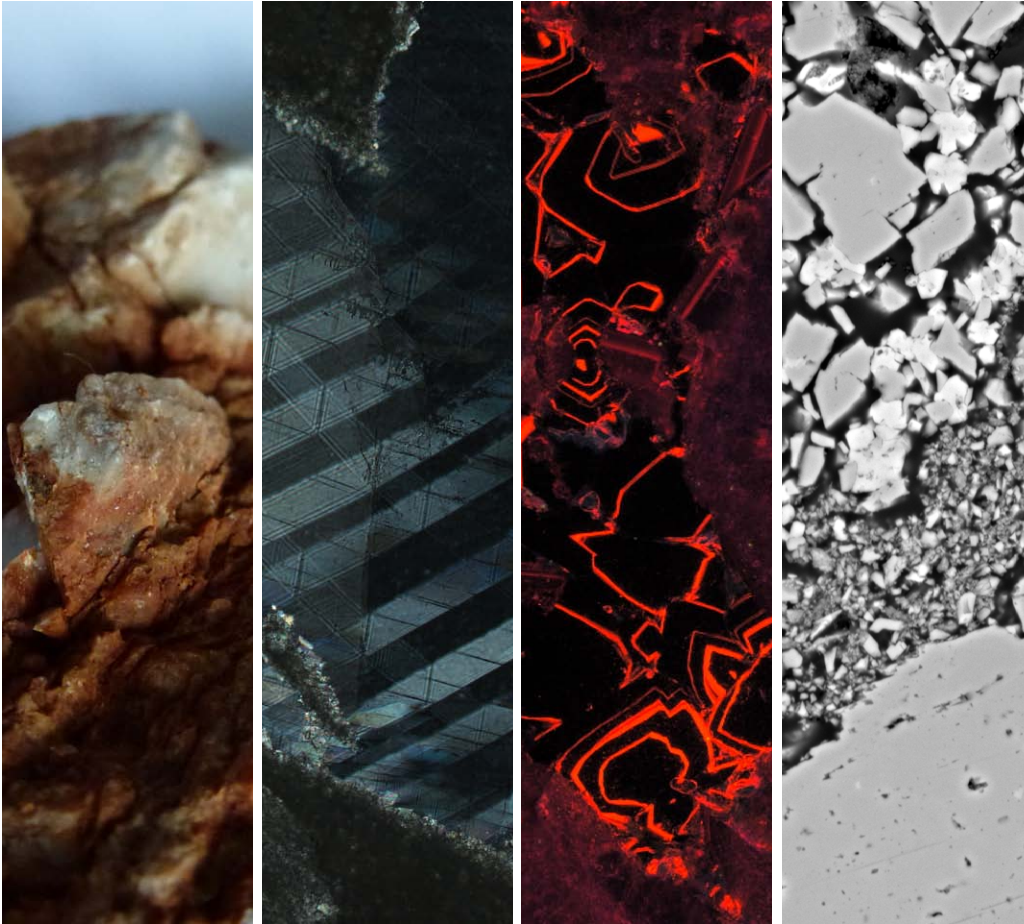
angestrebter akademischer Grad

Master Of Science (MSc)

Wien, 2012

Studienkennzahl: A 066 815  
Studienrichtung: Erdwissenschaften  
Betreuer: Dr. Kurt Decker





Masterarbeit  
Departement für Geodynamik und Sedimentologie  
Universität Wien - 2012

## Mikrotektonische Analyse und Reservoireigenschaften von karbonatischen Störungsgesteinen

Theresa-Christina Schröckenfuchs, BSc.

Betreuer:  
Dr. Kurt Decker

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagung</b>					<b>29</b>
<b>1. Einleitung</b>					
1.1 Motivation		1			
1.2 Zielsetzung		1			
<b>2. Einführung</b>					
2.1 Lage		3			
2.2 Geologisch-tektonischer Überblick		3			
2.3 Stratigraphie		4			
2.4 Tektonik		5			
2.5 Probenahme		7			
<b>3. Klassifizierung der Störungsgesteine</b>		<b>8</b>			
<b>4. Gelände - Fakten und Beschreibungen</b>					
4.1 Aufschluss F6 Schwarzleiten/Frein		13			
4.2 Aufschluss F7 Schwarzleiten/Frein		14			
4.3 Aufschluss F8 Schwarzleiten/Frein		15			
4.4 Aufschluss F15 Steinalpl		16			
4.5 Aufschluss A1 Kastenriegel		17			
4.6 Aufschluss A2 Saugraben		19			
4.7 Aufschluss A4 Unterer Ring		21			
4.8 Aufschluss A5 Griesgassl/Brunntal		22			
<b>5. Proben - Beschreibungen und Prozessfindung</b>					
Übersicht		23			
Methodik		24			
<b>Handstücke:</b>					
	F6 Schwarzleiten/Frein				<b>25</b>
	<b>Handstück F6/3</b>				
	Kataklasit Typ 1-2 mit FF 4				
	Beschreibung Handstück	26			
	Beschreibung Dünnschliff	27			
	Beschreibung BSED	27			
	F7 Schwarzleiten/Frein				<b>30</b>
	<b>Handstück F7/1</b>				
	Kataklasit Typ 3				
	Beschreibung Handstück	30			
	Beschreibung Dünnschliff	30			
	Beschreibung BSED&EDAX	30			
	<b>Handstück F7/3</b>				<b>32</b>
	Kataklasit Typ 3				
	Beschreibung Handstück	32			
	Beschreibung Dünnschliff	32			
	Beschreibung BSED&EDAX	33			
	Biogene Strukturen	33			
	F8 Schwarzleiten/Frein				<b>36</b>
	<b>Handstück F8/1</b>				<b>37</b>
	Drucklösungsbreccie				
	Beschreibung Handstück	37			
	Beschreibung Dünnschliff	37			
	Beschreibung BSED&EDAX	39			
	Kathodenlumineszenz	40			
	F15 Steinalpl				<b>41</b>
	<b>Handstück F15/4</b>				<b>42</b>
	Kataklasit Typ 2				
	Beschreibung Handstück	42			
	Beschreibung Dünnschliff	42			
	Beschreibung BSED&EDAX	43			
	<b>Handstück F15/5</b>				<b>47</b>
	Kataklasit Typ 2				
	Beschreibung Handstück	47			
	Beschreibung Dünnschliff	47			
	Beschreibung BSED&EDAX	48			
	Vergleich BSED F15/4 und F15/5	49			
	A1 Kastenriegel				<b>51</b>
	<b>Handstück A1/1</b>				<b>52</b>
	Dolomit - Fracture Facies 4				
	Beschreibung Handstück	52			
	Beschreibung Dünnschliff	52			

	Beschreibung BSED&EDAX	53	<b>6. Porosität &amp; Permeabilität</b>	<b>78</b>
	Kathodenlumineszenz	54	6.1 Porositätsmessung	79
	Mikro-Computertomographie	54	6.1.2 Problematik der Porositätsmessung	79
A2 Saugraben		<b>56</b>	6.2 Permeabilitätsmessung	80
	<b>Handstück A2/1</b>	<b>57</b>	6.2.1 Problematik der Permeabilitätsmessung	81
	Dilation Breccie		6.3 Porositäten vs. Permeabilitäten	81
	Beschreibung Handstück	57	6.4 Interpretation der Porositäten	82
	Beschreibung Dünnschliff	57	6.5 Interpretation der Permeabilitäten	84
	Beschreibung BSED&EDAX	58		
	<b>Handstück A2/3</b>	<b>59</b>	<b>7. Interpretation &amp; Ergebnisse</b>	<b>86</b>
	Kataklasit Typ 2		7.1 Störungsgesteine- Problematik der Klassifikation der mikrotekt. Analyse	87
	Beschreibung Handstück	59	7.2 Grobe Einteilung der verschiedenen Arten von Störungsgesteinen aus der mikrotektonischen Analyse	87
	Beschreibung Dünnschliff	59	7.3 Beurteilung und Interpretation mikrotektonischer/sedimentologischer Prozesse in den Störungsgesteinen	88
	Beschreibung BSED&EDAX	60	7.3.1 Kornzerkleinerung	88
	<b>Handstück A2/4</b>	<b>62</b>	7.3.2 Hohlrumsedimentation (Geopetal)	90
	Dilation Breccie		7.3.3 Rotationssaum - Nanocoating	92
	Beschreibung Handstück	62	7.4 Bewertung und Ergebnisse der $\mu$ CT	93
	Beschreibung Dünnschliff	62	7.5 Ausblick	94
Beschreibung BSED&EDAX	63			
Kathodenlumineszenz	64			
<b>Handstück A2/5</b>	<b>67</b>	<b>8. Literaturverzeichnis</b>	<b>95</b>	
Kataklasit Typ 1-2 und Dilation Breccie				
Beschreibung Handstück	67			
Beschreibung Dünnschliff	67			
Beschreibung BSED&EDAX	68			
A4 Unterer Ring		<b>70</b>	<b>9. Anhang</b>	<b>98</b>
	<b>Handstück A4/5</b>	<b>71</b>	Tabellen	99
	Kataklasit Typ 2		Zusammenfassung	102
Beschreibung Handstück	71	Abstract	103	
Beschreibung Dünnschliff	71	CV	104	
A5 Griesgassl		<b>73</b>		
	<b>Handstück A5/5</b>	<b>74</b>		
	Dilation Breccie/Kataklasit Typ 1-2			
	Beschreibung Handstück	74		
	Beschreibung Dünnschliff	75		
<b>Drucklösungsbreccien</b>	<b>76</b>			
Die Handstücke	76			
Beschreibung	76			



## Danksagung

Ich möchte zuallererst dem Betreuer meiner Arbeit, Kurt Decker danken. Danke für die vielen hilfreichen Diskussionen über Handstücke, Dünnschliffe und Aufschlüsse, die Bereitstellung von Literatur, die Hilfe im Gelände (das Schleppen von Proben) und im Labor, die vielen „Fahrtendienste“, sprich für die rundum ausgezeichnete Betreuung meiner Arbeit.

Mein Dank gilt ebenso Bernhard Grasemann für die gemeinsame Durchsicht von Dünnschliffen, für wertvolle Beiträge im Bereich der Mikrotektonik und Prozessfindung, sowie für Literaturtips und Papers auf dem Gebiet der Strukturgeologie.

Weiters möchte ich mich für das Zustandekommen und die generöse finanzielle Unterstützung dieser Arbeit besonders bei den Wiener Wasserwerken (MA 31) und hier in erster Linie bei Dr. Gerhard Kuschnig bedanken. Danke für Ihr Interesse und für das Vertrauen in meine Person.

Danken möchte ich zudem Dr. Thomas Gumpenberger für die Organisation und Betreuung der Minipermeameter- und Porositätsmessungen im Labor der OMV in Gänserndorf.

Ebenso möchte ich mich bei Hugh Rice für die viele Geduld und als steter Retter in der Not bei diversen Elektronenmikroskopproblemen bedanken. Thank you, Hugh for always running down the stairs immediately, when there was a problem! Danke auch an Christa Hoffmann für diverse 1. Hilfe am Elektronenmikroskop.

Bedanken möchte ich mich auch bei Dr. Kristina L. Straub für die Bereitstellung von Literatur im Bereich der Geomikrobiologie.

Ein besonderer Dank gilt Alexander Rath für die große Hilfsbereitschaft bei diversen Kathodenlumineszenzmessungen, für die Bereitstellung von Material aus dem Bereich der Computertomographie, für Unterstützung beim Steinschneiden und für diverse Diskussionen.

Meinen Studienkolleginnen Tanja Ilickovic und Aleksandra Popovic möchte ich für eine unvergessliche Studienzeit, für viele Gespräche, die mich immer wieder motiviert haben, wenn ich schon knapp am Aufgeben war, für stärkende Cafépausen und für die besten Exkursionserlebnisse überhaupt danken.

Danke auch an Bernhard Bretis fürs Steinschneiden und schleppen.

Danke auch an alle anderen Studienkollegen, die mich auf verschiedenste Arten im Verlauf meines Studiums unterstützt und bereichert haben.

Besonders bedanken möchte ich mich natürlich bei meinen Eltern. Danke für eure Unterstützung - sowohl seelisch als auch finanziell - und eure Liebe, die mir immer schon einen wichtigen Rückhalt gegeben hat. Ein Rückhalt der es mir überhaupt erst ermöglicht hat sowohl privat als auch in meinen Ausbildungen und im Beruf meine Wege zu gehen und meine Ziele zu erreichen.

Ebenfalls ein ganz besonderer Dank gilt meinem Freund Nikolaus Bartl! Danke Nick, dass du mich in Nervositäts- und Ehrgeiz- Zeiten immer daran erinnerst was im Leben wirklich wichtig ist! Danke auch für die vielen Diskussionen, deine Liebe und Unterstützung!

# 1. Einleitung

## 1.1 Motivation

Die nordöstlichen Kalkalpen stellen aufgrund ihrer hervorragenden Filtereigenschaften und Naturbelassenheit eine der wichtigsten natürlichen Trinkwasseraufbereitungsanlage in ganz Europa dar. Die Assoziation in Hinblick auf eine Wasser-Karbonat-Interaktion in den Kalkalpen ist in erster Linie der Karstaquifercharakter dieses Gebirges. Es sind jedoch auch Störungen, die einen wichtigen Platz in diesem System einnehmen. Nicht nur, weil Quellaustritte oft an Störungen gebunden sind, beziehungsweise Verkarstung oft an diesen vorgegebenen Schwachstellen im Gestein ansetzt: Eine Störung erschafft einerseits neues Gestein und beeinflusst gerade im Karbonat ihr Nebengestein sehr weiträumig. Bis zu mehrere hundert Meter von einem Störungskern entfernt, weist das Gebirge deutlich andere Eigenschaften

in Bezug auf Porosität, Permeabilität und Verkarstung auf, als das ungestörte Protolithmaterial. Diese Masterarbeit ist ein von den Wiener Wasserwerken finanziertes Projekt, das auf den Grundlagen der Magisterarbeit „*Deformationsprozesse und hydrogeologische Eigenschaften von Störungszonen in Karbonatgesteinen*“, von Bauer, H. 2010 aufbaut. Eine weitere Grundlage dieser Arbeit sind Ergebnisse meiner Bachelorarbeit, einer sprödektonischen Kartierung eines Teiles der Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung in der Umgebung von Frein an der Mürz. (Schröckenfuchs, 2010) Die aus den genannten Arbeiten gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse über kalkalpine Störungszonen im Hochschwabgebiet sollen hier erweitert sowie systematisch und quantitativ bewertet werden.

## 1.2 Zielsetzung

Das Hauptziel dieses Forschungsprojekts liegt in der umfassenden Charakterisierung geklüfteter und gestörter Karbonatgesteine im kalkalpinen Wassereinzugsgebiet von Wien - dem Gebiet um Hochschwab und Schneealpe. Als Machbarkeitsstudie diverser Untersuchungsmöglichkeiten soll die Arbeit methodische Grundlagen für eine weitere Untersuchung von karbonatischen Störungsgesteinen schaffen.

Die Zielsetzung dieser Arbeit lässt sich in 3 große Teilbereiche gliedern:

1. Messung von Porositäten und Permeabilitäten in Störungsgesteinen, die Interpretation und Bewertung von Methoden und Daten, sowie eine Diskussion einer sinnvollen Fortsetzung dieser Messungen.

Quantitative Porositäts und Permeabilitätsdaten aus Störungen sollen bessere Vorhersagen der hydrogeologischen Wirksamkeit von Störungszonen in Kalk- und

Dolomitgesteinen erlauben.

Da an Zonen erhöhter initialer Durchlässigkeit auch die Verkarstung von Störungen ansetzt, werden detaillierte störungsbezogene Daten auch eine bessere Einschätzung der Verkarstungsfähigkeit von Störungen ermöglichen. Die Erfassung der Porositäten und Permeabilitäten soll mit folgender Methodik erreicht werden:

- Porositätsmessungen (ÖNORM EN 1936)
- Heliumporositätsmessungen
- Minipermeametermessungen

2. Die hydrogeologischen Eigenschaften (Porosität, Permeabilität, Verkarstungsfähigkeit) von Störung sind von der Lithologie des Ausgangsgesteins und von den Deformationsprozessen in der Störung (kataklastisches Fließen, Drucklösungsprozesse, Breccienbildung durch Fluidinjektionen etc.) abhängig.

Um solche Prozesse zu verstehen und somit unter-

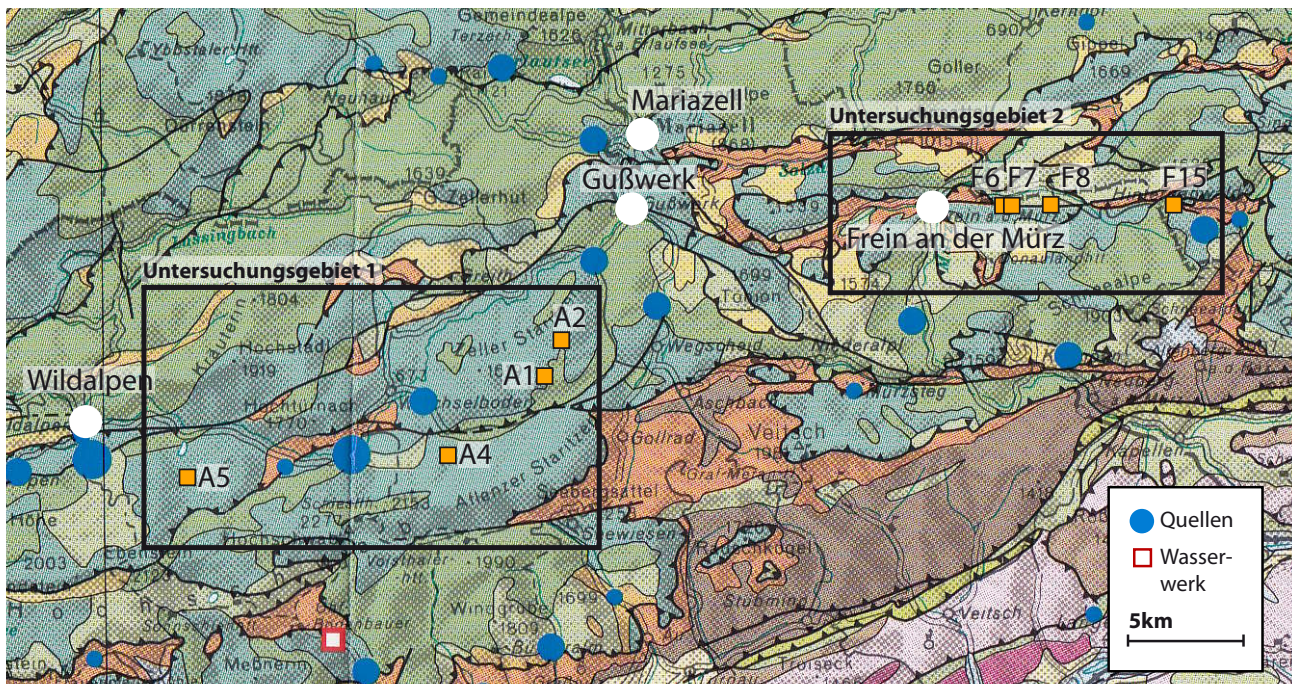


schiedliche Reservoireigenschaften von karbonatischen Störungsgesteinen erklären zu können, soll eine Untersuchung der Störungsgesteine in makroskopischem, mikroskopischem beziehungsweise in einem Nano-Maßstab stattfinden. Hierfür sollen folgende Untersuchungsmethoden herangezogen werden:

- Dünnschliffmikroskopie
- Elektronenmikroskopie
- Kathodenlumineszenz
- Micro-Computertomographie

Durch diese Methoden sollen das Reservoirpotential von Matrix und Klüften bestimmt werden. Weiters soll mit Hilfe der Messungen der chemischen Zusammensetzung von Zementen im Elektronenmikroskop, sowie durch die Analyse von möglicherweise verschiedenen lumineszierenden Zementen in der Kathodenlumineszenz auf unterschiedliche Porenwässer und Fluidinteraktionen im Gestein geschlossen werden. Die Mikro-Computertomographie soll als Methode für ein besseres dreidimensionales Verständnis der Probe, sowie einer möglichen Quantifizierung von vernetztem und unvernetztem Poren- und Kluftraum getestet werden.

3. Ein weiteres Ziel dieser Arbeit ist die mikrotektonische Charakterisierung des Gesteins. Die in den bereits genannten Zielen verwendeten Methoden sollen Prozesse der Störungsgesteinsgenese sichtbar machen, sowie eine Interpretation von Strukturen erlauben, die zu einem besseren Verständnis der Bildung von Störungsgesteinen sowie Zusammenhängen in der Störungszone führen sollen.



**Abb. 1** Ausschnitt aus der hydrogeologischen Karte von Österreich 1: 500 000 (© 2003 Geologische Bundesanstalt) mit Überblick über die Untersuchungsgebiete 1 (Hochschwab) und 2 (Frein an der Mürz) und der dazugehörigen Aufschlüsse.

## 2. Einführung

### 2.1 Lage

Alle Aufschlüsse von Störungszone, die in dieser Arbeit behandelt und untersucht werden, befinden sich in den Bezirken Mürzzuschlag, Bruck an der Mur und Liezen in der Nordsteiermark, nördlich des Hochschwabs und der Schneealpe.

Abbildung 1 gibt eine Übersicht über die Verteilung der Aufschlüsse A1, A2, A4, A5, F6-F8 und F15.

#### Aufschlüsse:

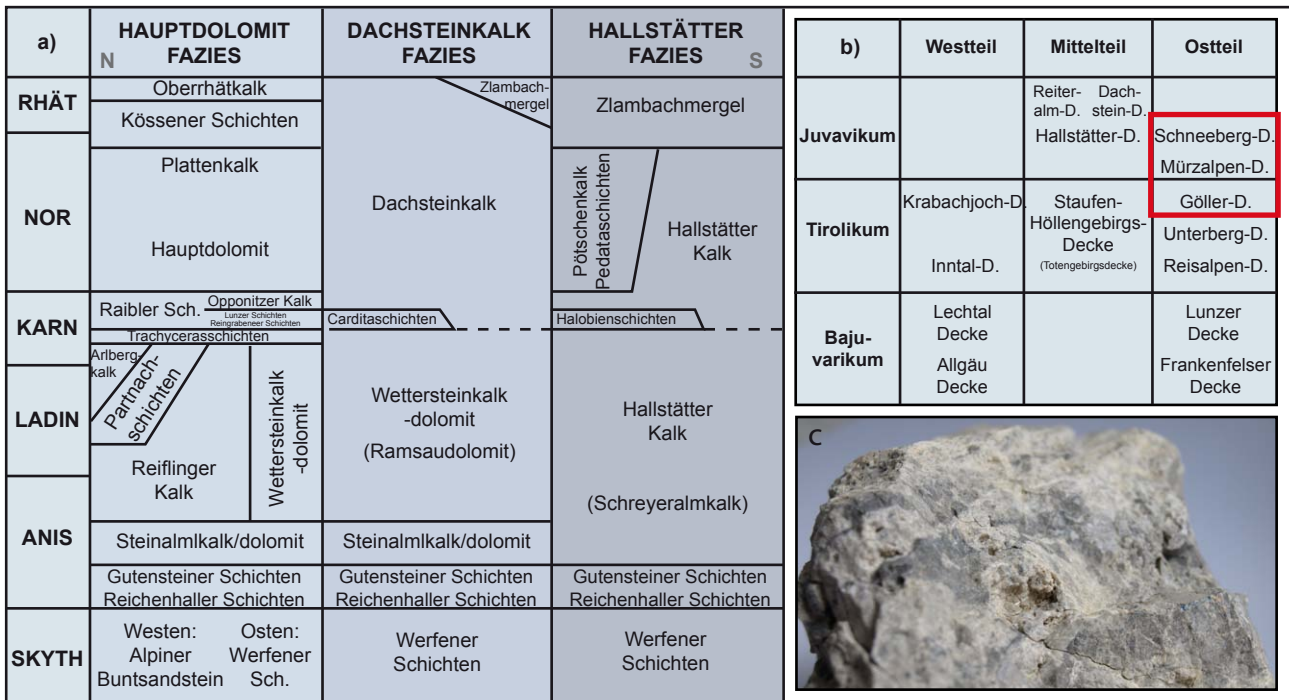
- F6** Frein/Schwarzleiten
- F7** Frein/Schwarzleiten
- F8** Frein/Schwarzleiten
- F15** Frein/Steinalpl
- A1** Kastenriegel
- A2** Zeller Staritzen/Saugraben
- A4** Weichselboden/Unterer Ring
- A5** Griesgassl/Brunntal

(deataillierte Lage und Aufschluss-beschreibungen finden sich in Kapitel 4: Gelände-Fakten und Beschreibungen, S. 12 ff.)

### 2.2 Regionale Geologie - tektonischer Deckenbau

Das gesamte Untersuchungsgebiet gehört geologisch gesehen zu den nördlichen Kalkalpen. Genauer umfasst es die Einheiten des Tirolikums und des Juvavikums.

Beginnt man mit einer Betrachtung des Gebietes von Norden nach Süden so bilden die Decken des Tirolikums - zu denen die Gölledercke zählt - das nördliche Vorland des Juvavikums. Zur **Gölledercke** zählen die Einheiten des Hauptdolomits und des auflagernden Dachsteinkalkes (Bryda, 2001). An die südlichsten Randschuppen des Tirolikums (der Gölledercke) grenzen die Einheiten der **Mürzalpendecke**, wobei ein Teilstück der Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg-Störung (Linzer et al, 1995) den tektonischen Kontakt zwischen den zwei Decken darstellt (Bryda, 2001). Die Mürzalpendecke lässt sich laut Bryda, 2001 in 2 weitere Schichtfolgen gliedern, die hier jedoch nicht näher erläutert werden. Im Westen (bei Hinternaßwald) taucht die Mürzalpendecke unter



**Abb. 2 a:** Trias-Schichtfolge des Oberostalpin (der nördlichen Kalkalpen) nach *Tollmann, 1976a* und *Faupl, 2003* **b:** Schema des Deckenbaues der nördlichen Kalkalpen verändert nach *Tollmann, 1976a* **c:** Störungsgestein aus dem Wettersteindolomit

die Schneebergdecke. Im Nordosten der Schneebergdecke bildet die Hohe Wand-Decke - bei *Tollmann, 1985* noch ein Teil der Mürzalpendecke - einen eigenständigen Komplex. Die drei Großschollen - Mürzalpendecke, Schneebergdecke und Hohe Wand-Scholle werden im gesamten Untersuchungsgebiet von kleineren Deckschollen verschiedener Triasfazies überlagert; wichtig zu nennen ist hier die **Proles Decke**, die einen Großteil des Untersuchungsgebietes 2 um Frein an der Mürz bildet und die **Roßkogeldeckscholle**, die von *Strele, 1992* als Teil der Schneebergdecke beschrieben wurde (*Mandl, 2001*). Eine Übersicht der Deckenkomplexe in den Untersuchungsgebieten ist in *Abb. 3* gegeben.

**2.3 Stratigraphie**

Nach *Lein, 1987* lässt sich die lithofazielle Abfolge der nördlichen Kalkalpen in 3 Hauptstadien gliedern:

1. Rotsediment-Stadium (O.Perm-Skyth)
2. Flachwasser-Karbonat-Stadium (M.+O.Trias)
3. Tiefwasser-Karbonat-Stadium (Jura)

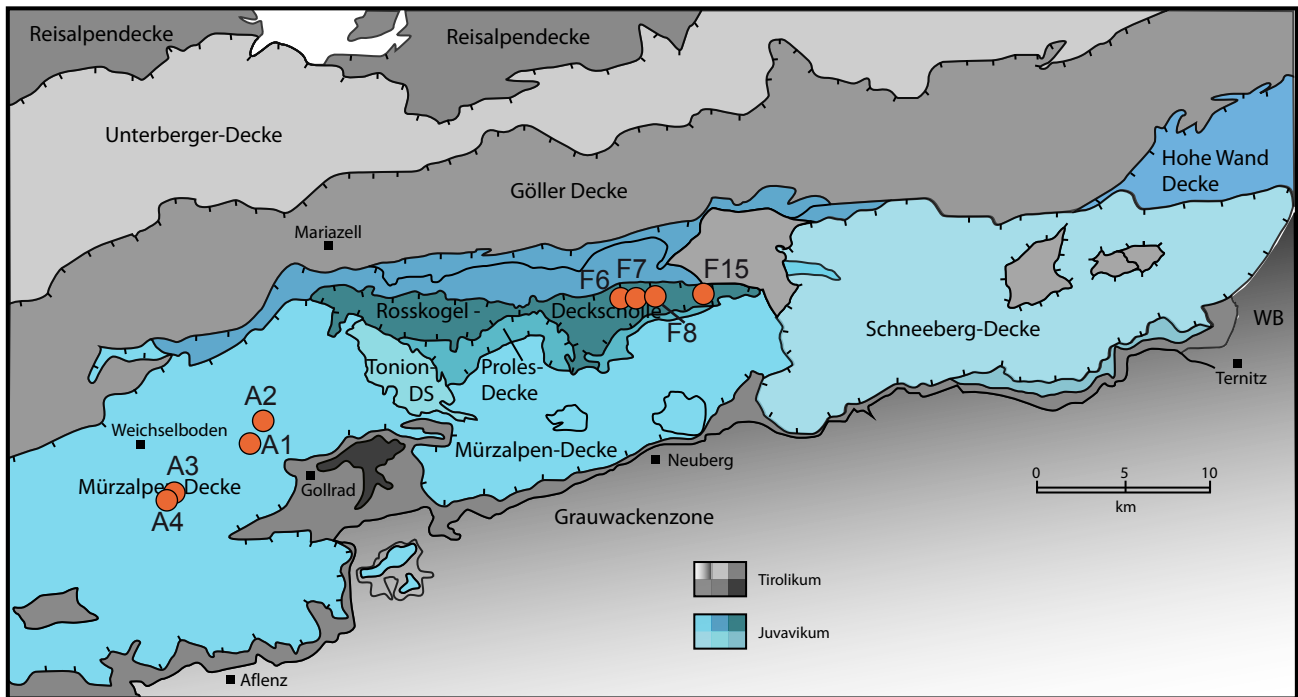
Da es sich bei den untersuchten Gesteinen vor allem um Wettersteinkalk/Wettersteindolomit handelt, wird hier näher auf die Triasablagerungen eingegangen.

Typisch für das Flachwasserkarbonat-Stadium kommt im Ladin der Wettersteinkalk zur Ablagerung, der für diese Arbeit von besonderer Bedeutung ist. Er erreicht eine Mächtigkeit von 600-1200m (*1700m Faupl, 2003*) (Mächtigkeitzunahme von N nach S).

Die Riffkalke der Wettersteinformation wurden in weiten Bereichen durch syngenetische Zufuhr von Magnesiumkarbonat dolomitisiert. Der Wettersteindolomit erreicht ebenfalls eine Mächtigkeit von bis zu 600m. Typisch für den Dolomit ist eine von Hangschutt geprägte Oberflächenmorphologie, aus der vereinzelt Felsrippen herausragen.

(nach *Möbus, 1997*)

Während der massive Anteil des Wettersteinkalkes Riffe repräsentiert, die von Kalkschwämmen, inkrustierenden Organismen und Korallen aufgebaut werden, wurde der gebankte Wettersteinkalk im Lagunenbereich abgelagert (*Faupl, 2003*).



**Abb. 3** Überblick über die Deckengliederung der nordöstlichen Kalkhochalpen; die Aufschlusspunkte sind orange markiert. Modifiziert nach Schneider et al., 2001

## 2.4 Tektonik

Nach ihrer Sedimentation erfuhren die Trias Karbonate - sowie auch der Rest der heutigen Kalkalpen - Hebung, Deformation und Überschiebung. Dies erfolgte zusammengefasst in mehreren Hauptphasen:

### 1. Prägosauische Phase

In der ersten Phase, die in der Kreide stattfand, wurden die Sedimentdecken von ihrem ursprünglichen Basement abgesichert, wobei großmaßstäbliche „Rampen-Flachbahn-Geometrien“ gebildet wurden (Decker, 2000). Weiters führte WNW gerichtete Verkürzung zur Ausbildung WNW-vergenger Falten- und Überschiebungsstrukturen, die kinematisch mit WNW-streichenden Seitenverschiebungen, sogenannten „Tear Faults“ verbunden sind (Linzer et al., 1995).

### 2. Postgosauische Phase

Die zweite Deformationsphase ereignete sich zwischen Eozän und Miozän und zeichnet sich dadurch aus, ältere Falten und Überschiebungen überprägt zu haben. Wei-

ters wurden die kalkalpinen Decken in dieser Phase auf die im Norden gelegenen Einheiten überschoben (Decker, 2000). Die Einheiten, die hier überschoben wurden sind die Rhenodanubische Flyschzone, die Klippenzone und die Molassezone.

### 3. Laterale Extrusion

Ein neuer Deformationsstil trat - nicht nur in den Kalkalpen, sondern im gesamten Ostalpenraum - im Oligozän bis mittleren Miozän auf. Die Einengungen durch die Nordwärtsdrift der Adriatischen Platte, die bisher hauptsächlich zu Faltung und Überschiebungen führte, wurde in dieser Zeit überwiegend durch ostgerichtete laterale Extrusion kompensiert (Linzer et al., 1995; Ratschbacher et al., 1991; Decker et al., 1994; Peresson & Decker, 1997a). Diese Extrusion führte in den nördlichen Kalkalpen zur Bildung von ENE- bis E-streichenden sinistralen Seitenverschiebungen, an denen die jeweils südlichen Schollen Richtung E versetzt wurden. Die wichtigste dieser sinistralen Störungen ist die Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchber-Störung (SEMP, Linzer et al., 1995). Alle Störungen

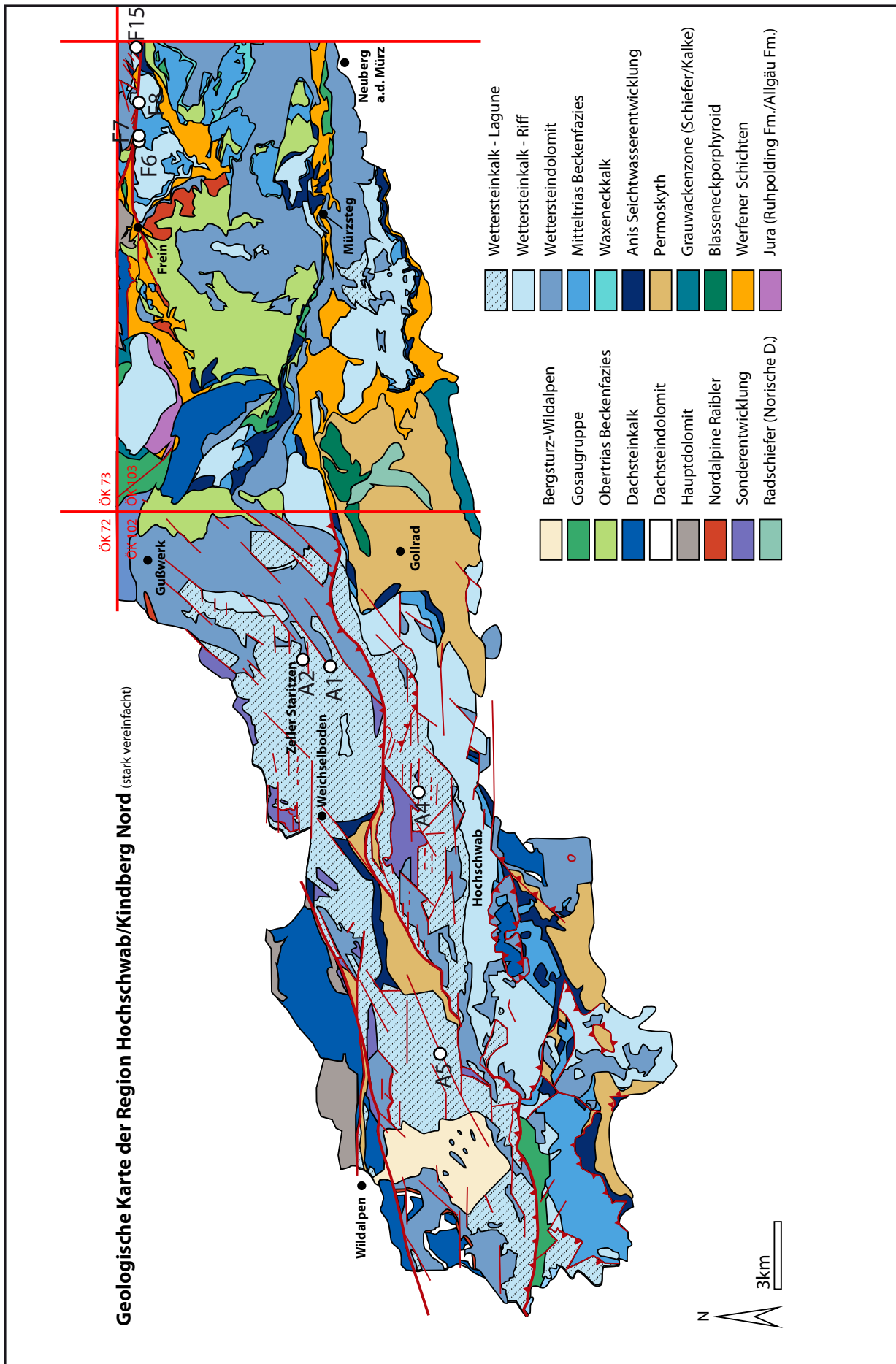


Abb 4. Geologische Karte der Untersuchungsgebiete, verändert und zusammengestellt aus Bryda, 2001 und der Geologischen Karte Kindberg Nord, Mandl, 2001

und Störungsgesteine, die in dieser Arbeit beschrieben werden, können der SEMP zugeordnet werden, die im südlichen Teil der nördlichen Kalkalpen ein komplexes Störungssystem bildet. In Zusammenhang mit diesem „Ausweichen tektonisch abgetrennter Schollen nach E“ lassen sich außerdem EW-gerichtete Extensionsstrukturen wie Abschiebungen und kleinmaßstäbliche Strukturen wie Zerrspalten und Kluftsysteme interpretieren. (Decker, 2000)

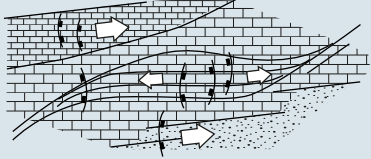
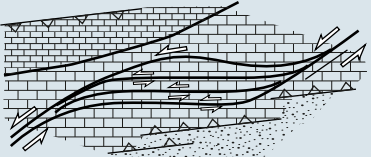
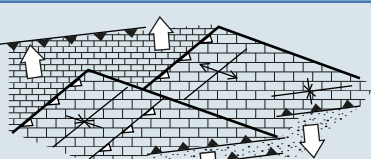
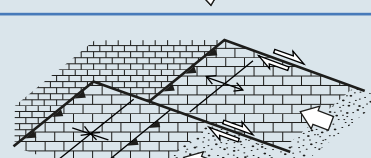
Die jüngsten strukturellen Ereignisse in den Kalkalpen sind obermiozäne EW-Verkürzungen (Peresson und Decker, 1997a) und NS gerichtete Extensionen (Decker et al., 1994), welche alte Störungsflächen reaktivieren.

Die beschriebene Deformationsabfolge wurde von Decker, 2000 in 5 Phasen gegliedert und erläutert. Eine schemati-

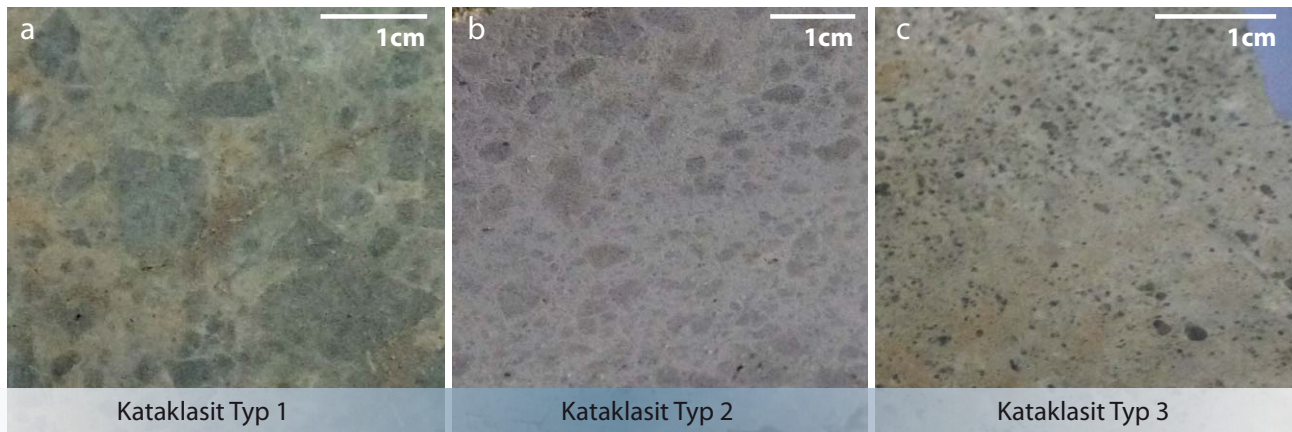
sche Übersicht der in diesem Kapitel beschriebenen Deformationsschritte findet sich in Tabelle 1.

### 2.5 Probennahme

Insgesamt wurden in dieser Arbeit 77 Handstücke untersucht. Ein Teil der hier behandelten Handstücke wurde bereits im Rahmen der Bachelorarbeit „Die Kinematik der Freiner Störung“ (Schröckenfuchs, 2010) gesammelt und untersucht. Ein anderer Teil wurde aus der Masterarbeit „Deformationsprozesse und hydrogeologische Eigenschaften von Störungszonen in Karbonatgesteinen“ von Helene Bauer, 2010 übernommen und weiter untersucht. Die übernommenen Daten sind in den Tabellen im Anhang jeweils mit einem „\*“ gekennzeichnet. Die Handstücke, die von Helene Bauer im Gelände genommen wurden, je-

		Tektonisches Regime	Großstrukturen(Karte)	Kleinstrukturen	
Ober-miozän	D5	<b>EW-gerichtete Verkürzung u. NS-Extension</b>	Reaktivierung älterer Strukturen	Reaktivierung älterer Strukturen	
Mittel-miozän	D4	<b>EW-gerichtete Extension</b>	Abschiebungen	Abschiebungen; Zerrspalten;	
Unter- bis Mittelmiozän	D3	<b>(N)NE gerichtete Verkürzung; laterale Extrusion nach Osten</b>	(E)NE-streichende sinistrale Blattverschiebungen	Blattverschiebungsduplexe; Aufschiebungen; Blattverschiebungen ((N)NE)	
Eozän bis Miozän	D2	<b>N gerichtete Verkürzung</b>	Rücküberschiebungen	Aufschiebungen; konjugierte Blattverschiebungen	
Kreide bis Eozän	D1	<b>(W)NW-vergente Verkürzung</b>	Überschiebungen; dextrale Blattverschiebungen (Tear Faults)	Aufschiebungen; Falten; konjugierte Blattverschiebungen	

**Tabelle 1** zeigt schematisch die tektonischen Ereignisse, die zur Bildung der heutigen Störungszonen und Strukturen im Hochschwabmassiv der Kalkhochalpen geführt haben. (nach Decker, 2000)



**Abb. 5** Beispiele für die verschiedenen Kataklastit Typen 1-3. **a:** Kataklastit Typ 1 mit eckigen Komponenten, schlechter Sortierung und wenig Matrixgehalt. **b:** Kataklastit Typ 2 mit besserer Sortierung, gerundeten, rotierten Komponenten und deutlich mehr Matrix. **c:** Kataklastit Typ 3: kleine gut gerundete, gut sortierte Komponenten in einem sehr hohen Matrixanteil.

doch in ihrer Arbeit nicht weiter untersucht oder behal- delt wurden, werden extra angeführt. Speziell für diese Arbeit wurden 2011 an den meisten Aufschlusspunkten noch zusätzlich Handstücke entnommen und beprobt.

### 3. Klassifizierung von Störungsgesteinen

Die Klassifizierung der Störungsgesteine, auf die sich diese Arbeit stützt, geht in erster Linie auf *Sibson, 1977* zurück. Die hier verwendete Form wurde jedoch von *Decker und Bauer, 2010* vorgeschlagen. Die Klassifizierung hat Vor- und Nachteile und soll im Folgenden kurz erläutert und diskutiert werden. Weiters folgt ein Vergleich mit veröffentlichten Alternativansätzen von *Woodcock & Mort, 2008* sowie *Billi, 2010*. Die Schwierigkeit der Klassifizierung spröder Störungsgesteine in Sedimentgesteinen liegt auf der Hand: Unterschiedliche Ausgangsgesteine (Siliziklastika, Kalk, Dolomit) deformieren je nach Mineralgehalt in unterschiedlicher Art. Weitere Unterschiede resultieren aus dem Ausmaß der Deformation sowie aus Mächtigkeit, Länge, seismischer oder aseismischer Deformation, der Präsenz von Fluiden und Zementation während der Deformation. Karbonatische Störungsgesteine sind charakteristischerweise äußerst inhomogen. Die rein deskriptive Klassifizierung nach *Decker und Bauer, 2010* geht von der allgemeinen Unterteilung der Störungszone in einen Störungskern (Fault Core = lokalisierter Shear Strain) und einer Randzone (Damage Zone) aus.

In der jeweiligen Zone werden die Gesteine weiters in mehrere Klassen bzw. Typen unterteilt. Charakteristisch für den „fault core“ sind - wie bereits *Sibson, 1977* klassifizierte, die Kataklastite. Diese werden im Modell *Decker/Bauer* nach mehreren Kriterien in 3 Typen unterteilt:

#### „Kataklastite Typ 1

*Die charakteristische Mikrostruktur besteht aus eckigen bis kaum gerundeten Protolithkomponenten, deren Größe zwischen 1 mm und maximal 1 cm liegen. Die Sortierung ist schlecht, die umgebende Matrix besteht aus mechanisch zerkleinerten Kalzizementen oder Ausgangsgestein.*

#### Kataklastite Typ 2

*Diese Kataklastite beinhalten schlecht bis gut gerundete Komponenten, die zum Teil deutlich rotiert sind, der Sortierungsgrad und der Anteil an Matrix ist etwas höher als bei Typ 1. Innerhalb dieser Kataklastite treten vermehrt (Spiegel-) Harnischflächen mit deutlichen Bewegungslinearen auf. In der Matrix kann sich eine Foliation subparallel zum Verlauf der Scherzone ausbilden.*

#### Kataklastite Typ 3

*Es handelt sich um feinkörnige, Matrix-reiche Gesteine. Die Komponenten sind im Allgemeinen besser sortiert und angerundet und schwimmen oft in der feinkörnigen Matrix. Diese treten in sehr eng begrenzten Zonen auf, die Mächtigkeit ist gering.“*

*(Zitat Bauer, 2010)*



In der Randzone (Damage Zone) werden Gesteine unterschiedlicher Kluftdichte verschiedenen „Fracture Facies“ zugewiesen, wobei hier die Einteilung (1-4) nach der Anzahl der Kluftsysteme und den Abständen zwischen den einzelnen Klüften eines Systems erfolgt. „Fracture Fazies 1“ würde demnach ein Karbonatgestein mit weniger als 3 unterschiedlich orientierten Kluftsystemen mit großen Kluftabständen (bis mehrere dm) entsprechen. „Fracture Facies 4“ beschreibt ein Gestein in dem die einzelnen Kluftgruppen aufgrund ihres geringen Abstandes (1cm und kleiner) nur mehr schwer trennbar sind (Bauer, 2010). Gesteine der Fracture Facies 3 und 4 sind somit charakteristisch für die Damage Zone, die dem Störungskern am nächsten liegt.

Die „Dilation Breccie“ (Sibson, 1986) sowie die „Drucklösbreccie“ (Bauer, 2010) erhalten eine Art Sonderstellung. Sie werden bei Bauer, 2010 beide der Damage Zone zugewiesen. Die Drucklösbreccie wird in dieser Arbeit jedoch als Gestein des Fault Cores klassifiziert. Während die Dilation Breccie auch als Extensionsbreccie beschrieben wird, jigsaw-puzzle Strukturen, keinen Komponentenversatz und keine Komponentenrotation zeigt, zeichnet sich die Drucklösbreccie durch stylolithisch getrennte Komponenten aus, die zusätzlich von meist tonigen Bereichen voneinander getrennt werden (Bauer, 2010). Charakteristisch für die Drucklösbreccie ist somit Volumsverlust.

Billi, 2010 gliedert karbonatische Kataklasite des Zentral Apenninischen Falten- und Überschiebungsgürtels in 3 mikroskopisch beobachtete Gruppen, die im Groben mit der makroskopischen Klassifikation der Kata-

**Abb. 6 a-e:** Überblick der Gesteine der Damage Zone und des Störungskerns (Drucklösbreccie) **a:** Fracture Fazies 2 - drei verschiedene Kluftgruppen in Abständen von 5-10cm **b:** Fracture Fazies 3 - fünf verschiedene Kluftgruppen; der Abstand zwischen den Klüften beträgt wenige Zentimeter **c:** Fracture Fazies 4 - extrem viele verschiedene Kluftrichtungen, die das Gestein in 1cm große Stücke unterteilen. **d:** Dilation Breccie aus dem Aufschluss A2 Saugraben **e:** Drucklösbreccie aus dem Aufschluss F8 Schwarzleiten/Frein



klasite nach *Bauer, 2010* übereinstimmen: Das „embryonic fabric“ ist charakteristisch für grobe Breccienzonen direkt an der Grenze zur damage zone und besteht aus einer Ansammlung von großen, eckigen Komponenten, die Kornkontakte zeigen. Die Matrix ist in diesem Stadium noch nicht oder nur in einem sehr frühen Stadium entwickelt. Die Kornverteilung ist gut sortiert in Hinblick auf die großen Komponenten (*Billi, 2010*).

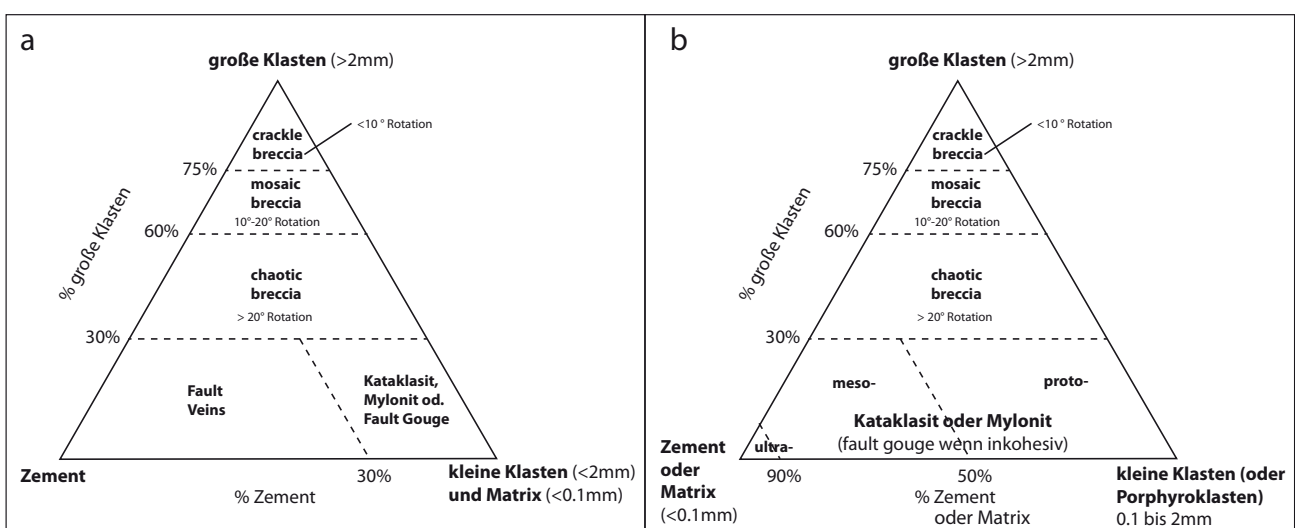
Das „intermediate fabric“ ist ebenso charakteristisch für Breccienzonen. Die Komponenten stehen hier nur mehr teilweise im Kontakt und sind durchwegs von feiner Matrix umgeben. Die größeren Komponenten sind weniger eckig als die Komponenten des „embryonic fabric“. Schlechtere Korngrößenverteilung ist ebenfalls ein Merkmal dieses Typs (*Billi, 2010*).

Das „mature fabric“ ist typisch für „gouge zones“ und besteht aus wenigen großen Körnern, die von einer gut ausgebildeten, feinen Matrix umgeben werden. Alle größeren Komponenten zeigen gute Rundung und kaum Kornkontakte. Die Sortierung ist schlecht, die Korngrößenverteilung liegt im Bereich der kleinen Körner (im Gegensatz zum „embryonic fabric“ und „intermediate fabric“). *Billi, 2010* sieht den Prozess der Kornzerkleinerung

als eine Mischung aus Kataklyse und Drucklösung.

Eine weitere geometrische Klassifikation von Störungsbreccien - unabhängig von ihrer Genese und unabhängig davon ob die Störungsgesteinsklasten von Matrix oder kristallinem Zement voneinander getrennt werden - kommt von *Mort und Woodcock, 2008*. Die Gesteine werden in dieser Klassifikation nach den Parametern Komponentenrundung, Oberflächenrauigkeit, Komponentenhäufigkeit in einer Einheitsfläche, Korngrößenverteilung, Rotation und einem sogenannten „goodness of fit“-Faktor beurteilt. Das Ergebnis der Studie brachte eine Einteilung der Störungsbreccien in „Crackle-“, „Mosaic-“ und „Chaotic- Breccia“ - textuelle Begriffe aus der „Höhlen-Kollaps-Literatur“ wobei diese anhand von Klassenkonzentration und Rotation unterschieden werden.

In einem weiteren Paper stellen *Woodcock & Mort, 2008* eine neue Störungsgesteinsklassifikation vor. Diese ist nicht-genetisch und soll der einfachen Anwendung im Gelände dienen. Die Diagramme in Abb. 7 zeigen die Klassifikation der Störungsgesteine nach *Woodcock & Mort, 2008*, wobei die oben beschriebenen „Breccias“ laut Definition mit der Fracture Fazies 4, dem Kataklysit 1 und der Dilation Breccie aus der Klassifikation die *Bauer, 2010*



**Abb. 7** Störungsgesteinsklassifikation nach *Woodcock & Mort, 2008* Die Autoren schlagen beide Diagramme als Klassifikationsmöglichkeit vor. In Abbildung **a** werden die Eckpunkte des Diagramms mit : großen Klasten (>2mm), Zement und kleinen Klasten(<2mm)/ Matrix(<0.1mm) festgelegt. In Abbildung **b** setzt sich das Diagramm aus den Eckpunkten: großen Klasten (>2mm), Zement oder Matrix (<0.1mm) und kleine Klasten 0.1-2mm zusammen. Da die Unterscheidung zwischen Matrix und Zement im Gelände oft schwer zu treffen ist, verwenden die Autoren diese Differenzierung nur als sekundäre, optionale Einteilung der Störungsgesteine.

vorschlägt, zu vergleichen wären. Die Klassifikation baut auf der Grundlage auf, dass eine „fault breccia“ wie folgt definiert wird: „*at least 30% of its volume being clasts larger than 2mm in diameter*“ (Woodcock & Mort, 2008). Die Autoren bezeichnen nur Gesteine mit weniger als 30% 2mm Klasten als Kataklastite. Der Rundungsgrad der Komponenten scheint in den Diagrammen keine Berücksichtigung zu finden. Die Grenze von „kleinen Klasten“ zur „Matrix“ wird mit 0.1mm angegeben, sodass sie mit freiem Auge, ohne Lupe, noch erkennbar ist.

## **Kapitel 4 | Gelände**

### Fakten & Beschreibungen



Kapitel 4 soll einen kurzen Überblick über den Aufbau der Aufschlüsse an den Störungen im Gelände geben, an denen die in dieser Arbeit untersuchten Störungsgesteine entnommen wurden.



**Abb. 8 a:** Blick Richtung ENE am gerodeten Hang der Schwarzleiten - die Aufschlüsse liegen verteilt am Hang; **b:** Harnischfläche eines später entnommenen Handstückes Steinalmdolomits; **c:** Strukturdaten des Aufschlusses F6

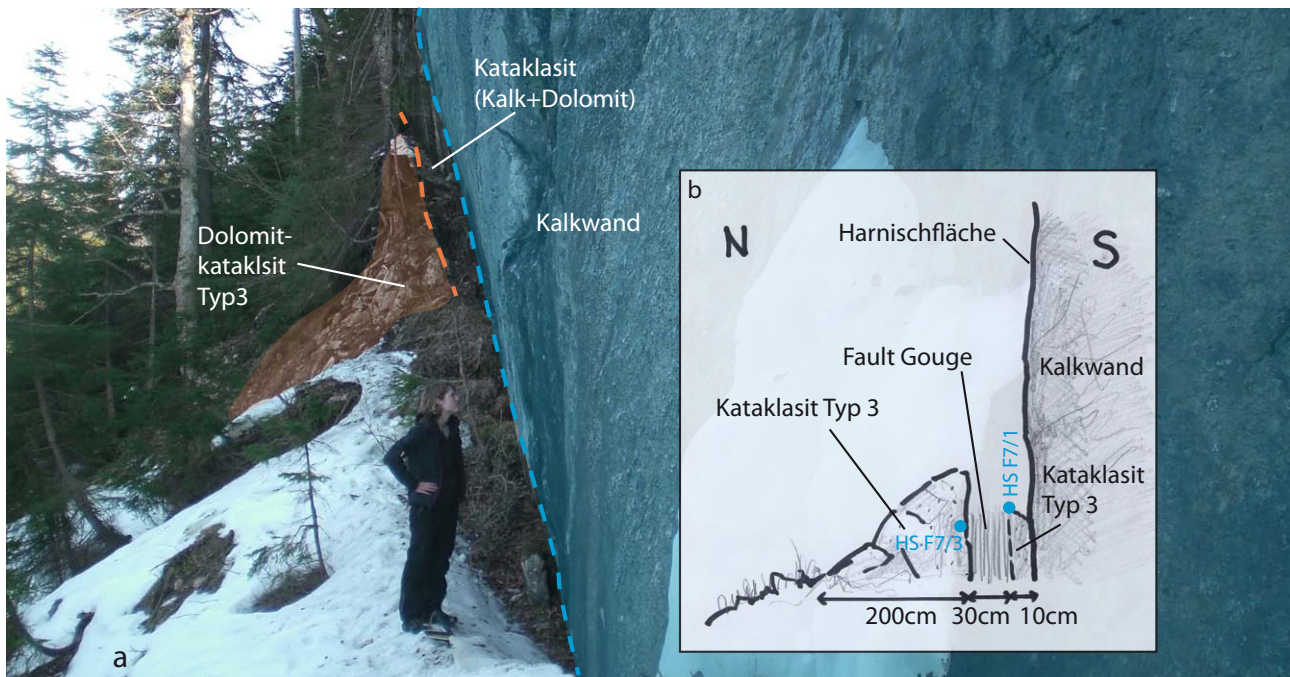
<b>FAKTEN</b>	<b>F6 Schwarzleiten/Frein</b>	
	Gestein: <b>Dolomit</b>	Anis
	<b>N GKM 289.771</b>	04 Proben
	<b>E M34 688.135</b>	03 Dünnschliffe
	Steinalmformation	

**C**

#### 4.1 Beschreibung

Aufschluss F6 liegt am Nordhang der Schwarzleiten, südöstlich der Ortschaft Frein an der Mürz. Der Aufschluss befindet sich in einem ehemaligen Waldstück, wurde jedoch durch kürzliche Rodung des Gebiets zugänglich gemacht. Die aufgeschlossenen Felsstufen erreichen Höhen von 1-2 Metern. Obwohl die Störungsgesteine der Steinalmformation (Anisium) und nicht der Wettersteinformation (Ladinium) zuzuordnen sind, werden sie hier als Vergleichsmaterial besprochen. Kataklastite des Typs 1 und 2 (Bauer, 2010) sind an mehreren Bereichen des Hanges aufgeschlossen. Die Kataklastite des Typ 2 zeigen deutlich ausgebildete, glatte Harnischflächen mit Bewegungslinearen über mehrere Zentimeter. Die Messungen zeigen eine EW streichende Hauptstörung, die wie in Kapitel 1.4

besprochen, der lateralen EW Extrusion und somit der Salzachtal- Ennstal- Mariazell- Puchberg Störung (SEMP, Linzer et al, 1995) zugeordnet werden kann. Weiters lassen sich Flächen mit einem Winkel von 35° zur Hauptstörung als synthetische Riedelflächen interpretieren. Der hohe Winkel ist auf Transpression (Sanderson and Marchini, 1984; Mandl, 1988) in der Scherzone zurückzuführen, wobei zusätzlich zu einfacher Scherung (Simple Shear) noch eine Komponente reiner Scherung (Pure Shear) mit Verkürzung senkrecht zur Störung wirkt. (Ein weiterer Beweis der Transpression sind die in Flower Structures an die Oberfläche gehobenen Werfener Schichten, die stratigraphisch eigentlich die ältesten Triasablagerungen darstellen - siehe dazu auch Aufschluss F7.)



**Abb. 9 a:** Aufschluss F7 Blick Richtung E, **b:** Skizze des Aufbaus von Aufschluss F7; die Entnahmepunkte der Handstücke sind blau markiert; **c:** Hauptstörungsverlauf von Aufschluss F7

### F7 Schwarzleiten/Frein

Gestein: **Dolomit/Kalk**

Anis/Ladin

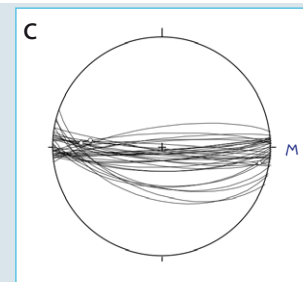
**N GKM 289.747**

04 Proben

**E M34 688.322**

08 Dünnschliffe

Steinalm/Hallstatt.F.



#### 4.2 Beschreibung

Ebenfalls am Nordhang der Schwarzleiten gelegen, handelt es sich bei Aufschluss F7 um eine ca. 50m lange und 5m hohe, angewitterte, EW streichende Störungsfläche mit einer ca. 3m breiten direkt nördlich anschließenden kataklasitischen Störung. Ein Profil, das die Störungsfläche, die Kalk-Dolomit-Kataklasitzone (10cm breit) und den Dolomitkataklasit (2,5m breit; von S nach N) zeigt, ist Abb.9 b zu entnehmen. Diese Abfolge ist auf rund 5 Metern entlang der Kalkwand aufgeschlossen. Bei Entfernung der obersten Humusschicht - 3m nördlich der Kalkwand, jedoch östlich der anstehenden Kalk-Dolomit-Kataklasit- und Dolomitkataklasitzone - stößt man auf rotbraunen Fault Gauge. Vermutlich handelt es sich dabei um Werfener Schichten, die - wie schon bei Auf-

schluss F6 erwähnt - als stratigraphisch älteste Schichten der Triasabfolge durch Transpression in einer Positiven Flower Structure gehoben wurden (Sanderson and Marchini, 1984). Auch in diesem Aufschluss weist die Kalkwand eine deutliche EW Ausrichtung auf. Durch die davorliegenden Störungsgesteine ist anzunehmen, dass die Kalkwand eine Harnischfläche darstellt; verwitterungsbedingt zeigt sie jedoch keine Lineare. Aufgrund ihrer Orientierung und Lage in der streichenden Fortsetzung von F6 wird die Störung ebenfalls als Teilstörung des SEMP-Systems interpretiert. Stratigraphisch gesehen gehören die Gesteine dieses Aufschlusses zur Steinalm bzw. Hallstattformation. Sie wurden als Vergleich (selbes Deformationsregime) für die Interpretation der Wettersteinkalke/dolomite herangezogen.



**Abb. 10 a:** Aufschluss F8 liegt direkt an der Forststraße an der Schwarzleiten (Blick Richtung S). Über mehrere Zehnermeter ist stark geklüfteter Wettersteinkalk aufgeschlossen. **b:** Stylolithische Harnischflächen mit rotem tonigen Material; **c:** Strukturdaten F8

FAKTEN	F8 Schwarzleiten/Frein	
	Gestein: <b>Dolomit/Kalk</b>	Ladin
	<b>N GKM 289.666</b>	01 Proben
	<b>E M34 689.406</b>	01 Dünnschliffe
	Wettersteininformation	

### 4.3 Beschreibung

Der Aufschluss befindet sich direkt an der Forststraße, die ausgehend von der Ortschaft Eder am Nordhang der Schwarzleiten verläuft.

Ein ca. 60m langes System aus stark geklüftetem grauem Kalk zeigt Harnischflächen mit rotem Drucklösungston. Die Harnischflächen zeigen oft mehrere, verschieden ausgerichtete Lineare, die auf die unterschiedlichen Deformationsereignisse (Kapitel 1.4) schließen lassen.

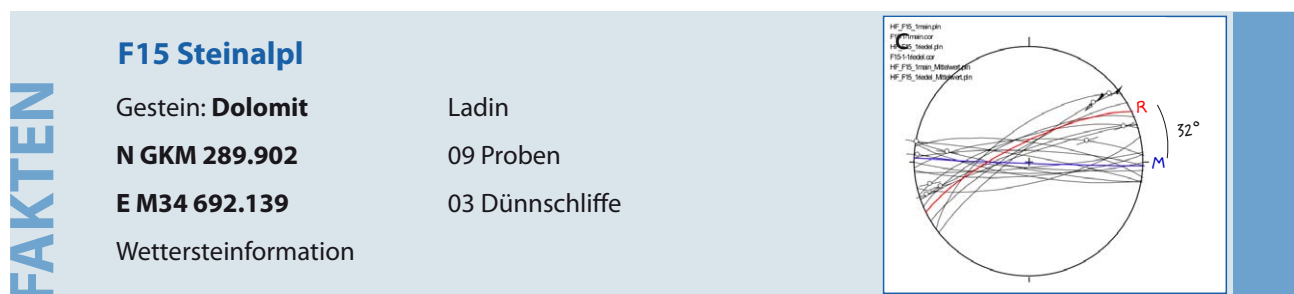
Eine Drucklösungsbreccie (Bauer, 2010), deren Komponenten durch rote, stylolithische Flächen voneinander getrennt werden, wurde als Handstück zur weiteren Untersuchung mitgenommen.

Wieder zeigen Messungen der meisten Harnischflächen

den deutlichen Verlauf einer EW streichenden Störung, die der SEMP (Linzer et al, 1995) zugeordnet werden kann. Auch bei diesem Aufschluss konnte Transpression aufgrund von erhöhten Winkeln der Riedelflächen (Abb. 10 c) nachgewiesen werden (Mandl, 1988). Aufgrund der eindeutig mehrphasigen Überprägung des Aufschlusses durch verschiedene Deformationsphasen wurden hier bis auf die Drucklösungsbreccie keine Störungsgesteine als Proben genommen, da nicht sicher angenommen werden kann, dass es sich bei den Gesteinen um primär durch die SEMP erzeugte Störungsgesteine handelt.



**Abb. 11 a:** Aufschluss Steinalpl Blick Richtung SW; **b:** Detailansicht aus Aufschluss F15: Übergang eines geklüfteten Dolomits der Fracture Fazies 4 (unten) zu einer Dilation Breccie (oberer Bildbereich); **c:** Strukturdaten F15



#### 4.4 Beschreibung

Aufschluss F15 liegt direkt am Forstweg Steinalpl, südlich der kalten Mürz und besteht hauptsächlich aus extrem stark geklüftetem Wettersteindolomit. Die Größe des Aufschlusses beträgt mehrere Zehnermeter. Kataklastitbildung führte in einigen Bereichen des Aufschlusses zu Zementation des Ausgangsgesteins. Das Gestein ist kompakt und konnte auch in Form von Handstücken mitgenommen werden; Bereiche, die im Bezug auf Reservoireigenschaften mit Sicherheit sehr hohe Porositäts- und Permeabilitätswerte aufweisen, konnten nicht beprobt werden, da diese zu geringe Zementation bzw. Festigkeit aufweisen (geklüftete Bereiche der Damage Zone). Im Hangschutt finden sich immer wieder 10-20cm große

Kataklastitstücke des Typs 1-2, die Millimeter-dünne Zonen mit glatt poliertem Kataklastit 3 zeigen (Spiegelharnische). Diese Gesteine konnten im Anstehenden nicht gefunden werden, wurden jedoch zur Bestimmung der Porosität und Permeabilität beprobt. Auch Dilation Breccien wurden im gesamten Aufschlussbereich gefunden und als Handstücke weiter untersucht. Wieder zeigen die Messungen von Harnischflächen in anstehenden Kataklastiten eine EW streichende Störung und dazugehörige synthetische Riedelflächen mit einem erhöhten Winkel von  $32^\circ$  zur Hauptstörung, der auf Transpression hinweist (High Angle Riedels, Mandl, 1988).



**Abb. 12 a:** Aufschluss Kastenriegel Blick Richtung ENE; **b:** Strukturdaten Aufschluss A1, nach *Bauer, 2010*; M = Hauptstörung („main fault“)

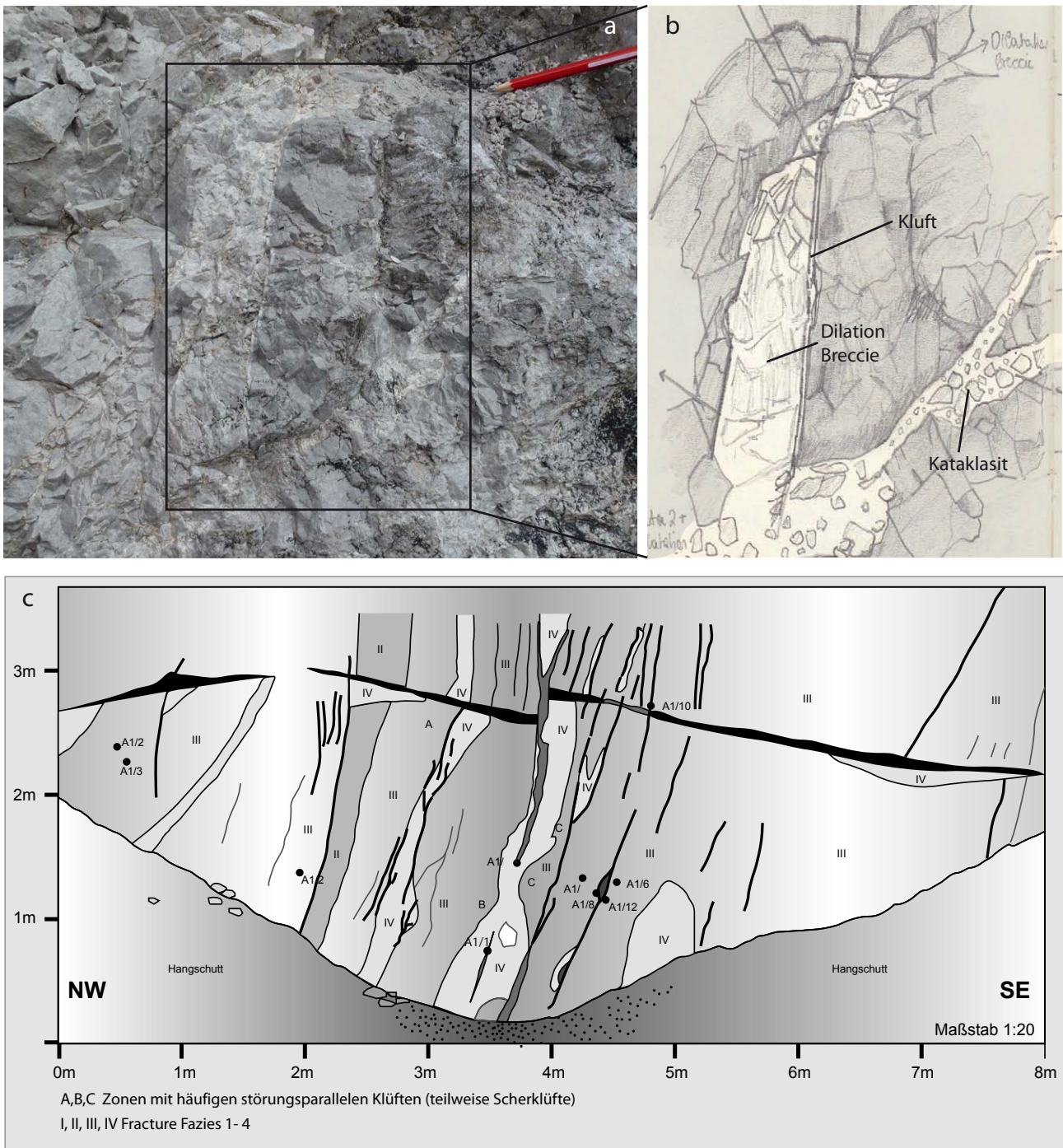
FAKTEN	<b>A1 Kastenriegel</b>		
	Gestein: <b>Dolomit</b>	Ladin	
	<b>N GKM 280.980</b>	13 Proben	
	<b>E M34 669.209</b>	16 Dünnschliffe	
	Wettersteininformation		

#### 4.5 Beschreibung

Beim Aufschluss Kastenriegel handelt es sich um eine ca. 8m breite Störungszone im Wettersteindolomit. Im Zuge Ihrer Geländearbeit wurde von *Bauer, 2010* ein Profil der Kernzone dieser Störung erstellt, das mit kleinen Änderungen in Abb. 13 c übernommen wurde. Das Zentrum der Störung bildet eine etwa 2m breite NE-SW streichende, sinistrale Scherzone. Zwei, bis zu 5cm breite Kataklastite bilden den eigentlichen Störungskern. An diesen Bereich ist auch verstärkte Verwitterung/Verkarstung gebunden. Weiters wurden von *Bauer, 2010* über die gesamte Störungszone mehrere Kataklastitaltersgenerationen beschrieben. Diese konnten auch bei dem Geländeaufenthalt für diese Arbeit beobachtet werden. Unmittelbar neben der Hauptstörung weist das Gestein vermehrt stö-

rungsparallele Klüfte auf; auch kalzitisch verfüllte Zerrspalten und Dilation Breccien treten zu beiden Seiten des Fault Core auf, wobei ihre Dichte mit zunehmender Entfernung abnimmt. Der Großteil des aufgenommenen Profils lässt sich als Damage Zone mit Fracture Facies 3 interpretieren. Schon im Gelände kann man aus den Strukturen darauf rückschließen, dass bei der Bildung dieser Störungszone Fluids und damit verbundene Zementationsprozesse eine wichtige Rolle gespielt haben. Noch offene Zerrspalten, von *Bauer, 2010* gefundene idiomorphe Kalzitkristalle und syntaxial gewachsene Kalzitemente, die „hydraulic fracturing“ durch hohen Porenwasserdruck vermuten lassen, weisen alle auf die Bedeutung der Interaktion von Deformation und Formationswässern hin.





**Abb.13 a** und **b** zeigen einen Ausschnitt aus dem Aufschluss Kastenriegel, der die eng verbundene Fluid-Gesteinsinteraktion zeigen soll. Bild a zeigt ein Foto, b eine Skizze einer Kluft an die deutlich helleres Störungsgestein (Kataklastit und Dilation Breccie) gebunden ist. Auffällig ist, dass das helle Störungsband (im unteren Bereich der Skizze) zuerst links, dann (weiter oben in der Skizze) rechts der Kluft verläuft. Es verschwindet an einer weiteren Kluft gänzlich. Im unteren Bildbereich ist ein von der Hauptkluft abzweigendes zweites System verfolgbar, das schließlich „aufgabelt“ und sich, immer dünner werdend, in der Fracture Fazies verliert. Klüfte scheinen in beiden Fällen als Migrationsweg zu dienen. Das Fluid dringt jedoch nicht weiter ins geklüftete Nebengestein ein.

**c:** Überblick der Störungszone Kastenriegel; die Skizze (verändert nach *Bauer, 2010*) soll hier nur als Überblick über den Aufschluss dienen. Die dunklen Striche stehen für unterschiedliche Kataklastitypen und Dilation Breccien. Die Fracture Fazies-Bereiche sind mit römischen Zahlen von I-IV markiert.



Abb. 14 a: Aufschluss Saugraben Blickrichtung NE; b: Strukturdaten A2, nach Bauer, 2010; M= Harnischflächen der Hauptstörung

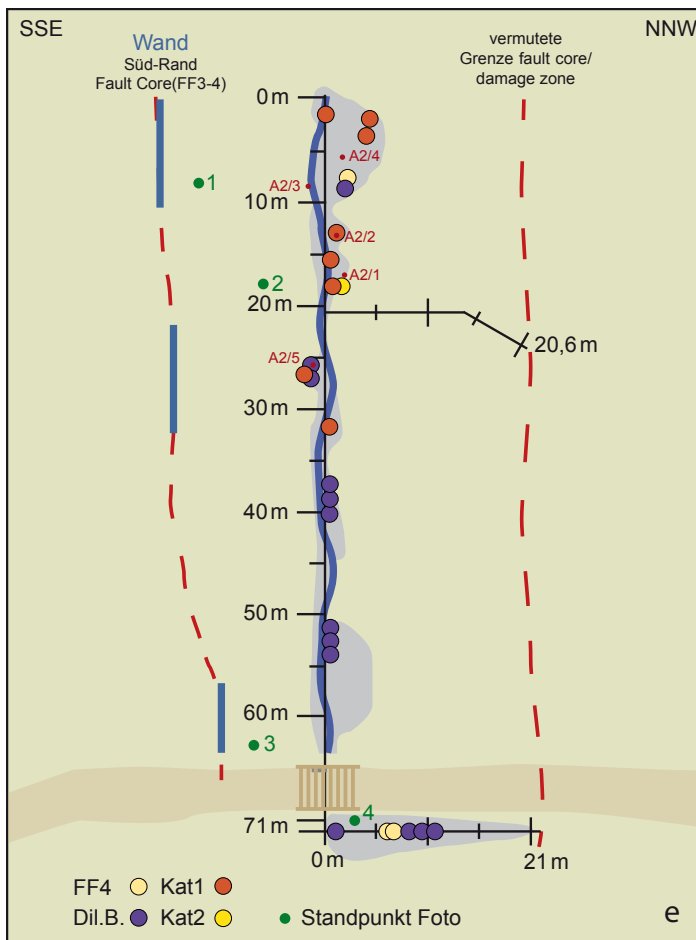
FAKTEN	A2 Saugraben	
	Gestein: <b>Dolomit</b>	Ladin
	<b>N GKM 280.980</b>	09 Proben
	<b>E M34 669.209</b>	04 Dünnschliffe
	Wettersteininformation	

b

#### 4.6 Beschreibung

Die Störung A2 „Saugraben“ liegt in einem WSW-ENE streichenden Bachbett direkt am Forstweg auf den Zeller Staritzen. Der Aufschluss, der auch in der Masterarbeit von Bauer, 2010 beschrieben wurde, wurde neu aufgenommen und ist in Abb.15e dargestellt. Störungsgesteine sind, wie auf der Skizze verzeichnet, nicht nur im Bachbett, sondern auch im Graben entlang des Forstweges (Abb.15d) aufgeschlossen. Zusätzlich verläuft ca. 50m von der Forstraße entfernt ein Graben in Richtung NNW vom Bachbett weg, dessen Ende als vermutete Grenze zum undeformierten Störungsrand angenommen wurde. An Störungsgesteinen findet man hauptsächlich Dilations Breccien und Kataklastite des Typs 1 und 2. Bauer, 2010 schließt von Harnischflächenmessungen auf einen NE-

SW Verlauf der Störung, der hier zusätzlich belegt werden kann, da die Abgrenzung zur Damage Zone und zu ungestörtem Material auf rund 80 Metern durchgehend nach SSE und NNW erfolgt und daher ein ENE-WSW-Streichen der Störung anzunehmen ist. Störungsgesteine findet man zusätzlich auch im Osten des Forstweges bis zu 50 m in Streichrichtung des Bachbettes. Auch im Westen lässt sich die Störung aufgrund von Störungsgesteinen noch mehrere 100 Meter (über die Alm) verfolgen. Die Handstücke aus dem Saugraben wurden in dieser Arbeit besonders genau untersucht. Die verschiedenen Gesteinstypen der dolomitischen Scherzone konnten aufgrund der sekundären Kalzitverfüllung auch im mikrotektonischen Bereich sehr gut studiert werden.



**Abb. 15 a:** Die SSE des Fault Core liegende Wand aus Dolomit wird als Grenze des fault core zur damage Zone interpretiert. **b:** Das Bild zeigt die ersten 30 m des Saugraben-Profiles; alle beprobten Handstücke wurden aus diesem Gebiet entnommen; **c:** Auch entlang des Forstweges konnte die Störung bis zu ca. 20m aufgrund von Störungsgesteinen verfolgt werden. **d** zeigt abermals ein Bild des Forstweges mit dem Straßengraben, in dem die Störungsgesteine anstehen. **e:** Das Profil Saugraben wurde beim Geländeaufenthalt für diese Arbeit neu aufgenommen. Der grau unterlegte Bereich soll den ungefähren Verlauf der aufgeschlossenen Störungsgesteine darstellen. Der Rest der Störung wird - wie auch auf den Bildern ersichtlich wird - von Vegetation bedeckt; die Probenentnahmepunkte wurden aus der Aufschlusskizze von *Bauer, 2010* übernommen. Die grünen Punkte markieren die Standpunkte von denen aus die hier angeführten Fotos gemacht wurden. Die rote gestrichelte Linie soll die ungefähre Grenze des Fault Cores zur Damage Zone darstellen: Die SSE-Grenze bildet die Dolomitwand, die Grenze in NNW- Richtung wurde aufgrund der nicht mehr auftretenden Fault Core typischen Störungsgesteine im Straßengraben (21m) und am Ende des von der Störung abzweigenden Graben (20,6m) gezogen.



**Abb. 16 a:** Aufschluss A4 - Unterer Ring, Blick Richtung WNW; **b:** Strukturdaten A4, nach Bauer, 2010; M= Harnischflächen der Hauptstörung

FAKTEN	A4 Unterer Ring	
	Gestein: <b>Kalk</b>	Ladin
	<b>N GKM 278.550</b>	14 Proben
	<b>E M34 664.220</b>	06 Dünnschliffe
	Wettersteininformation	

**b**

#### 4.7 Beschreibung

Die Störung A4 liegt im Unteren Ring, im SSE der Ortschaft Weichselboden. Die EW streichende, sinistrale Seitenverschiebung ist in der Felswand über eine Höhe von ca. 200m verfolgbar. Der zentrale Teil der Störung - ca. 1-3m mächtig - ist durch verstärkte Verwitterung und Verkarstung gekennzeichnet. Der Störungskern (ca. 1-2 cm mächtig) wird von Kataklastiten des Typs 1, 2 und 3 aufgebaut. Am Fuße der Störung - sowie im gesamten Talbereich, lässt sich ein massiger Block und Schuttkegel beobachten, was auf einen gewaltigen Massentransport nach der Schneeschmelze und bei Starkregenereignissen durch enorme Wassermassen schließen lässt. Auffallend sind die nördlich und südlich von der Hauptstörung abzweigenden Riedelflächen, die sich in einer blumenar-

tigen Struktur über die gesamte Höhe der Störung verfolgen lassen. Dieses Phänomen ist besonders gut aus weiterer Entfernung beobachtbar. Die Damage Zone verläuft symmetrisch zu beiden Seiten des Fault Core und kann in südlicher Richtung mit ca. 150 m angegeben werden (Handstücke aus 100 m Entfernung zum Fault Core = Fracture Facies 2) Im Norden lässt das Gelände keine genauere Begutachtung zu, jedoch kann ein ungefähr symmetrischer Verlauf der Damage Zone angenommen werden. Es wurden Handstücke aus der Damage Zone genommen, um Vergleichswerte für Porosität und Permeabilität zu den Gesteinen aus dem Störungskern zu erhalten.



Abb. 17 a: Aufschluss A5 - Griesgassl/Brunntal, Blick Richtung SW; b: Strukturdaten A5, nach Bauer, 2010; M= Harnischflächen der Hauptstörung

FAKTEN	<b>A5 Griesgassl/Brunntal</b>		
	Gestein: <b>Kalk</b>	Ladin	
	<b>N GK 277.300</b>	23 Proben	
	<b>E M34 653.400</b>	20 Dünnschliffe	
	Wettersteininformation		

#### 4.8 Beschreibung

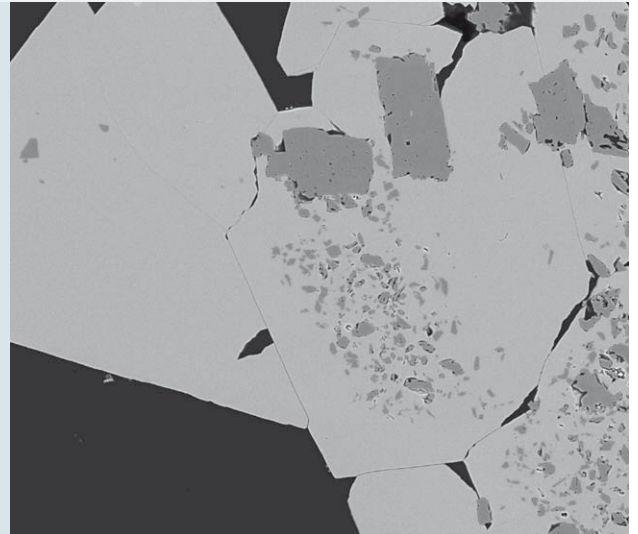
Die Störung „Griesgassl“ ist eine ENE- streichende, sinistrale Scherzone im Brunntal. Entlang der Störung ist eine gut 10 Meter breite und ca. 100 Meter begehbare Schlucht ausgebildet, deren Boden vollständig mit Blockwerk bedeckt ist. Nördlich und südlich wird die Schlucht von senkrechten Wänden begrenzt, an denen immer wieder großdimensionale Harnische, die Riedelflächen zur Hauptstörung bilden, zu sehen sind. Der begehbare Bereich endet in einer Höhle - wobei es sich beim Firstmaterial vermutlich um anstehendes Gestein handelt. Die Streichrichtung von Fault-Gauge-Flächen und Kataklasiten lässt sich gut mit der Hauptstörung (ENE) vergleichen (Bauer, 2010), es gibt jedoch auch Flächen mit anderer Orientierung.

Die Störung Griesgassl lässt sich somit der in Kapitel 2. 4 beschriebenen Deformation 3 zuordnen.

Besondere Aufmerksamkeit wurde bei diesem Aufschluss unterschiedlich kompakt ausgebildeten Drucklösungs-breccien geschenkt. Die Kalkkomponenten sind jeweils durch rote, tonige stylolitische Flächen voneinander getrennt und weisen in manchen Fällen Lineare und Foliation beziehungsweise Elongation in Scherrichtung auf. Ein besonders toniges Drucklösungs-Handstück zeigt SC-Gefüge. Die Breccien wurden in erster Linie auf mögliche Indikatoren ihrer Entstehungsgeschichte untersucht und auf Reservoireigenschaften getestet.

## Kapitel 5 | Proben

### Beschreibungen & Prozessfindung



Dieses Kapitel beschäftigt sich mit der Untersuchung der Störungsgesteine im makro-, mikro- sowie nano-Bereich. Die verwendete Methodik umfasst Mikroskopie (Durchlicht und Auflicht), Scanning Electron Microscopy (Back Scattered Electrons Diffraction) und Kathodenlumineszenz.

#### **Aufschluss F6 Schwarzleiten/Frein**

Handstück F6/3  
(Kataklasit Typ 1-2/Fracture Fazies 4)

#### **Aufschluss F7 Schwarzleiten/Frein**

Handstücke F7/1 (Kataklasit Typ 3)  
F7/3 (Kataklasit Typ 3)

#### **Aufschluss F8 Schwarzleiten/Frein**

Handstück F8/1  
(Drucklösungsbreccie)

#### **Aufschluss F15 Steinalpl**

Handstücke F15/4 (Kataklasit Typ 2)  
F15/5 (Kataklasit Typ 2)

#### **Aufschluss A1 Kastenriegel**

Handstück A1/1  
(Fracture Fazies 4)

#### **Aufschluss A2 Saugraben**

Handstücke A2/1 (Dilation Breccie), A2/3  
(Kataklasit Typ 2), A2/4 (Dilation Breccie),  
A2/5 (Kataklasit 1-2 und Dilation Breccie)

#### **Aufschluss A4 Unterer Ring**

Handstück A4/5  
(Kataklasit Typ 2)

#### **Aufschluss A5 Griesgassl**

Handstücke A5/5  
(Dilation Breccie/Kataklasit Typ 1 und 2)  
und Drucklösungsbreccien

### Einführung Handstückbeschreibung

Alle Handstücke wurden mit einer Steinsäge geschnitten und nach lithologisch/strukturgeologischen Kriterien untersucht und beschrieben. Die Einordnung der Störungsgesteine wurde nach der Klassifizierung vorgenommen, die *Bauer, 2010* in Ihrer Diplomarbeit vorschlägt. Als Hilfsmittel dienten eine Handlupe und - für die makroskopische Dolomitbestimmung - Anätzungsversuche mit verdünnter Salzsäure.

### Dünnschliffbeschreibung

Für die Dünnschliffuntersuchungen wurden 20 große, polierte Dünnschliffe (40x40mm) angefertigt, wobei die Proben zuvor mit blauem Epoxidharz gefestigt wurden. Die Dünnschliffe der restlichen Proben entsprechen der Standardgröße (20x30mm) und wurden nicht poliert. Mikroskopiert wurde mit einem Zeiss Axiolab Light Microscope mit 2,5x, 5x, 10x und 20x Plan-NEOFLUAR Objektiven (Durchlicht) und einem Leica DM4500 P (Auflicht und Durchlicht). Über dieses Mikroskop wurden auch die Dünnschliffbilder mit einer Leica DFC Kamera gemacht. Von jedem Dünnschliff wurde ein Panoramafoto angefertigt, von dem ausgehend dann genauere Untersuchungen stattfanden. Da die Kornrundung, Kornform und Sortierung innerhalb des Gesteins wichtige Klassifikationskriterien darstellen, wurden die Dünnschliffe nach sedimentologischen, sedimentpetrologischen und strukturgeologischen Kriterien beschrieben - wobei vor allem ein Augenmerk auf vorhandene Porositäten und Störungsgesteinsgenese gelegt wurde.

### Back Scattered Electrons z-Contrast Imaging (BSED)

Die Untersuchungen wurden auf einem „FEI Inspect S SEM (Scanning Electron Microscopy)“-Gerät durchgeführt und zwar mit Hilfe von „Back Scattered Electrons z-contrast imaging (BSED)“. Dabei wird die Probe mit Elektronen beschossen, wobei die „Back Scattered Electrons“ durch elastische Streuung des primären Elektronenstrahls durch Interaktion mit dem Atomkern entstehen. Die zurückge-

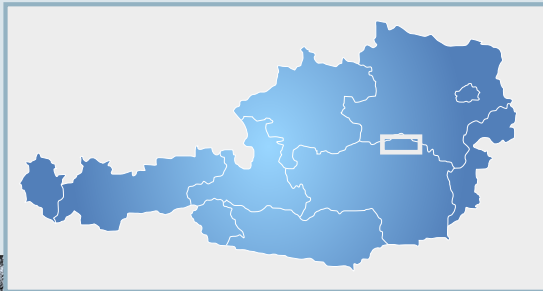
strahlten Elektronen beinhalten somit Informationen über die vorhandenen Phasen, die in Form von Phasenkontrasten (z-Kontrast) sichtbar gemacht werden. Das Ergebnis ist ein Graustufenbild - wobei leichte Elemente in dunklen Graustufen bis hin zu schwarz-grauen Farben dargestellt werden, während schwere Elemente in hellen bis weißlichen Grautönen abgebildet werden. Für die Karbonate bedeutet das, dass Mg als leichteres Element stets in dunkleren Graustufen auftritt als Ca, das schwerer ist und immer deutlich heller erscheint. Weiters wurden an ausgewählten Punkten Elementverteilungen (wt% und Mol%) mit einem EDAX Programm aufgenommen (EDAX ZAF Quantification (Standardless)), um Aufschluss über die chemische Zusammensetzung der Proben zu bekommen.

### Einführung Kathodenlumineszenz (CL)

Die Kathodenlumineszenzmessungen wurden mit einem „LUMIC HC5-LM hot-cathodoluminescence microscope“ am Department für Lithosphärenforschung der Universität Wien durchgeführt. Bei der Kathodenlumineszenz werden die Gesteinsdünnschliffe mit einem Elektronenstrahl beschossen und dazu angeregt, elektromagnetische Strahlung in Form von sichtbarem Licht auszusenden. Die wichtigsten Ionen, die die Lumineszenz von Karbonaten ausmachen, sind  $Mn^{2+}$  und  $Fe^{2+}$ , wobei Mangan die Lumineszenz aktiviert, während das Eisen als Lumineszenzhemmer agiert (*Adams, MacKenzie, 1998*). Bei Änderung der Porenwasserchemie beziehungsweise Änderungen im Kristallfällungsmechanismus (disequilibrium precipitation) (*Adams, MacKenzie, 1998*) kann es somit zu einer unterschiedlich lumineszierenden Zonierung im Kristall kommen. Bei nicht lumineszierenden Karbonaten kann geschlossen werden, dass weder  $Mn^{2+}$  noch  $Fe^{2+}$  in die Struktur eingebaut wurde.

### Einführung Mikro-Computer-Tomographie ( $\mu$ CT)

siehe dazu HS A1/1 Seite 54



# F6

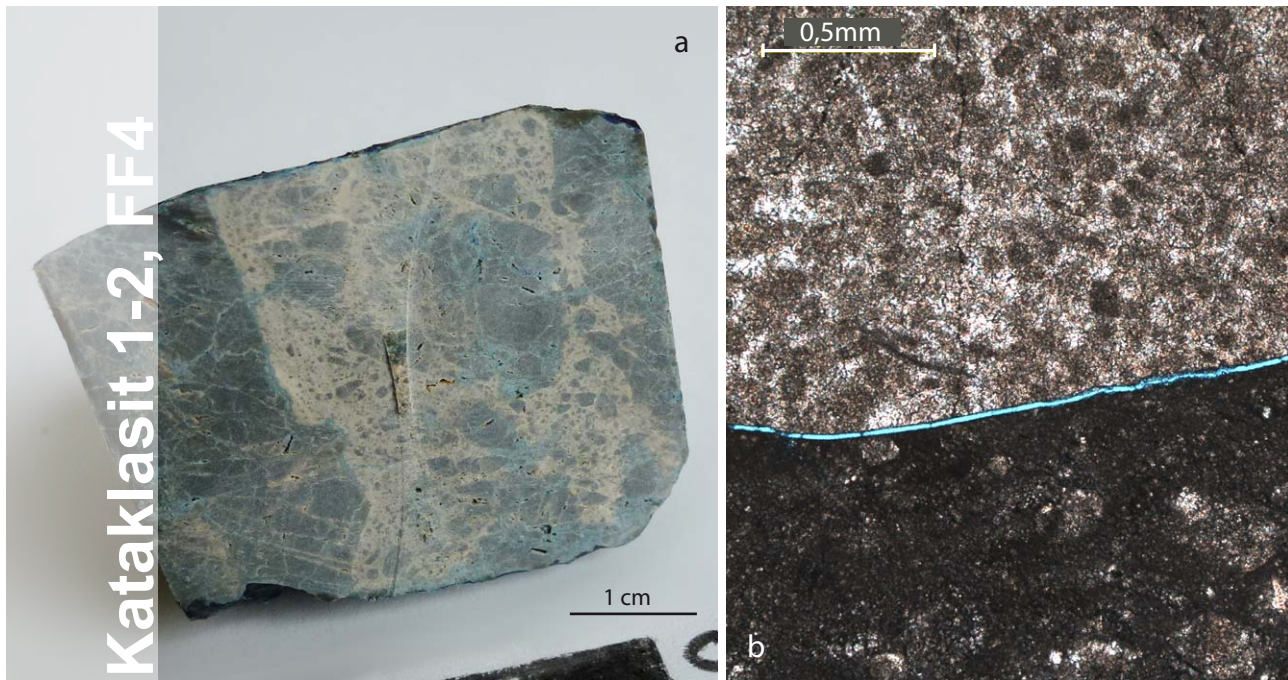


## Aufschluss F6 Schwarzleitens/Frein



**Abb. 18** Geographische Lage (a) und Foto des Aufschlusses F6 (b). Das Handstück stammt aus der abgebildeten Harnischfläche (c). Für eine detaillierte Beschreibung des Aufschlusses siehe Kapitel 4, Gelände, Seite 13.





**Abb. 19 a:** zeigt das Handstück aus dem der Dünnschliff gefertigt wurde; Matrix und stark zerbrochenes Nebengestein (FF4) sind im Handstück besonders gut zu unterscheiden. Bild **b** zeigt ein Lichtmikroskopfoto der Störung, die das Nebengestein (FF4) - im Bild oben - von Kataklastit Typ 2 (unten) trennt. Deutlich zu sehen ist der extrem dunkle, feinkörnige Matrixbereich sowie die Epoxidharz gefüllte Störung.

<b>FAKTEN</b>	<b>HS F6/3</b>		
	Kataklastit 1-2 mit FF4	<b>Frein/Schwarzleiten</b>	E M34 688.135
	Porosität: 4,8%	Fault Core	N GKM 289.771
	Permeabilität: /	Dolomit	Steinalmformation/Anis

### Beschreibung Handstück

Charakteristisch für das Handstück F6/3 ist ein mittelgrauer Kataklastit Typ 2 mit dunkleren Protolithkomponenten, die von hellgrauer Matrix umgeben sind. Der Kataklastit grenzt am Störungsrand an zerbrochenen Dolomit (Fracture Fazies 4 (FF4)). Dieser Kontakt wird von einer Störungsfläche gebildet, wobei die Harnischfläche - bei Betrachtung senkrecht auf die Schlieffläche starke Lineation aufweist. Auffallend ist die sehr kleine Korngröße der wenigen Protolithfragmente am Kontakt Kataklastit/Störungsrand, die bei <1mm liegt.

Erst bei einer Entfernung vom Störungsrand von ungefähr 3mm in Richtung Kataklastit sind größere Protolith-

komponenten anzutreffen (Größe:1-6mm). Schon im Handstück zeigt sich eine fein verteilte Porosität, die mit bloßem Auge gut sichtbar ist. Die Porenräume haben Durchmesser von 0,1 bis <2mm und verteilen sich gleichermaßen auf den Störungsrand (FF4) und den Kataklastit. Auch in der Kataklastitmatrix sind Hohlräume sichtbar - sie treten vermehrt am Kontakt Matrix-Protolithkomponent auf.

Oberflächlich zeigt das Gestein starke Verwitterungsercheinungen mit teilweise herausgewitterten Protolithkomponenten und Erosion von Kluft bzw. Stegmaterial im zerbrochenen Dolomit des Störungsrandes.

### Beschreibung Dünnschliff

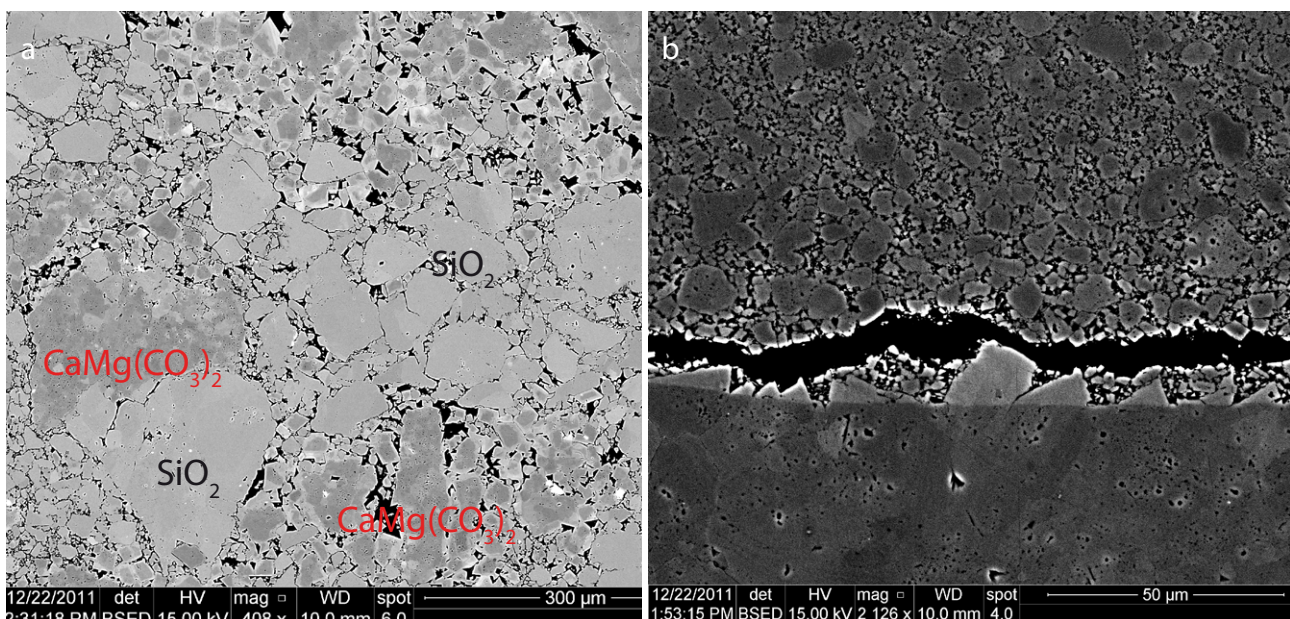
Auch im Dünnschliff ist der extrem feinkörnige Bereich zwischen Störungrandgestein und Kataklasit an der Störungsfläche auffällig. Die Breite des feinkörnigen Bereichs variiert über die Länge der Störung; in manchen Abschnitten finden sich auch - entgegen der makroskopischen Erkenntnisse - größere Protolithkomponenten, die vermutlich vom Randgestein mitgerissen wurden. Direkt am Kontakt Störungrand/Matrix verläuft über den größten Bereich der Störung eine offene Spalte - die mit blauem Epoxidharz gefüllt ist; es ist jedoch anzunehmen, dass diese durch den Schnitt des Probenmaterials entstanden ist und keinen natürlichen Poren/Migrationsraum darstellt.

Im Dünnschliff ist es teilweise extrem schwer, eine genaue Abgrenzung zwischen Protolithkomponenten und Matrix zu verfolgen; um manche Protolithkomponenten im Kataklasit ist jedoch ein ebenso dunkler, feinkörniger Saum ausgebildet wie an der Störungsfläche am Rand des Kataklasits. Sowohl die Komponenten im Kataklasit als auch das Randgestein zeigen rekristallisierte Komponenten, die sich als Peloiden und Skelettfragmente in sparitischer Matrix bestimmen lassen (Tucker, 1985). Offene

Porenräume finden sich sowohl im Randgestein als auch im Kataklasit. Daher liegt die Vermutung nahe, dass die meisten größeren Hohlräume beim Schneiden des Handstückes entstanden sind. Es ist jedoch anzunehmen, dass das blaue Epoxidharz einen gewissen Anteil an der Dunkelfärbung der feinen Matrixbereiche trägt und somit eine nicht zu vernachlässigende Mikroporosität besteht. In manchen der größeren Hohlräume findet zudem idiomorphes Kristallwachstum statt, was dafür spricht, dass diese Hohlräume nicht durch die Bearbeitung ausgebrochen sind und von Fluiden erreicht werden können.

### Beschreibung BSED

Die Matrix ist, wie im Elektronenmikroskop ersichtlich wird, von verwachsenen teilweise idiomorphen Dolomitskristallen aufgebaut. Der Übergang vom Randgestein der Störung zum kataklasitischen Bereich ist nur schlecht erkennbar, da die gleichmäßige Zusammensetzung des Dolomits keinen Kontrast im Elektronenmikroskop ergibt. Jedoch wird deutlich, dass der Matrixbereich eine sehr gleichmäßige Verteilung feiner Hohlräume aufweist und wohl aus diesem Grund im Lichtmikroskop dunkel erscheint (siehe Abb. 20 a und 21 c).



**Abb.20** Bild **a** zeigt einen SiO<sub>2</sub> hältigen Matrixbereich, in dem der Dolomit scheinbar durch Quarz ersetzt wird. Bild **b** zeigt den hellen Saum in der Fracture Fazies entlang der Störung.

Direkt am Störungskontakt Matrix/Fracture Fazies trennt ein ca. 20-30µm breiter unverfüllter Spalt die zwei Bereiche. Auffallend ist ein direkt an das Randgestein anschließender hellerer Dolomitbereich, der mit einer scharfen, durch Komponenten durchreichenden farblichen Grenze zur Fracture Fazies hin endet (Abb.20 b). Möglicherweise steht dies im Zusammenhang mit der auch makroskopisch sichtbaren Lineation und Politur der Störungsfläche, beziehungsweise mit einem späteren Anwachsen der Kristalle nach Ausbildung der Störungsfläche. Bei näherer Betrachtung fällt auf, dass der Bereich zwischen Fracture Fazies und Matrix ursprünglich gar nicht offen sondern mit feinstkörnigem - <5µm - ultrakataklasitischen Material gefüllt war. Dies ist vermutlich auf die Störungsaktivität zurückzuführen (Abb.21 a - siehe dazu auch BSED Beschreibung F15/4 - sowie Kapitel 7 Interpretation S.92).

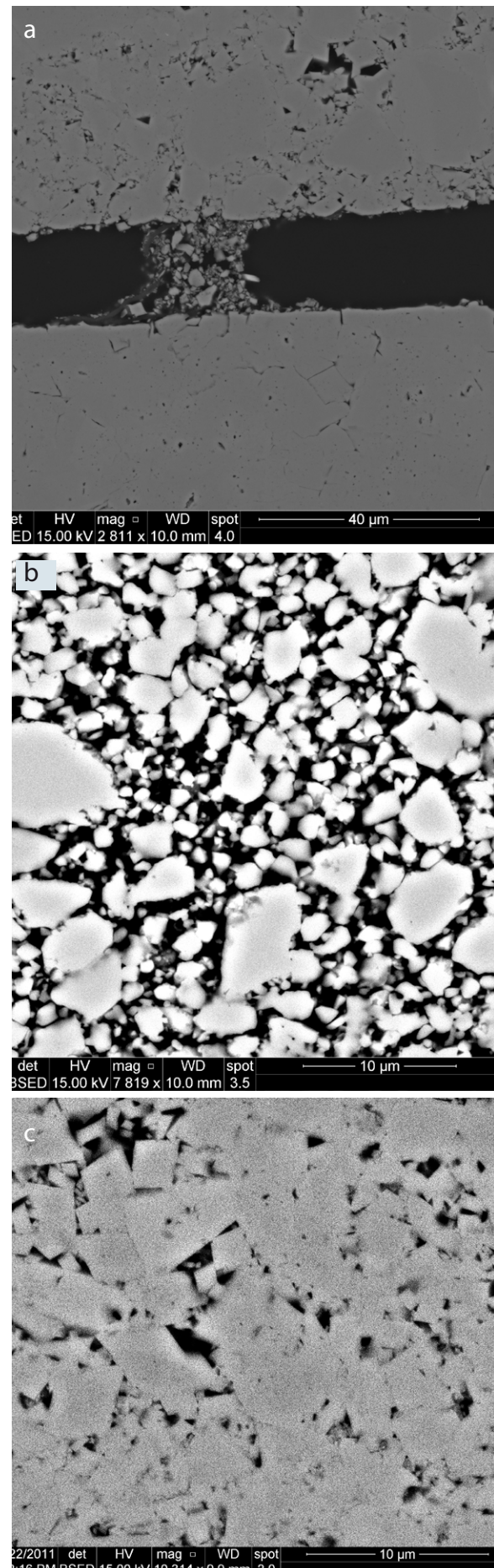
Ein Phänomen, das nur in diesem Dünnschliff beobachtet wurde, ist, dass es sich bei zementierten Bereichen nicht um Kalzitcement sondern um Quarz handelt. Wie Abb.20a zeigt, scheint es fast so also würde der Quarz den Dolomit ersetzen.

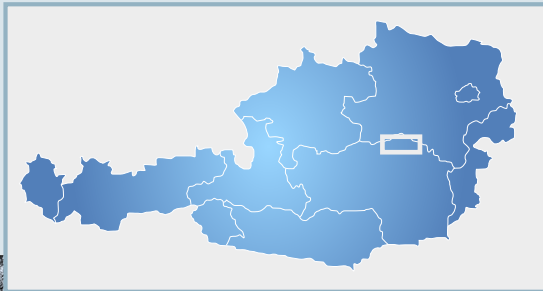
Während der Hauptteil der Matrix aus idiomorphen Dolomitkristallen aufgebaut wird, zeigen einzelne Bereiche - wie in Abb.21b - auch Anzeichen von Lösungsvorgängen. Die Körner sind gerundet, nicht verwachsen und haben unregelmäßige Korngrenzen.

**Abb. 21** Bild **a** zeigt den Übergangsbereich (Störung) von Matrix (oben) zu Störungsrandgestein (FF4) (unten) aus Schliff F6/3. An die Störung gebundenes feinkörniges Material ist größtenteils ausgebrochen. Nur ein kleiner Steg ist in diesem Ausschnitt noch zu sehen. Auch der Unterschied in der Dichte der Fracture Fazies und der Matrix ist deutlich sichtbar.

Im Vergleich mit den Bildern **a** und **c** zeigt Bild **b** einen Ausschnitt des Schliffes, der scheinbar von Lösungsprozessen beeinflusst wurde. Die Dolomitkomponenten sind nicht idiomorph, zeigen keine Verwachsung und unregelmäßige, teils gerundete Korngrenzen.

In Bild **c** ist die kleine Korngröße der idiomorphen Dolomitkristalle direkt am Störungsrand zu sehen.

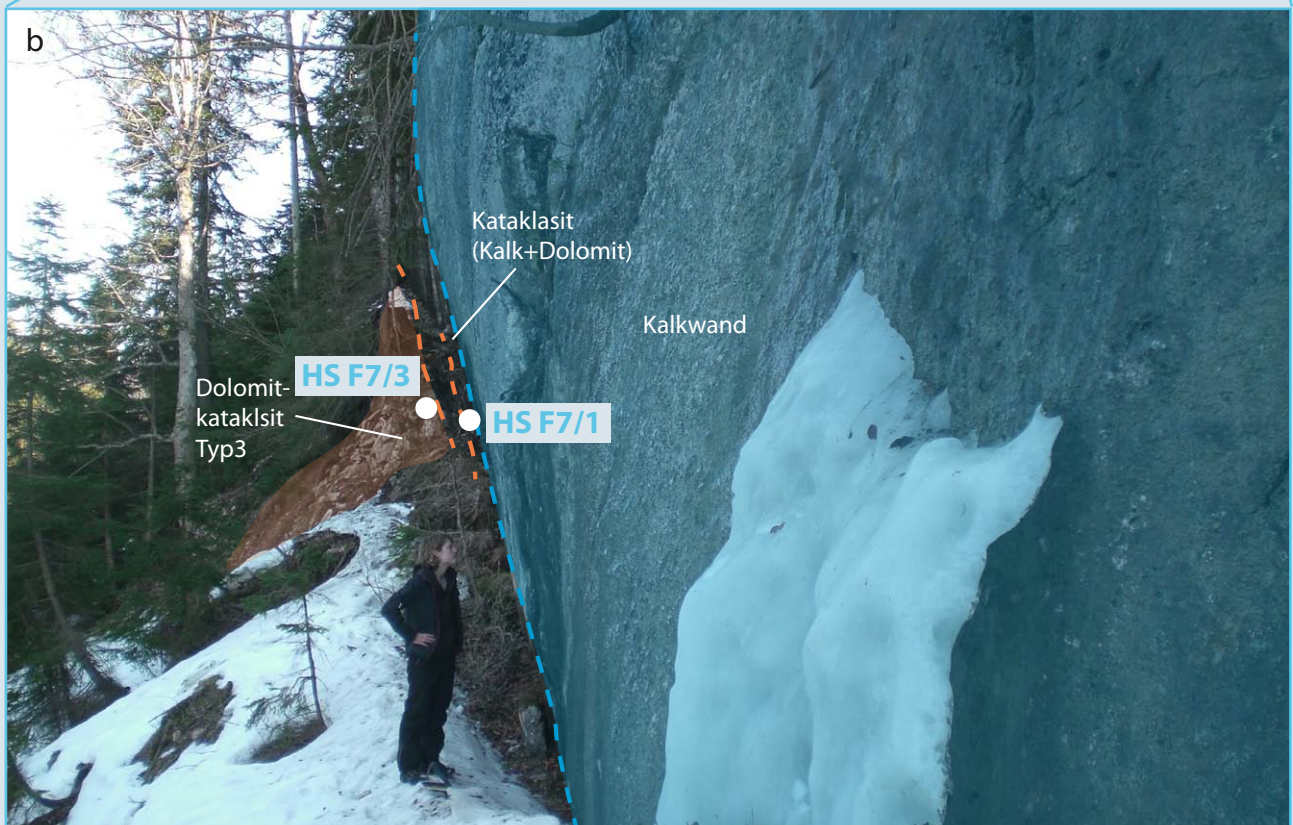




# F7



## Aufschluss F7 Schwarzleiten/Frein



**Abb. 22 a:** Geographische Lage und Foto **(b)** des Aufschlusses F7 mit Kennzeichnung der Entnahmepunkte der Handstücke und Gliederung der Störungszone; eine detaillierte Aufschlussbeschreibung findet sich in Kapitel 4 Gelände, Seite 14.



**Abb. 23** Bild **a** zeigt ein Foto einer angeschnittenen Fläche des Handstückes F7/1. **b**: Lösungsvorgänge in Zusammenhang mit dem Auftreten von braunen Schlieren sind vor allem im Dünnschliff gut beobachtbar. Zu beachten sind zudem die gerundeten, sehr kleinen, hellen Protolithkomponenten, die hier gut von der Matrix zu unterscheiden sind. Im Elektronenmikroskop ist diese Unterscheidung nicht - beziehungsweise nur bei stark erhöhten Kontrastwerten möglich.

<b>FAKTEN</b>	<b>HS F7/1</b>		
	Kataklasit Typ 3	<b>Schwarzleiten</b>	E M34 688.322
	Porosität: 4,1%	<b>Fault Core</b>	N GKM 289.747
	Permeabilität: /	Dolomit/Kalk	Steinalm, Hallst.F./An./Lad.

### Beschreibung Handstück

Handstück 7/1 besteht aus hellgrauem Kataklasit mit rotbraunen „Schlieren“ in unterschiedlichen farblichen Abstufungen (Abb. 23a). Das matrixgestützte Gefüge mit 2 mm großen, gut gerundeten, dunkelgrauen dolomitischen Protolithkomponenten lässt eine Charakterisierung als Kataklasit 3 zu. Das Gestein zeigt an den Klufflächen einen ca. 0,1 mm dicken Belag aus rotbraun gefärbtem Kalzit. Mit bloßem Auge lassen sich keine Porenräume identifizieren.

### Beschreibung Dünnschliff

Aus Handstück F7/1 wurden zwei Dünnschliffe angefertigt, deren Charakteristika hier zusammengefasst werden.

In den Dünnschliffen wird die extrem feine Aufarbeitung des Ausgangsmaterials sichtbar, wobei die Matrix unter dem Mikroskop nicht in einzelne Komponenten aufzulösen ist. Die größeren Protolithkomponenten in der Matrix sind teilweise selbst kataklasitisch. Immer wieder ziehen sich dunkelbraune Bänder und Schlieren durch die Matrix. Alle sichtbaren Hohlräume sind mit Kalzitkristallen ausgefüllt, welche allesamt Deformationszwillinge aufweisen (siehe Abb. 24 a,b). Einige kleinere Störungen versetzen sowohl Matrix als auch Komponenten und Kluffüllungen.

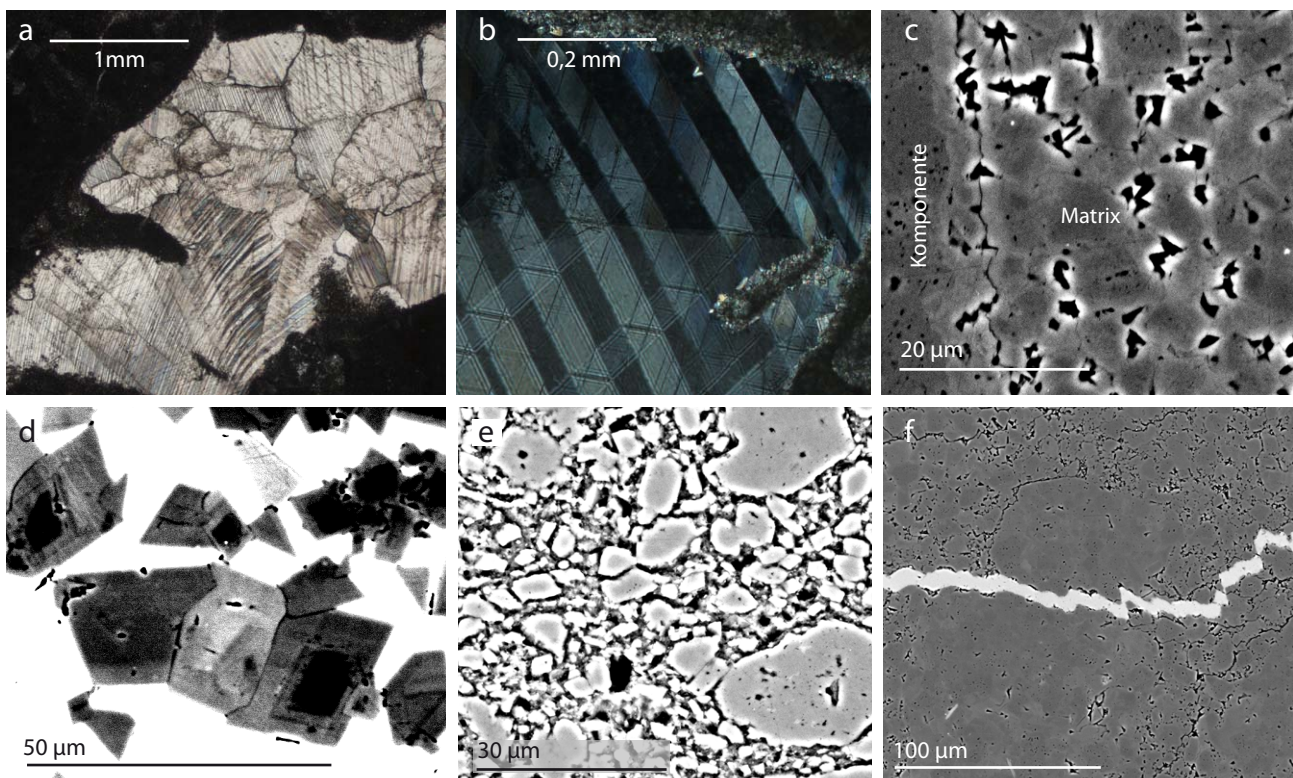
### Beschreibung BSED

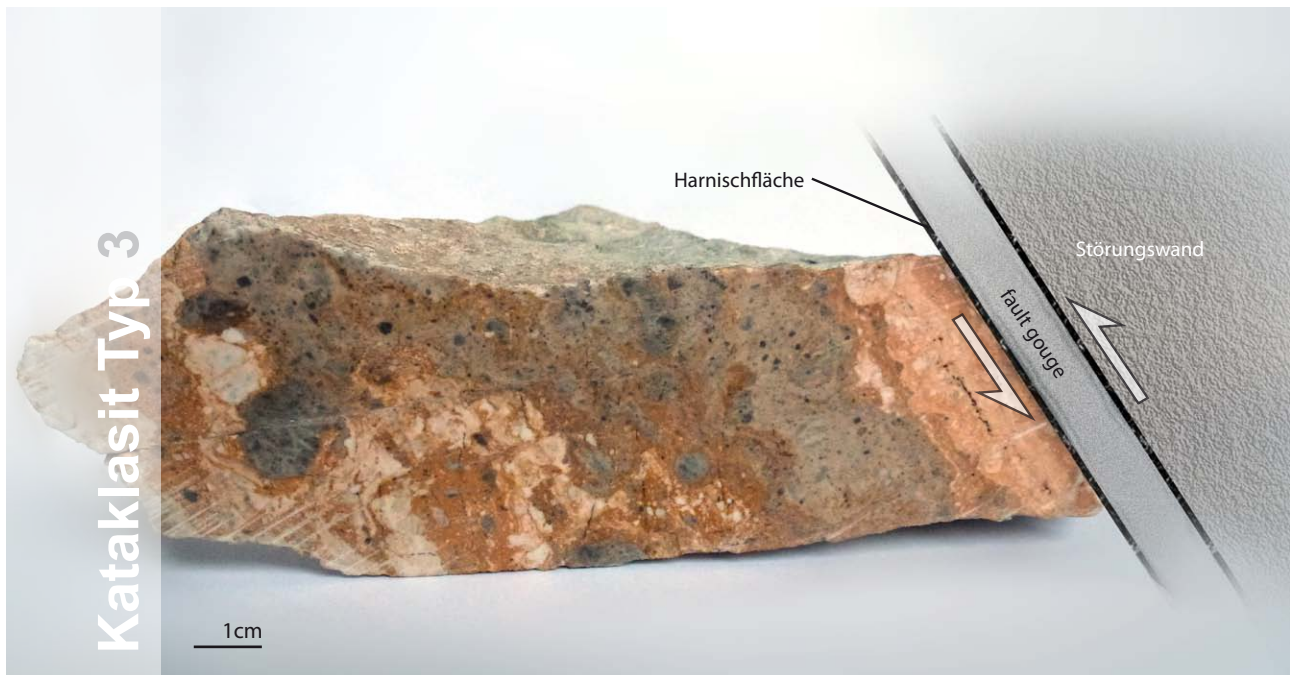
Obwohl das Gestein makroskopisch mit Salzsäure als Kalk

eingestuft wurde, zeigen die EDAX-Messungen, dass es sich nur bei den Klüften um reinen Kalzit handelt (95wt% CaO bzw. 94Mol% CaO). Die durchschnittliche Zusammensetzung des Gesteins liegt bei ca. 40wt% bzw. 49Mol% MgO und 55wt% bzw. 48Mol% CaO - es ist somit als Dolomit einzustufen. Das Gestein erscheint im Elektronenmikroskop sehr homogen - einzelne Komponenten sind nur bei stark erhöhten Kontrastwerten zu erkennen und bestehen selbst meist aus vielen einzelnen Dolomitmikrokörnern. In homogen verfüllten kalzitischen Hohlräumen zeigen idiomorphe Dolomitmikrokristalle starke Zonierungen (Abb. 24 d). Diese Zonierung lässt sich von innen nach außen vermutlich durch fallende MgO-Gehalte (von 43,5wt% auf 36wt%) und leicht steigende CaO Gehalte (von 55wt% auf 58wt%) erklären. Die Matrix, die unter dem Mikroskop nicht mehr auflösen war, wird von <math><10\mu\text{m}</math> großen nahezu idiomorphen Dolomitmikrokristallen gebildet. Die Kristalle sind verwachsen, wobei keine Zementierung der verbliebenen Hohlräume zwischen den Kristallen stattgefunden hat. Im Gegensatz zur

Matrix weisen größere Protolithkomponenten eine weitaus dichtere Struktur auf (siehe Abb. 24 c (linker Bildrand)) Porenräume sind deutlich weniger häufig und zumeist auch kleiner als in der Matrix. Auffallend sind zudem Bereiche, in denen vielleicht durch Lösungsprozesse zunehmende Kornrundung stattgefunden hat. Die Kornränder sind in diesen Bereichen sehr unregelmäßig - fast fransig - und die Einzelkörner zeigen keine Verwachsungen (Abb. 24e). Weiters wird feinkörnigstes Material (wenige  $\mu\text{m}$ ) zwischen den Komponenten abgelagert. Für solche Prozesse würden auch die im Dünnschliff gefundenen braunen Schlieren sprechen, die immer wieder an stylolithischen Flächen auftreten, jedoch im Elektronenmikroskop nicht identifiziert werden konnten. Auch die in Abb. 24 f abgebildete Kluft scheint eine alte stylolithische Fläche zu sein (Drucklösungsprozesse), die später kalzitsich verfüllt wurde.

**Abb. 24 a** und **b** zeigen die unterschiedlichen Ausbildungen von kalzitischen Deformationszwillingen in Hohlräumen. **b**: Kalzit-zwillinge bei gekreuzten Polarisatoren. **c**: Übergang von einer größeren Komponente (links im Bild) zur „Matrix“ (idiomorphe Dolomitmikrokristalle). Die unregelmäßige Rundung der Komponenten in **e** sowie die Ablagerung feinen Materials zwischen den Komponenten lässt auf Drucklösungsprozesse rückschließen. **d**: Die eindeutige Zonierung der Dolomite ist hier deutlich zu erkennen. **f**: Eine stylolithische Fläche die sekundär - scheinbar durch Änderung des tektonischen Regimes von Drucklösung auf Extension - mit kalzitischem Zement verfüllt wurde.





**Abb. 25** Anschnittsfläche des Handstückes F7/3. Auffällig sind die unterschiedlichen Farben des Kalkes, sowie die unterschiedliche Färbung der Protolithkomponenten. Die angefügte Skizze soll verdeutlichen, dass das Handstück direkt aus dem Kontakt zur Hauptstörung stammt (siehe dazu auch die Beschreibung des Aufschlusses, Kapitel 4, Seite 14.)

<b>FAKTEN</b>	<b>HS F7/3</b>		
	Kataklasit 3	<b>Schwarzleiten</b>	E M34 688.322
	Porosität: 6,3%	<b>Fault Core</b>	N GKM 289.747
	Permeabilität: 5,4mD	Dolomit/Kalk	Steinalm/Hallst.F.,A./Ladin

### Beschreibung Handstück

Die Anschnittsfläche von Handstück F7/3 zeigt dunkelgraue, angerundete <1mm - 1,2 cm große Dolomitkomponenten sowie weißliche Kalkkomponenten in einer Matrix, die schlierenartige Farbänderungen von weiß über orange bis hellgrau durchläuft. Die durch unterschiedliche Färbung abgebildeten Strukturen und Gefüge in den matrixreichen Teilen des Kataklasites erinnern eher an duktile Deformation als an spröde Verformung. Ein Beispiel dafür ist der fast störungsparallel verlaufende Übergang von orange-weißlicher Matrix (in den ersten 1,5cm) zu grauer Matrix in einer wellenartigen Fließstruktur (Abb.25).

### Beschreibung Dünnschliff

Von Handstück F7/3 wurden insgesamt 5 Dünnschliffe hergestellt um den Übergang von der Scherzone (direkt am Fault Gouge) zum grobkörnigeren Kataklasit abzudecken. Alle Dünnschliffe zeigen eine vermehrte Ausbildung von kleinmaßstäblichen Störungen, die in einem relativ steilen Winkel zur Hauptstörung auftreten. Die Störungen haben dextralen Charakter und versetzen sowohl Matrix als auch Protolithkomponenten. Auch das Kluftnetzwerk wurde von Störungen mehrfach versetzt. Protolithkomponenten, die makroskopisch homogen erscheinen, sind mikroskopisch selbst kataklasitisch. Der makroskopisch so deutliche Farbunterschied ist mikro-

kopisch nicht erkennbar. Ebenso ist die makroskopische Grenze zwischen der großen dunklen Komponente (Abb. 26 b) - die einen deutlichen Versatz aufweist- und der Matrix mikroskopisch nicht gut nachvollziehbar (Abb. 26 c). Die makroskopische Beobachtung der Mächtigkeit-zunahme der Störung innerhalb der Komponente kann jedoch im Dünnschliff bestätigt werden; hier zeigt sich, dass parallel zur schon bestehenden Kluft eine zweite entstanden ist und kalzitisch verfüllt wurde (Abb. 26 c,d). Wie auch die Dünnschliffe der Probe F7/1, zeigen auch alle Dünnschliffe der Probe F7/3 stylolithische, braune, schlierenartige Bereiche. Die Schlieren in der Matrix und Säume um Protolithkomponenten entstehen durch Drucklösungsvorgänge. Entlang von Störungen und Klüften treten vereinzelt auch Konzentrationen opaker Phasen auf. Auffallend ist weiters ein zum Störungsrand hin zunehmendes Auftreten von röhrenförmigen Strukturen in den verschiedensten Anschnitten. (siehe dazu Biogene Strukturen, S. 33)

### Beschreibung BSED& EDAX-Messungen

Im BSED-Bild wird klar, dass der makroskopisch so deutliche Farbunterschied zwischen Komponenten und Matrix kein markanter chemischer Unterschied ist. Die meisten Komponenten in der Matrix sind nicht sichtbar (Abb. 27 a). Das Gestein erscheint homogen, die Komponenten lassen sich an Stellen, die weniger Porosität aufweisen erahnen. Erhöht man den Kontrast lassen sich unscharf einige Komponenten ausmachen (Abb. 27 b), die chemische Variabilität ist jedoch so gering, dass sie in der EDAX Messung nicht zu erfassen ist. Bei erhöhter Vergrößerung, erscheint das Gestein plötzlich nicht mehr so dicht wie makroskopisch und mikroskopisch angenommen wurde. Eine 4237-fache Vergrößerung zeigt einzelne sehr idiomorph wirkende, rhomboedrische Dolomitkristalle in einer Größenordnung von  $<1\mu\text{m}$  bis  $10\mu\text{m}$ . Die Kristalle sind stellenweise verwachsen, jedoch weist das gesamte Gefüge einen großen Anteil an Hohlräumen

auf, die eine durchschnittlichen Durchmesser von  $0,5\mu\text{m}$ - $2,5\mu\text{m}$  haben. Aus Untersuchungen in der Hydrogeologie ist bekannt, dass Haftwasser bis zu  $4\mu\text{m}$  mächtige Säume an Klüften und Komponenten bilden kann. Man schließt daraus, dass Klüfte und Hohlräume, die einen Durchmesser  $<8\mu\text{m}$  (also den doppelten Haftwassersaum) aufweisen nicht als Transportwege genutzt werden können. Da keiner der Hohlräume (Abb. 27c) eine Größe von  $8\mu\text{m}$  erreicht liegt die Vermutung nahe, dass die Hohlräume dort nicht als Transportwege genutzt werden können. Trotzdem werden diese Haftwasseranteile bei der Porositätsmessung erfasst.

Die mikroskopisch beobachtete opake Phase ist in Abb. 27 d abgebildet. Die opake Phase verläuft fast Hauptstörungs-parallel entlang einer Kluft. Im Elektronenmikroskop wird das Material extrem hell dargestellt, was allein schon aufgrund der Grauwerte auf ein schweres Element schließen lässt. Die Messungen ergaben rund 88 Mol/wt% Fe, wobei im BSED Bild eine teils fasrige Kristallisation zu erkennen ist. Abgesehen vom Fe sind die helleren Grauwerte (Abb. 27d) die teils vom Eisen umschlossen werden, als auch an einer Kluft (links unten im Bild) auftreten reiner Kalk ( $\sim 89$  wt/Mol% CaO), der Großteil der Matrix ist dolomitisch ( $\sim 40\%$  MgO,  $\sim 50\%$  CaO).

Das BSED Bild zeigt außerdem einen scharfen, jedoch sehr unregelmäßigen Übergang vom Fe zur Karbonatmatrix. Dies deutet auf Lösungsvorgänge hin.

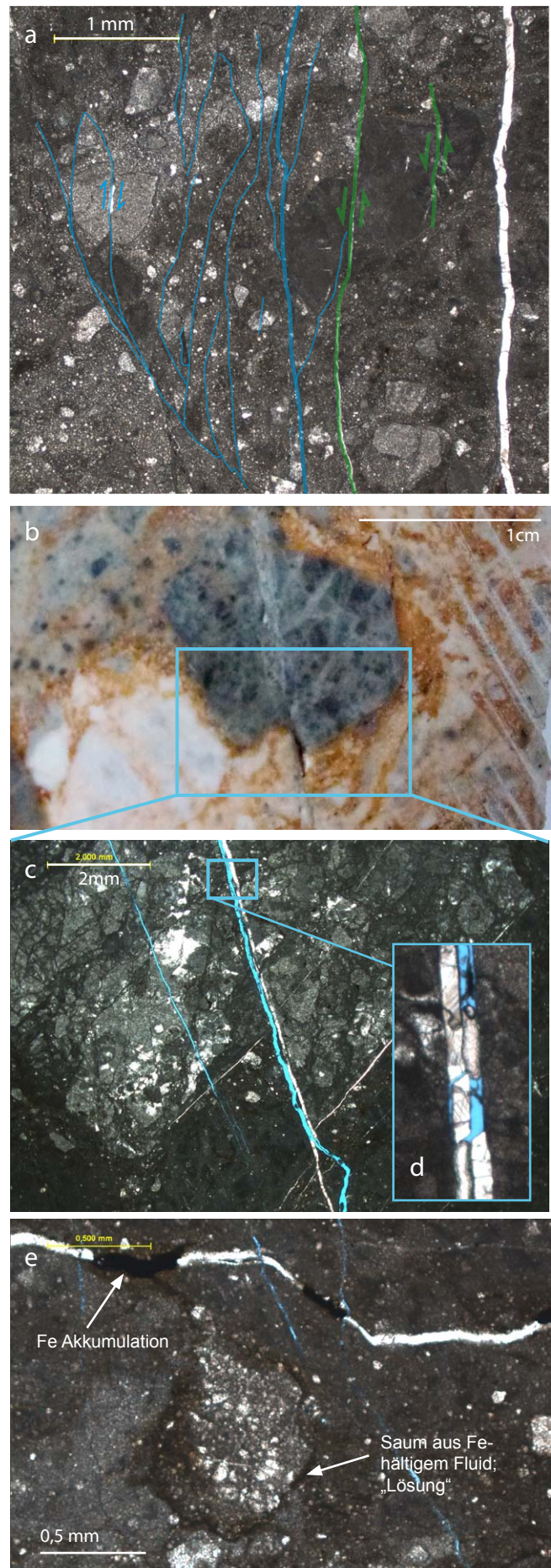
### Biogene Strukturen

Eine Beobachtung, die nur bei der Probe F7/3 gemacht wurde, sind gangartige, oft über mm verfolgbare Strukturen, die scheinbar biogenen Ursprungs sind. Dünnschliff- und Elektronenmikroskopbilder zeigen, dass die Strukturen dreidimensionalen Charakter haben und einen Gangdurchmesser von  $10\text{-}30\mu\text{m}$  aufweisen. Sie treten vermehrt in dem Gesteinsbereich auf, der einst der Atmosphäre zugewandt war und nehmen mit der „Tiefe“ ab, bis sie schließlich gänzlich verschwinden. Auch am

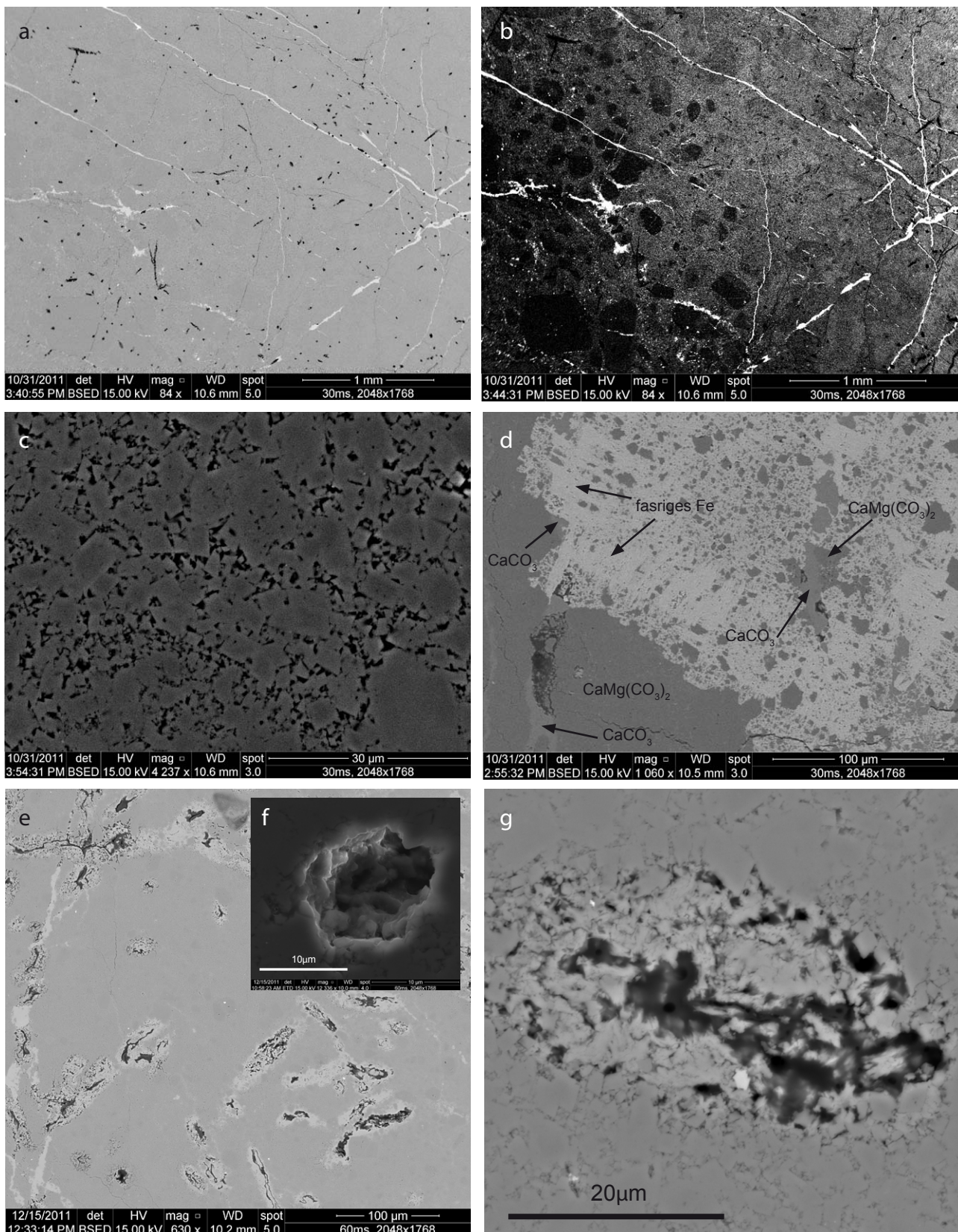


Handstück können auf der Gesteinsoberfläche punkrtartige Anwachungen von biogenem Material beobachtet werden. Auf die Erläuterung dieser Strukturen wird hier deshalb eingegangen, da sie zumindest zu einer teilweisen Destabilisierung des Störungsgesteins beitragen und zusätzlichen Hohlraum schaffen.

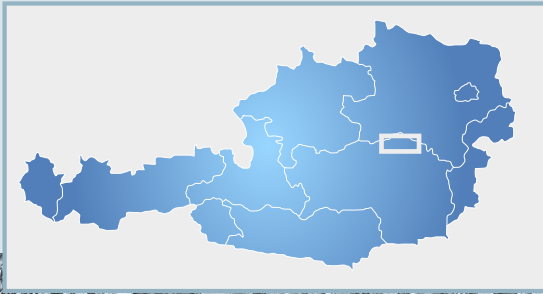
Auffallend ist, dass fast immer Kalzitauftreten an diese Strukturen gebunden ist (Abb. 27 e,g), während das Gestein ja fast ausschließlich aus Dolomit besteht. In Abb.27 g zeigt der Kalzit xenomorphen, fasrigen Charakter also deutlich unterschiedliches Auftreten als alle in dieser Arbeit beschriebenen Fluid gefüllten Hohlraum- beziehungsweise Kluftkalzite. Diese andersartige Kalzitform könnte an der mikrobiellen Mobilisation von Gesteinsbestandteilen und einer nachträglichen Formation von sekundären Kalzitmineralen liegen (Gorbushina, 2007) Cockell und Herrera, 2008 führen Gründe - wie Nährstoffbeschaffung, Schutz vor physikalischen Extremen, UV-Schutz oder mehr Halt - an, die Mikroorganismen zum „Bohren ins Gestein“ bewegen können. Mikroorganismen, die aktiv bohren werden als euendolithisch bezeichnet, wobei diese Eigenschaft gerade unter Pilzen weit verbreitet ist (Cockell und Herrera, 2008). Es ist also auch hier naheliegend, dass es sich um eine Pilzform (Flechte) handelt.



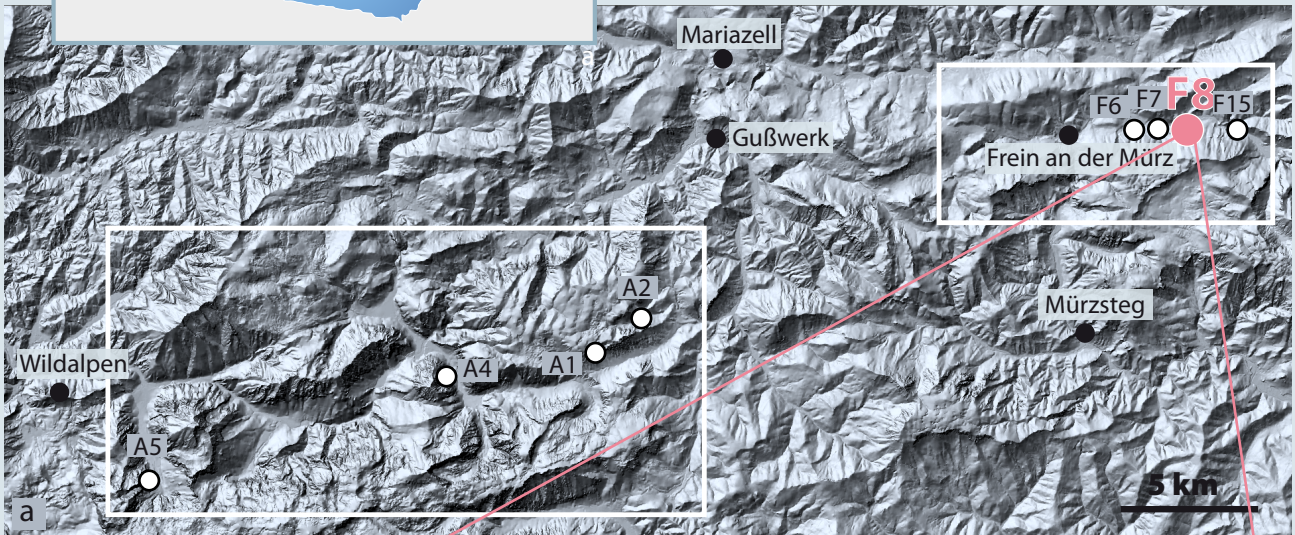
**Abb. 26** a: Im Dünnschliff wird die starke tektonische Beanspruchung des Gesteins deutlich: eine Vielzahl von Störungen - hier in einer „horsetail splay“-Struktur versetzten sowohl Matrix als auch Protolithkomponenten. b: Eine große Protolithkomponente wird von einer Störung versetzt. Auffallend ist, dass die Störung im Bereich der Komponente dicker zu sein scheint als in der Matrix. c: Ausschnitt der Komponente aus Bild a im Lichtmikroskop. Hier ist die Komponente als solche kaum noch auszumachen: Es besteht kein durchgehender Rand zur Matrix, das Komponentenmaterial ist zudem stark zerlegt und in weitere Richtungen zerschert. d: Deutlich sichtbar ist die mehrfach zementierte Störung in der Mitte der Komponente aus Bild b und c. e: Eine kataklasitische Protolithkomponente wird von einem braunem Saum umgeben. Opake Anreicherungen des selben braunen Materials finden sich auch in der kalzitisch zementierten Kluft wieder.



**Abb. 27** Bild **a** zeigt den selben Ausschnitt wie Bild **b**, jedoch unter anderen Kontrasteinstellungen. Deutlich zu erkennen sind hier nur die schwarzen biogenen Spuren und die weißlichen Kalzit-gefüllten Klüfte; **b**: Bei höheren Kontrasteinstellungen werden einige Komponenten in der Matrix sichtbar; durch Messungen konnte jedoch erwiesen werden, dass kein signifikanter chemischer Unterschied zwischen Matrix und Komponenten besteht. **c**: Unter 4237facher Vergrößerung zeichnen sich als „Matrix“ einzelne Dolomitrhomboeder ab, die nicht kalzitisch zementiert sind und relativ viel offenen Porenraum kreieren. Bild **d** zeigt akkumuliertes teilweise fasrig ausgebildetes Fe, das entlang einer Kluft, die ihrerseits abschnittsweise kalzitisch verfüllt ist, abgelagert wurde. **e**: Mikrobielle Bohrspuren, an die Kalzitauftritten gebunden ist. **f**: Foto eines biogenen Bohrkanals im „scattered electrons“-Modus. **g**: Angeschnittene Bohrspur. Biogen wirkender Calcit lässt sich deutlich von der sonst von idiomorphen Dolomitekristallen aufgebauten Matrix unterscheiden.



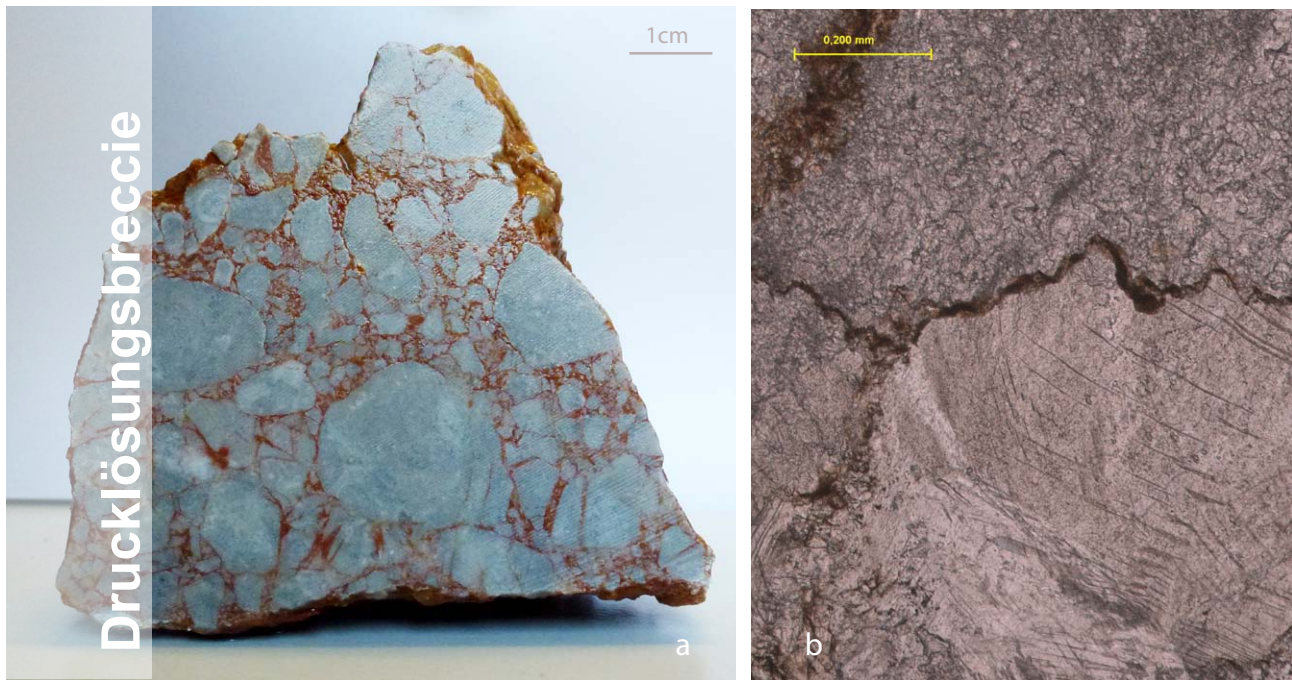
# F8



## Aufschluss F8 Schwarzleiten/Frein



**Abb. 28 a:** Geographische Lage des Aufschlusses F8; **b:** Foto des Aufschlusses und Kennzeichnung des Entnahmepunktes des Handstückes; eine detaillierte Aufschlussbeschreibung findet sich in Kapitel 4 Gelände, Seite 15.



**Abb. 29** Bild **a** zeigt eine Nahaufnahme des Handstückes wobei deutlich zu sehen ist, dass die einzelnen Kalkkomponenten durch rote, stylolithische Drucklösungsflächen voneinander getrennt werden. Bild **b** stellt den selben stylolithischen Komponentenkontakt dar, der auch im Rasterelektronenmikroskop untersucht wurde (Abb. 31 c)

<b>FAKTEN</b>	<b>HS F8/1</b>		
	<b>Drucklösungsbreccie</b>	<b>Schwarzleiten</b>	E M34 689.406
	Porosität: 3,3%	<b>Fault Core</b>	N GKM 289.666
	Permeabilität: /	<b>Kalk</b>	Wettersteinf./Ladin

**Beschreibung Handstück**

Hellgraue, teilweise angerundete Kalkkomponenten werden von roten, tonigen, stylolithischen Flächen voneinander getrennt. Die Komponentengröße variiert zwischen 1mm und 2-3cm. Die Kalkkomponenten zeigen teilweise sparitische Ausbildung. An der Anschnittsfläche (Abb.29a) sind Fossilien in den Kalkkomponenten zu erkennen. Manche Komponenten sind zerbrochen, wobei noch eine Zusammengehörigkeit benachbarter Fragmente nachvollziehbar ist. Eine solche Abspaltung einzelner Teile von größeren Komponenten spricht - im Gegensatz zu der sonst vorherrschenden Drucklösung - eher für eine Volumens-Vergrößerung. Die Frage, die

sich hier allgemein stellt ist, ob die Breccie primär durch seismische Aktivität gebrochen wurde oder nur Drucklösungsprozesse zur Formation des Gesteins geführt haben. Das Gestein zeigt einerseits die eben beschriebenen Protolithkomponenten mit Kornformen die nicht nur mit Drucklösung erklärbar scheinen, andererseits weisen Bereiche fast Scherband-artige Gefüge auf, die sich nicht mit einem co-seismischen Zerbrechen vereinbaren lassen. (Eine detaillierte Beschreibung des selben Gesteinstypes folgt auf Seite 76, Aufschluss A5)

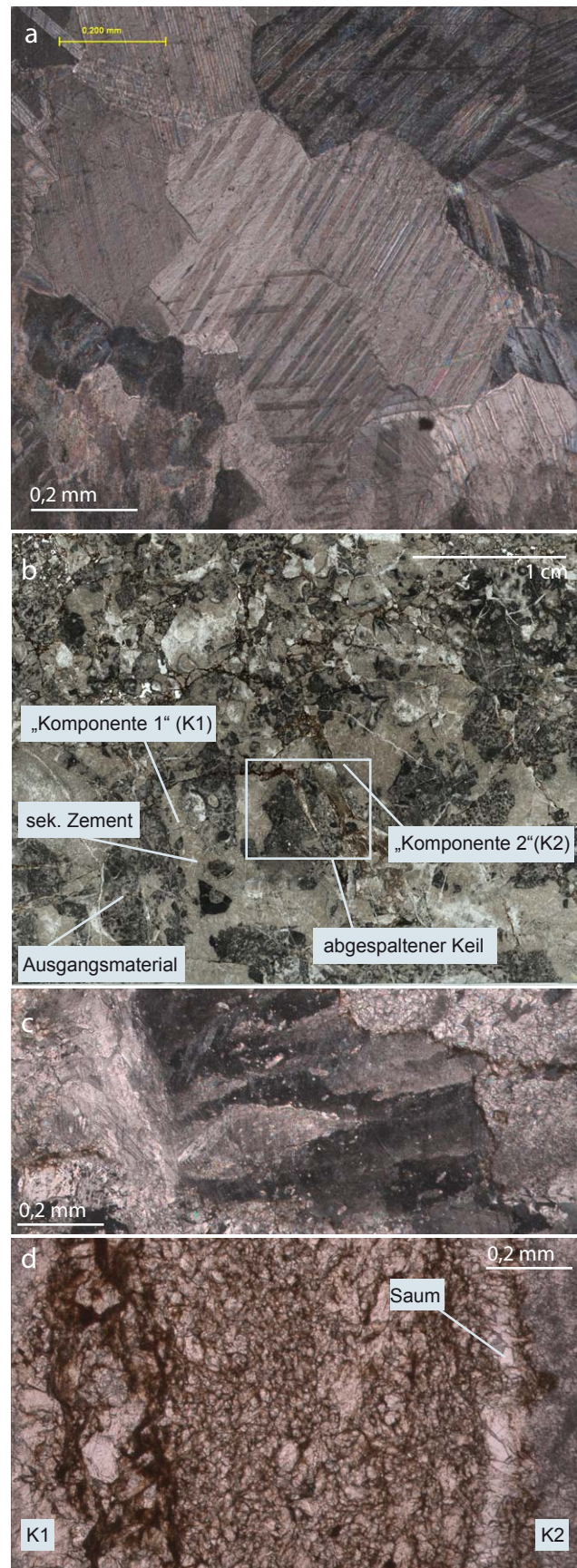
**Beschreibung Dünnschliff**

Auffallend ist die teilweise starke Sparit/Zementbildung

rund um und zwischen rekristallisierten biogenen Komponenten, wobei die einzelnen Zementfasern undulöse Auslöschung zeigen und meist radial bzw. symmetrisch auseinander wachsen. Diese Zemente können als diagenetische, sekundäre Strukturen interpretiert werden, die auch für tektonisch nicht beanspruchte Sedimentgesteine keine Seltenheit sind. In anderen Komponenten zeigen die bis zu mm großen Kalzite häufige Spaltrisse nach  $\{1011\}$  und deformationsbedingte Verzwillingung (Abb. 30 a). Zwischen den großen Komponenten der Breccie finden sich Bereiche, die von extrem feinen - aber unter dem Mikroskop auflösbaren - Kalzitpartikeln gebildet werden. Hier sind die meisten Einzelkörner nicht verzwillingt jedoch sind alle durch rote „Drucklösungsflächen“ voneinander getrennt. Dies entspricht dem zu erwartenden Bild einer Drucklösungs-breccie, da „Mineralkörner an ihren Korngrenzen gelöst werden und das gelöste Material in Bereichen abgelagert wird, wo die Differentialspannung geringer ist (solution transfer)“ (Bauer, 2010) Während Karbonat gelöst wird, sammeln sich eisenhaltige Tonminerale als Lösungsrückstände in Form von stylolithischen, kleinmaßstäblichen Flächen an, die im Kontakt mit Fluid stehen und einen hohen Winkel zur inkrementellen Streckungsrichtung aufweisen. (Bauer, 2010)

Alle oben genannten Argumente entsprechen ohne Zweifel der Charakteristik einer Drucklösungs-breccie. Es gibt jedoch auch Indikationen für volumensvergrößernde Prozesse, bzw Erscheinungen, die nicht als Ergebnis einer Lösung interpretiert werden können; diese werden im folgenden Abschnitt erläutert.

Abb. 30 b zeigt einen Ausschnitt aus dem Dünnschliff, auf dem von einer großen Komponente („Komponente 1“) ein kleiner Keil abgespalten wurde. Im Bild ist rechts von diesem abgespaltenen Teil ein extrem feinkörnigen Bereich zu sehen (Abb.30d); noch weiter rechts folgt eine weitere Komponente („Komponente 2“). An „Komponente 2“ ist ein heller Saum auffällig



**Abb.30 a:** Deformationszwillinge im Kalzit; **b:** Übersicht: Komponente 1 mit abgespaltenem Keil getrennt von feiner Matrix (Vergrößerung Bild d) von Komponente 2; **c:** undulöse Auslöschung im Kalzitcement; **d:** Matrix zwischen Komponente 1 und Komponente 2; die Einzelkörner werden von braunem Tonmaterial getrennt.

(Abb. 30 d), der durch einen schmalen Streifen feiner Kalzitkörner von der Hauptkomponente getrennt wird und selbst aus größeren Körnern aufgebaut ist. Aus der Regelmäßigkeit des Saums würde man auf Wachstums- nicht auf Lösungs- bzw. Transportvorgänge schließen. Während die Mitte eher chaotisch wirkt, verlaufen parallel zum Abspaltungskeil der Komponente 1 mehrere Stylolithflächen, die rein optisch an eine Art Crack-Seal-Mechanismus erinnern.

Eine Möglichkeit ist, dass das Gestein primär zerbrach. Dies würde Mechanismen, wie das Abspalten von Teilen aus größeren Protolithkomponenten erklären. Auch das feinkörnige Material in den Hohlräumen zwischen den größeren Komponenten deutet auf eine nicht-drucklösungsbedingte Matrixentstehung hin. Eine weitere Indikation gegen den reinen Drucklösungsprozess wäre, dass nebeneinanderliegende Komponenten, die durch stylolithische Flächen voneinander getrennt sind, „faziell“ zusammenpassen müssten. Zum Beispiel müsste an eine fossilreiche Komponente eine weitere fossilreiche Komponente schließen, oder eine kalzitisch auskristallisierte an eine andere dieser Art. In vielen Fällen ist dies jedoch nicht der Fall. In dieser Annahme liegt aber auch ein gewisser Unsicherheitsfaktor, da nicht klar ist, wieviel Ausgangsmaterial durch die Drucklösung weggelöst wurde. Die Komponente in Abb. 31 b zeigt eine Störung, die scheinbar schon vor einsetzender Drucklösung entstanden ist, da entlang der Störung keine tonigen Lösungs-

rückstände zu finden sind. Dies würde auf tektonische Aktivität vor der Drucklösung hindeuten und so ein Zerbrechen vor der Lösung wahrscheinlich machen.

Die undulöse Auslöschung in den Kalziten ist eine eindeutige Indikation für die Deformation des Kristallgitters. Auch Deformationszwillinge könnten belegen, dass das Gestein vor der Drucklösung eine sprödetektonische Beanspruchung erfahren hat.

Vermutlich wurde das stark fossilhaltige Gestein, das radialstrahligen kalzitischen Zement um Fossilien aufweist, in einer ersten Phase zerbrochen. Hier kommt es möglicherweise bereits zur Bildung der undulösen Auslöschung in den Kalziten. Die Hohlräume wurden teilweise mit kalzitischem Zement verfüllt (große kalzitische Kristalle mit Deformationszwillingen). Erst dann erfolgten die Drucklösungsprozesse und somit die Bildung der stylolithischen Flächen und der abgelagerten tonigen Feinanteile.

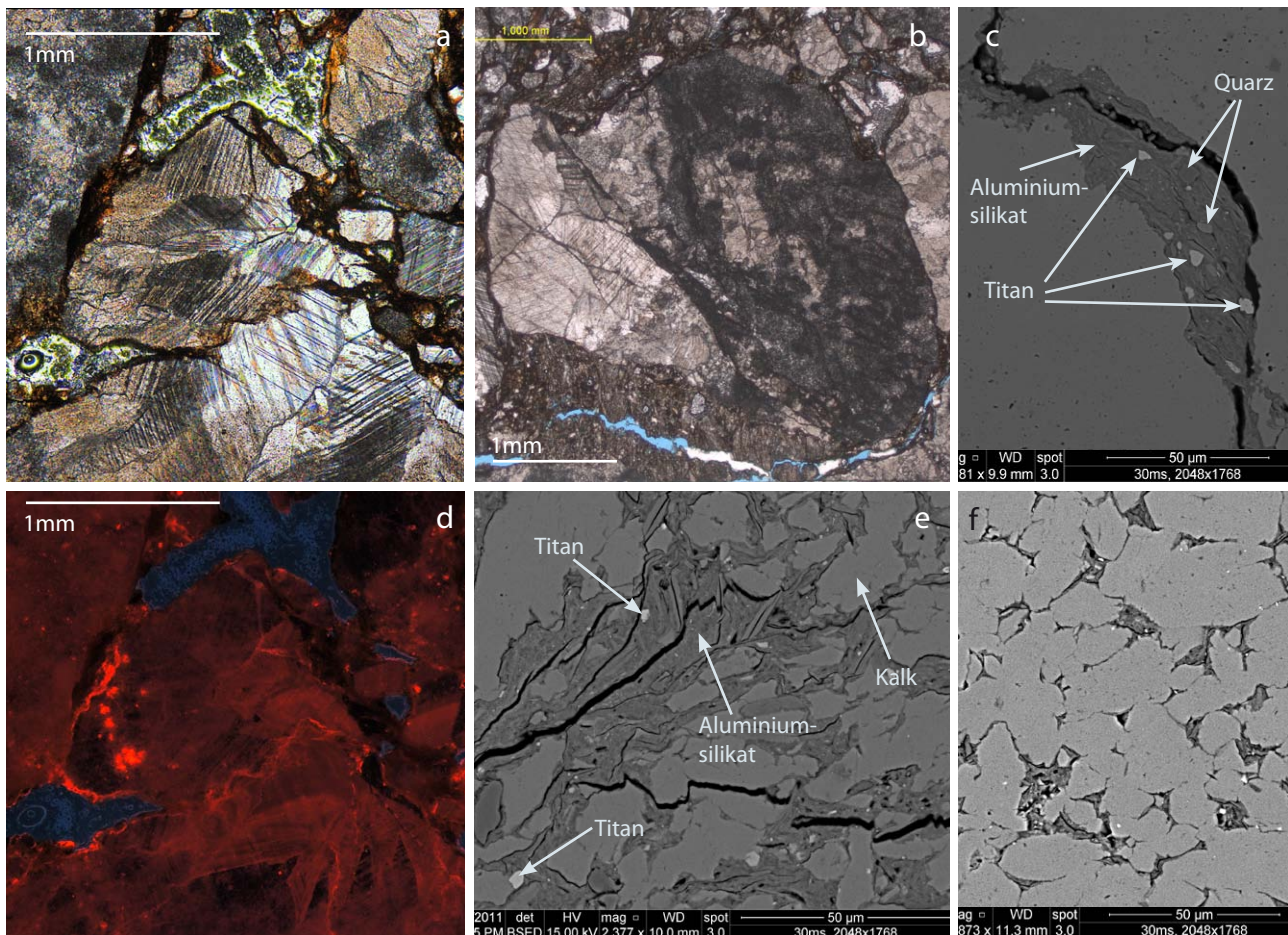
**Beschreibung BSED& EDAX-Messungen**

Die Untersuchung der Probe mit Hilfe des Elektronenmikroskops diente in erster Linie zur EDAX-Bestimmung der stylolithischen Tonmasse.

Die Messungen wurden an den in Abb.31 c und e markierten Punkten durchgeführt und sind in Tabelle 2 abgebildet. Es handelt sich um ein Kalium hängiges Aluminiumsilikat, also vermutlich Illit. Weiters konnten Titan-reiche Partikel und Quarz-Partikel identifiziert werden. Die Ti-

	Kalzit	Al-Silikat	Al-Silikat	Al-Silikat	Al-Silikat	Titan	Kalzit	Titan	Quarz	Titan	Titan	Quarz	Titan	Kalzit	Titan	Al-Silikat	Al-Silikat	Al-Silikat	Kalzit
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (wt%)	7.4	33.1	25.2	27.1	27.4	5.3	0.9	5.3	1.5	1.4	4.6	0.7	1.9	1.8	1.4	26.7	33.9	24.9	0.8
SiO <sub>2</sub> (wt%)	14.5	49.7	50.4	53.2	52.5	8.5	1.1	7.6	93.9	1.6	6.1	96.0	2.1	2.3	2.4	52.5	53.6	47.2	0.7
K <sub>2</sub> O (wt%)	1.5	10.3	4.1	4.9	5.1	0.7	0.8	0.0	0.4	0.4	1.5	0.3	1.0	0.7	0.5	4.1	5.3	4.3	0.0
CaO (wt%)	67.0	0.8	1.7	2.0	1.9	1.4	89.8	1.4	0.8	1.7	1.9	0.8	1.9	87.4	1.8	2.0	1.0	1.5	94.7
TiO <sub>2</sub> (wt%)	1.4	0.5	0.7	0.7	1.0	77.6	1.2	80.3	0.8	90.4	73.7	0.7	87.5	1.5	90.4	0.9	0.0	9.1	0.0
FeO (wt%)	2.9	3.1	12.5	7	3.1	2.7	1.4	2.1	0.6	1.4	8.3	0.6	1.6	2.0	1.2	9.5	1.9	7.6	1.5

**Tabelle 2** In der Tabelle sind die signifikantesten Messergebnisse dargestellt, die in Abb. 31 c markiert sind.



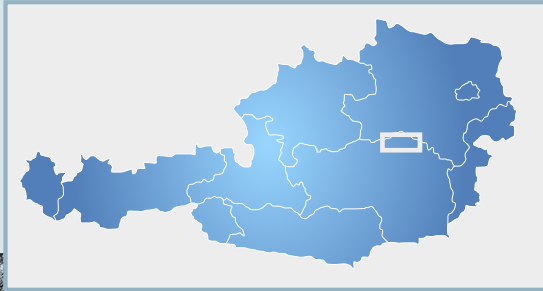
**Abb. 31** Bild **a** zeigt den selben Bildausschnitt an dem in Bild **d** die Kathodenlumineszenz durchgeführt wurde. Sichtbar sind leicht heller rötliche Korngrenzen und stärker lumineszierende tonige Lagen. Bild **b** zeigt das Dünnschliffbild einer Komponente, die scheinbar schon vor der Drucklösung einen störungsbedingten Versatz erfahren hat. Dies würde die Theorie unterstützen, dass die Breccie vor der Drucklösung zerbrochen wurde und nicht gänzlich durch Drucklösungsprozesse entstanden ist. Die Bilder **c** und **e** zeigen Elektronenmikroskopaufnahmen von Klüften und Komponenten, an denen toniges Material, das durch den Drucklösungsprozess entstanden ist, abgelagert wurde. Bei den helleren Partikeln handelt es sich um reine  $\text{SiO}_2$  Komponenten und Titan-reiche Aggregate. Die Mineralkörner in Bild **f** zeigen eindeutige verzahnte Drucklöskontakte. In den Hohlräumen werden Tonminerale abgelagert.

tanpartikel sind jeweils von der Tonmasse eingeschlossen - wobei die Schichtsilikate selbst kein Titan enthalten. Auch im Elektronenmikroskop ist eine Bestimmung in Bezug auf Breccienbildung/Drucklösung schwer, jedoch wirken manche Bereiche - wie in Abb. 31 f - eher primär brecciös als rein drucklösungs-genetisch.

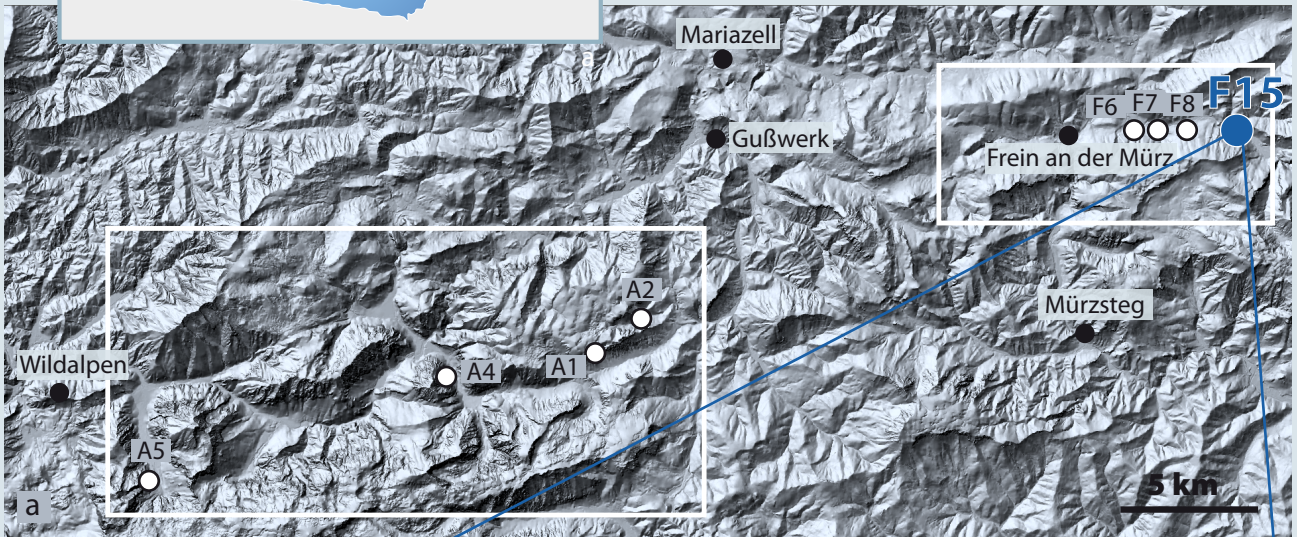
### Beschreibung Kathodenlumineszenz (CL)

Die Kathodenlumineszenz wurde hier durchgeführt, um Informationen über mögliche Zonierungen von älteren Karbonatzementen zu erhalten um somit auf mögliche Änderungen des Porenwasser-Chemismus schließen zu können beziehungsweise um über einzelne Drucklö-

sungskomponenten hinaus genetische Zusammenhänge herzustellen. Solche Zusammenhänge könnten unter anderem Beweise für, beziehungsweise gegen die Breccienbildung vor der Drucklösung liefern. Abb.31d soll jedoch als Beispiel veranschaulichen, dass die Methodik in den vorliegenden Karbonaten keine guten Auswertungen erlaubt. Auch die idiomorphen größeren Kalzite zeigen keine erkennbare Zonierung. Deutliche Lumineszenz zeigen ausschließlich einige stylolithische Drucklösungssäume, an denen sich wie bereits beschrieben Tonminerale ablagern, die - wie auch aus den EDAX-Messungen hervorgeht - oftmals mehr  $\text{Fe}^{2+}$  beziehungsweise  $\text{Mn}^{2+}$  einbauen und dadurch stärker lumineszieren.



# F15

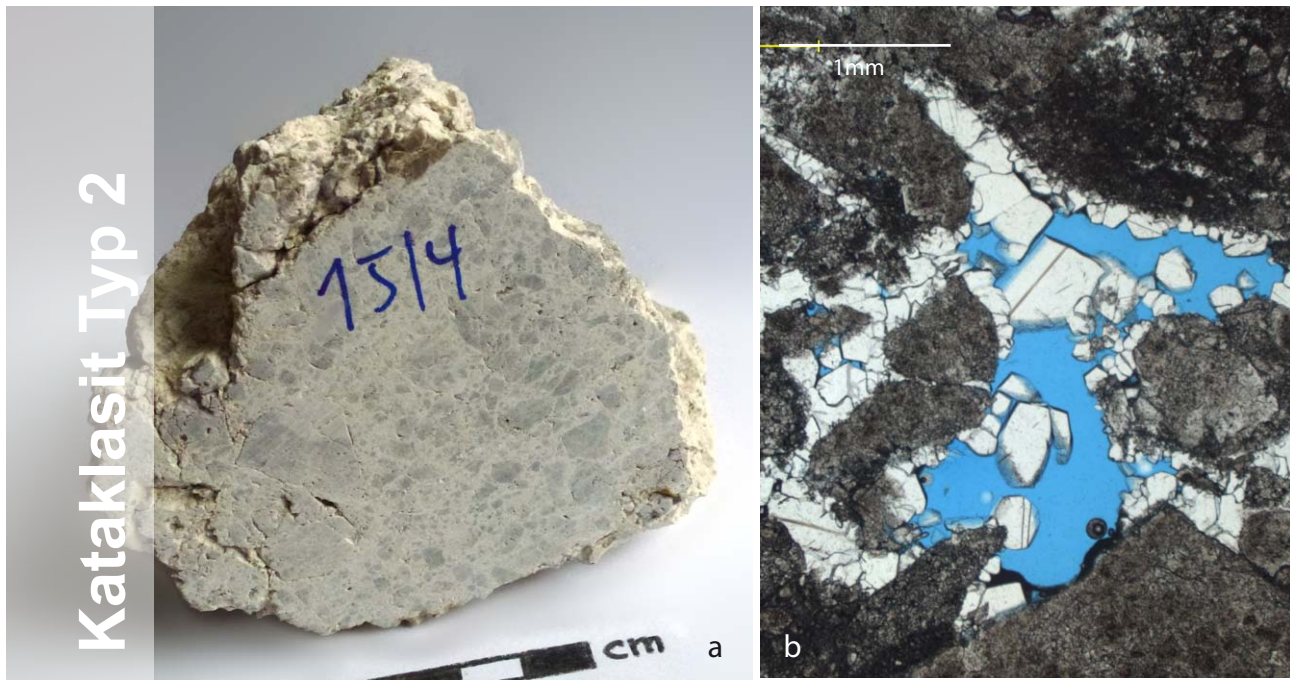


## Aufschluss F15 Steinalpl



**Abb. 32 a:** Geographische Lage und Foto des Aufschlusses F15 (**b**) mit Kennzeichnung der Entnahmepunkte der Handstücke; **c:** Ausschnitt aus dem Aufschluss F15; Übergang von Störungsrandgestein (Fracture Fazies 4) zu einer Dilation Breccie; eine detaillierte Aufschlussbeschreibung findet sich in Kapitel 4 Gelände, Seite 16.





**Abb. 33 a:** Handstück F15/4; **b:** Kalzitische Hohlraumzementation unter dem Lichtmikroskop. Gut beobachtbar ist das randliche Anwachsen der Kristalle an den zerbrochenen dolomitischen Protolithkomponenten.

## FAKTEN

### HS F15/4

Kataklasit Typ 2

Porosität: 8,3%

Permeabilität: /

Steinalpl

Fault Core

Dolomit

E M34 692.139

N GKM 289.902

Wettersteinf./Ladin

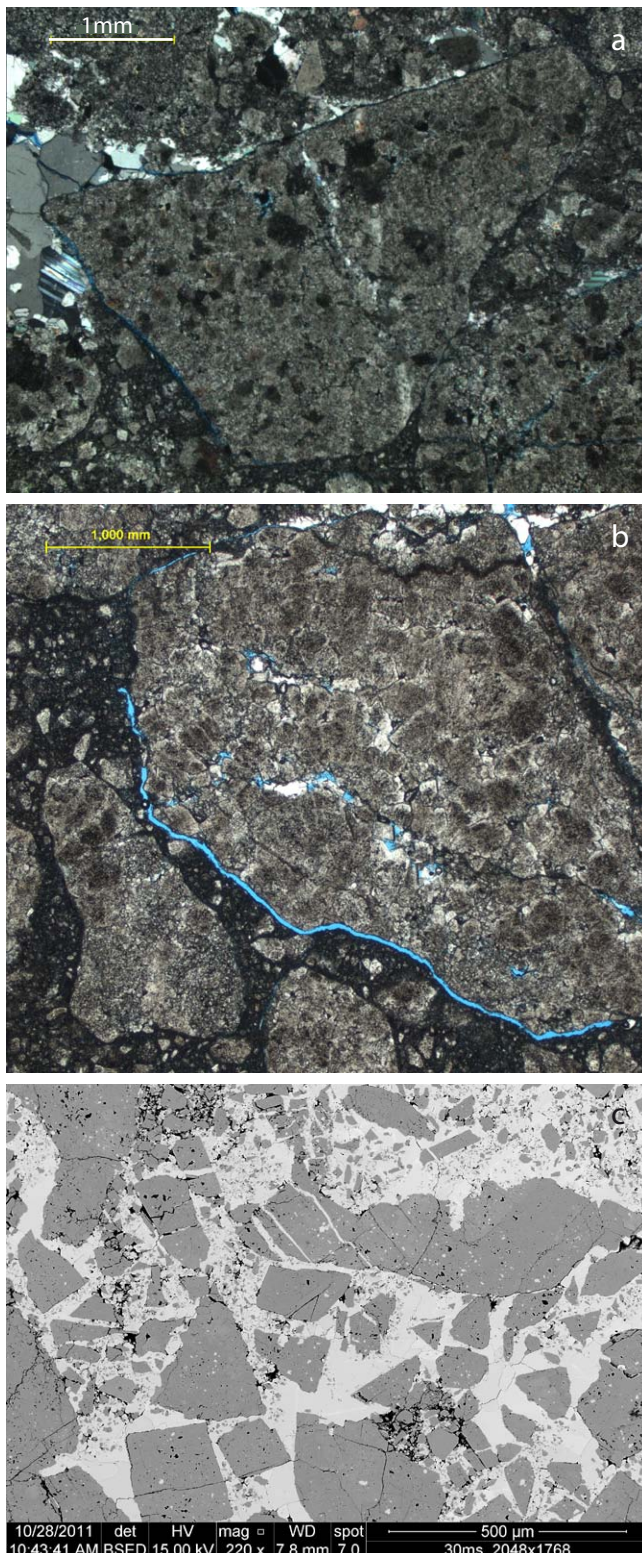
### Beschreibung Handstück

Handstück F15/4 ist ein Kataklasit, der nach der angewitterten Oberflächenbeschaffenheit im Gelände als Kataklasit 1 klassifiziert wurde. Da der Anschnitt jedoch zeigt, dass ein Großteil der Protolithkomponenten gerundet ist, wird das Gestein dem Kataklasit Typ 2 zugeordnet. Weiters sprechen kleinere Harnischflächen mit Linearen, die an Stellen wo Protolithkomponenten ausgebrochen sind, sichtbar sind, für eine Klassifikation als Kataklasit 2. Weiters lässt dies auf eine Rotation der Protolithkomponenten rückschließen. Die dunkelgrauen Dolomitkomponenten unterschiedlicher Größe (<1mm->1cm) sind von einer

hellgrau-weißlichen Kalzitmatrix umgeben. Die Anschnittsfläche zeigt eine Vielzahl an Poren (<1mm). Eine schwache Kohäsion zwischen Komponenten und Matrix gibt einen Hinweis auf die Rotationsmöglichkeit der Komponenten; teilweise scheint sogar ein nicht verfüllter Saum um die Komponenten zu existieren. Viele der Dolomitkomponenten sind in sich weiter zerklüftet - wobei die Klüfte bereits mit kalzitsicher Matrix verfüllt werden.

### Beschreibung Dünnschliff

Im Dünnschliff fällt besonders die Blaufärbung des offenen Porenraums durch das Epoxidharz auf, die vor



**Abb.34 a:** Die Protolithkomponente zeigt im Lichtmikroskop einen dunklen Saum, der auf hohe Porositäten um die Komponente schließen lässt. **b:** Protolithkomponenten mit blauem Saum sind dünn-schliffcharakteristisch für dieses Handstück. Die Matrix erscheint sehr fein und dunkel, was auf hohe Matrixporositäten deutet. Bild **c** zeigt den teilweise sehr brecciosen Charakter einiger Matrixbereiche des Handstückes F15/4.

allein die Matrix und die Kornränder von Protolithkomponenten auszeichnet (Abb. 34b). Die Sortierung ist schlecht. Die Matrix wirkt im Durchlicht sehr dunkel, was vermutlich an dem fein verteilten blauen Epoxidharz und somit an der Mikroporosität liegt. In größeren Hohlräumen finden sich idiomorphe Kalzitkristalle, die keine Deformationszwillinge aufweisen, also vermutlich erst nach jeglicher Deformation auskristallisiert sind. Die makroskopisch so einheitlich wirkenden Protolithkomponenten sind selbst stark geklüftet und eher inhomogen. Auffallend ist auch hier, dass die Matrix am Rand von Protolithkomponenten besonders dunkel erscheint - also vermutlich besonders hohe Porositäten aufweist. An anderen Stellen werden die Protolithfragmente von Kalzit-zement gesäumt, der in offene Hohlräume wächst. Während die Kalzite in den noch offenen Hohlräumen glatte Auslöschung aufweisen, zeigen die meisten größeren Körner innerhalb der Protolithkomponenten undulöse Auslöschung, was wieder für ein posttektonisches Wachstum der Hohlraumkalzite spricht.

#### Beschreibung BSED& EDAX-Messungen

Die Bilder aus dem Elektronenmikroskop zeigen gut abgrenzbare graue Dolomitkomponenten in einer weißlich-hellgrauen Matrix aus Kalzit. Deutlich zu sehen ist, dass die im Mikroskop dunkel erscheinenden Matrixbereiche tatsächlich einen hohen Anteil an Porosität aufweisen. Schon im Lichtmikroskop fällt die extreme Porosität entlang von größeren Komponenten auf, die sich durch das Epoxidharz als blauer Saum abzeichnet. Die BSED Bilder zeigen, dass am Rand dieser Komponenten tatsächlich ein Saum extrem feinkörnigen Materials existiert, der noch dazu nicht zementiert erscheint. Der Großteil dieser kleinen Dolomitkomponenten dürfte durch die Präparation ausgebrochen sein. Eine 8388-fache Vergrößerung an einer nicht ausgebrochenen Stelle zeigt,

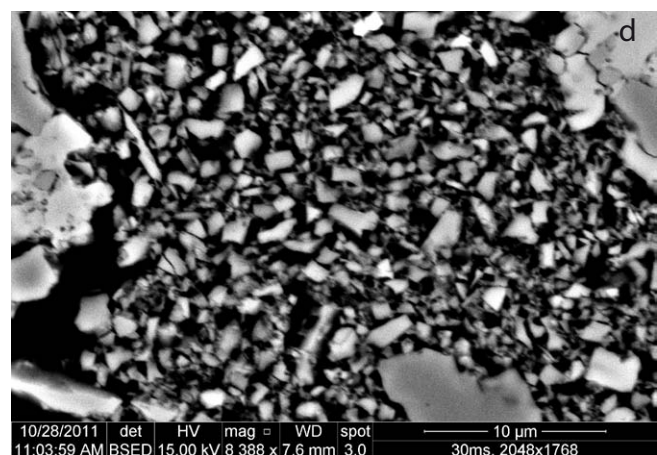
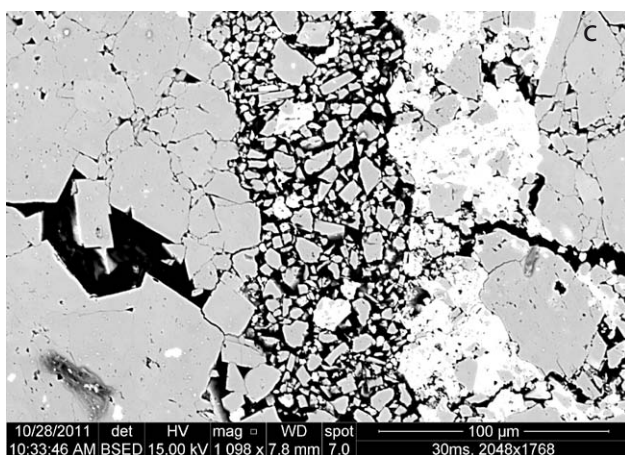
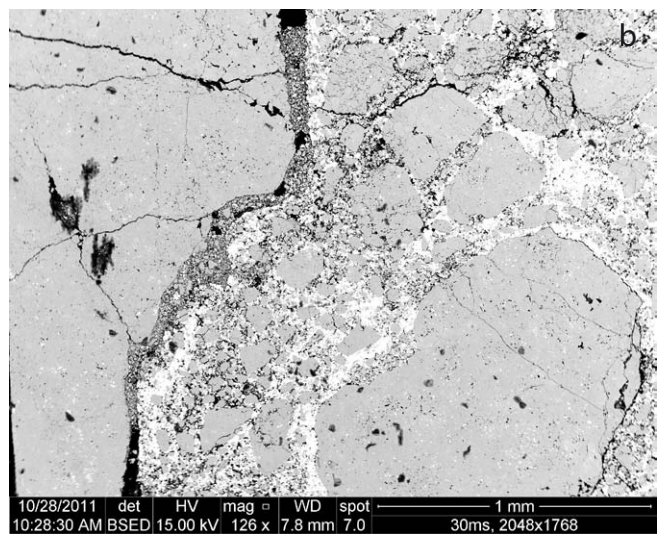
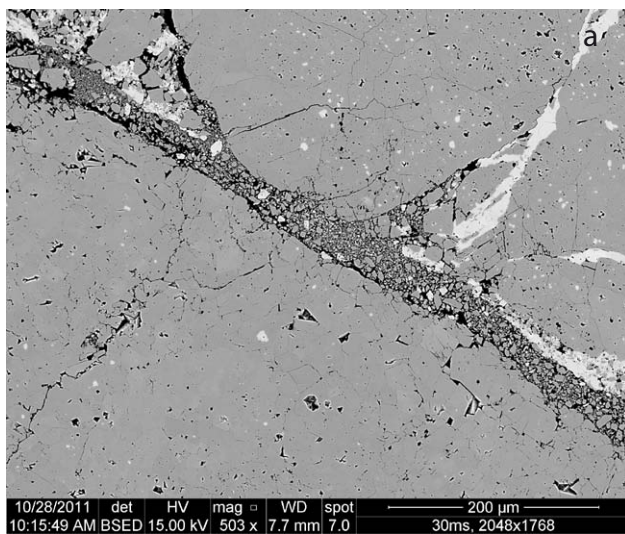
dass die Korngröße durchschnittlich zwischen  $0.5\mu\text{m}$  und  $3\mu\text{m}$  liegt. Dieser feinkörnige unzementierte Komponentensaum zwischen Protolithfragment und Matrix stellt eine Schwachstelle dar, die eine Erklärung für eine gewisse Bewegungsfreiheit der größeren Komponenten gibt. Es würde auch die geringe Kohäsion zwischen Komponenten und Matrix erklären, die dazu führt, dass die größeren Komponenten so leicht aus dem Gesteinsverband gelöst werden können und harnischflächenartige Lineationen an der Matrix rund um die herausgelösten Komponenten auftreten.

Eine weitere Beobachtung - die jedoch auch in den Proben des Aufschlusses A2 gemacht wurde, betrifft Hohl-

raumsedimente mit Geopetalgefügen, die zwischen größeren Protolithfragmenten beobachtet wurden. Immer wieder fallen klazitgefüllte Hohlräume auf, in denen sich dolomitische Komponenten - meist in einer Komponentengröße von  $5\mu\text{m} < 1\mu\text{m}$  - scheinbar mit einer gewissen vorherrschenden Richtung an größere Komponenten anlagern (Abb. 36 e-f). Eine Ablagerung erfolgt ebenfalls an, durch die Breccienstruktur vorgegebenen Strukturen - wie zum Beispiel in Abb. 36 c-d: Die beobachtete Textur deutet an, dass feinkörniges Material in den Hohlraum sedimentiert und in der Senke zwischen der linken und der oberen Komponente abgelagert wurde. Ohne jetzt schon auf einen Entstehungsmechanismus eingehen zu

#### Abb. 35

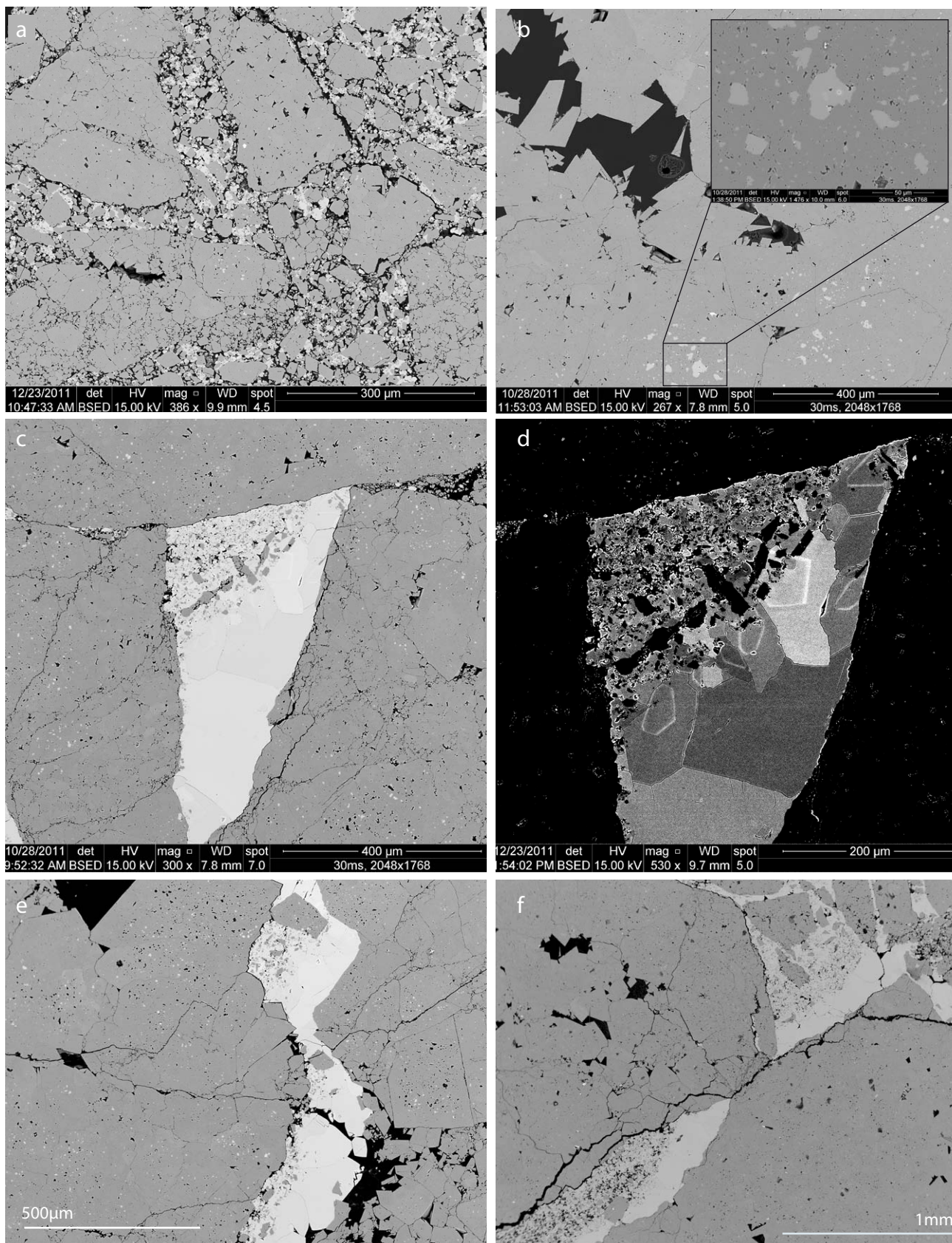
Bild **a** zeigt den extrem feinkörnigen Bereich am Rand einer großen Protolithkomponente (links unten), der nicht zementiert ist; Bild **b** zeigt ebenfalls einen Ausschnitt mit dem Feinstkornmaterial am Komponentenrand, wobei hier nur ein kleiner Teilbereich erhalten ist (Ausbruch am oberen und unteren Bildrand) Bild **c** zeigt den Übergang von einer Protolithkomponente (links) von der sich scheinbar stetig Bruchstücke ablösen zu einer ca  $80\mu\text{m}$  breiten Zone unzementierten Feinmaterials (wobei man sieht, dass auch kleine Matrixfragmente unter den Dolomitkomponenten zu finden sind) und schließlich zu kalzitisch zementierter Matrix. Bild **d** gibt einen Einblick in einen Teilbereich eines Komponentenensaumes, der besonders kleine Korngrößen aufweist (Vergleich mit Bild c: hier liegen die Korngrößen bei um die  $5-20\mu\text{m}$ )



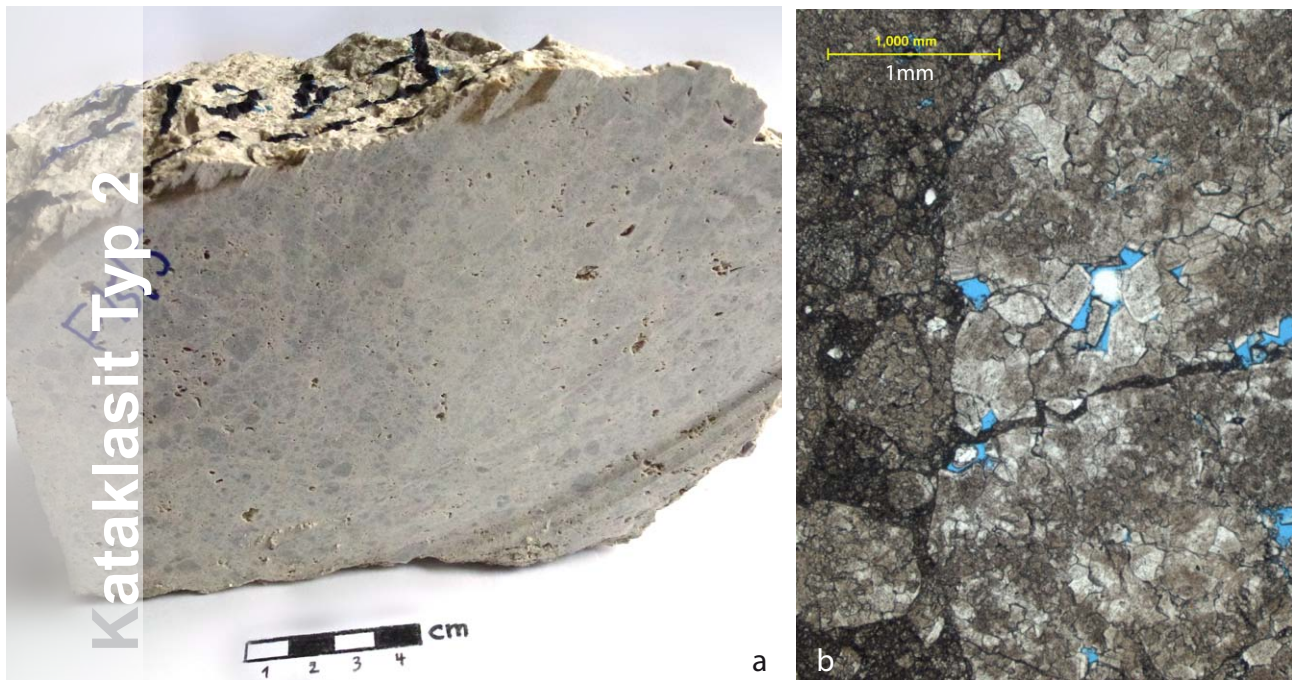
wollen, ist es doch sehr auffällig, dass der Winkel und die Richtung der Erscheinung in allen beobachteten Fällen nahezu übereinstimmt. Dies könnte Rückschlüsse auf die Orientierung der Probe zulassen, da anzunehmen ist, dass die Sedimentation der Schwerkraft folgt.

Eine weitere Auffälligkeit in Schliff 15/4 ist, dass die meisten Hohlräume innerhalb der Protolithkomponenten mit idiomorphen Dolomitkristallen zementiert sind, jedoch kleine xenomorphe Hohlräume innerhalb der Komponenten kalzitisch gefüllt sind (Abb. 36 b). Dies lässt vermuten, dass verschiedene Fluids beteiligt sind oder eine zeitliche Prozessabfolge besteht. EDAX-Messungen haben ergeben, dass zwischen den Matrixkalziten und den Kalziten innerhalb der Protolithkomponenten kein chemischer Unterschied besteht (siehe dazu auch BSED Beschreibung von Handstück F15/5-Vergleich mit F15/4). Da die Hohlräume, in denen Dolomitwachstum stattfindet noch teilweise offen sind, liegt die Vermutung nahe, dass diese erst nach der Kalzitcementation geöffnet wurden und Dolomitamente erst später auskristallisieren. Ihre idiomorphe Form würde auf jeden Fall auf eine Phase ohne tektonische Beanspruchung deuten. Um nähere Informationen über die Hohlraumsedimente mit Geopetalstrukturen zu erhalten, wurde der Kontrast erhöht um mögliche Wachstumsabfolgen der Kalzite beobachten zu können. Wie in Abb. 36 d deutlich sichtbar wird, weisen die Kalzite direkt an der Grenze zu den Dolomitfragmenten einen Wachstumssaum auf, den die Kalzite weiter entfernt von den Dolomitkörnern nicht zeigen. Weiters fällt auf, dass die Größe der Dolomitkristalle mit Entfernung von den Dolomitkomponenten zunimmt. Es ist schwierig ein deutliches Bild von den Kalziten zwischen den Dolomitfragmenten zu erhalten, da bei hohem Kontrast die vielen Korn-Hohlraum-Kontakte weiße Reflexionssäume zeigen, die nur ein Artefakt der Kontrasterhöhung sind, jedoch den optischen Eindruck deutlich beeinflussen. Trotzdem ist - auch im Abb. 36 d - erkennbar, dass die Kalzite zwischen den Dolomitkomponenten deutlich

kleiner und „runder“ ausgebildet sind, als außerhalb. Die verschiedenen Kornformen und Zonierungen lassen auf eine Entstehungsabfolge schließen, die auch die Verteilung der Dolomitfragmente erklären könnte. Auf eine mögliche Entstehungsgeschichte wird im Kapitel 7 Interpretation eingegangen.



**Abb. 36 a:** BSED Bild eines Ausschnitts aus Handstück F15/4; Die Komponenten weisen bereits starke Zerlegung auf; die Matrix ist teilweise kalzitisch zementiert. **b:** Während in größeren Hohlräumen Dolomitwachstum stattfindet (idiomorph) finden sich innerhalb der Komponenten kalzitisch zementierte Hohlräume (bis zu 50µm breit). **c:** Die Dolomitkomponenten in der kalzitischen Matrix zeigen ebenso wie in anderen Bereichen des Dünnschliffes eine scheinbare „Schüttungsrichtung“. Bild **d** zeigt den selben Ausschnitt - etwas vergrößert - mit stark erhöhtem Kontrast. Die Farbdifferenz zwischen den Kalzitmineralen und ihre Zonierung ist deutlich besser zu sehen als in Bild **c**. **e** und **f:** Weitere Beispiele für die mögliche Hohlraumsedimentation mit vorherrschender Richtung.



**Abb. 37 a:** Handstück F15/5; **b:** Der Dünnschliff des Handstückes F15/5 im Lichtmikroskop. Der Ausschnitt zeigt einen Anschnitt einer relativ großen Protolithkomponente, in deren mit blauem Epoxidharz gefüllten Hohlräumen idiomorphes Kristallwachstum stattfindet. Sowohl die große Komponente, als auch die kleineren Matrixkomponenten zeigen Kornrundung. Die Matrix ist sehr dunkel und feinkörnig.

<b>FAKTEN</b>	<b>HS F15/5</b>		
	Kataklasit Typ 2	<b>Steinalpl</b>	E M34 692.139
	Porosität: 4,3%	<b>Fault Core</b>	N GKM 289.902
	Permeabilität: 3,1%	<b>Dolomit</b>	Wettersteinf./Ladin

### Beschreibung Handstück

Das Handstück besteht aus mittelgrauen, gerundeten, mm bis 3cm großen Dolomitkomponenten, die oft weißgraue Ränder aufweisen und teilweise matrixgestützt, teilweise korngestützt, in einer hellgrauen Dolomitreichen Matrix eingebettet sind. Auffallend sind viele, durchschnittlich 1-5mm große, offene Hohlräume, in die teilweise kalzitische Zemente wachsen. Diese Hohlräume treten sowohl in den Protolithkomponenten als auch in der Matrix auf. Manche Dolomitkomponenten sind von einem Saum umgeben, der sich farblich durch deutlich hellere Erscheinung von der umgebenden Matrix abgrenzen lässt.

### Beschreibung Dünnschliffe

Aus der Probe F15/5 wurden 2 Dünnschliffe gefertigt, die beide im folgenden Absatz besprochen werden. Die Schliffe sind dem Schliff F15/4 sehr ähnlich - wobei die Komponenten, die von der Matrix umgeben sind kleinere Korngrößen aufweisen und als Fragmente noch besser gerundet sind. Die Sortierung ist schlecht (Korngröße 0,02mm - 1,5cm). Die Probe ist extrem inhomogen. Manche Bereiche des zweiten Schliffes können als Dilations Breccie andere als Kataklasit klassifiziert werden. Wieder wirkt die Matrix gerade an den Korngrenzen sehr dunkel, manche Komponenten werden von blauem Epoxidharz gesäumt. Die blauen Umrandungen sind nicht so mar-

kant wie in Schliff 15/4, trotzdem würde dieses Phänomen erneut auf eine erhöhte Porosität an der Grenze zwischen Komponenten und Matrix hinweisen. Von vielen in der Matrix bestehenden offenen Hohlräumen muss angenommen werden, dass diese während der Probenbearbeitung entstanden sind.

Hohlräume innerhalb der Protolithkomponenten sind wieder dolomitisch zementiert, wobei in manchen idiomorphen Kristallen eine Zonierung im Mikroskop zu sehen ist: um einen dunklen, einschlussreichen Kern wird ein einschlussfreier, heller Rand gebildet.

Bis auf die feinkörnige Matrix - die unter dem Lichtmikroskop teilweise nicht mehr auflösbar ist - zeigen viele Körner im Dünnschliff undulöse Auslöschung.

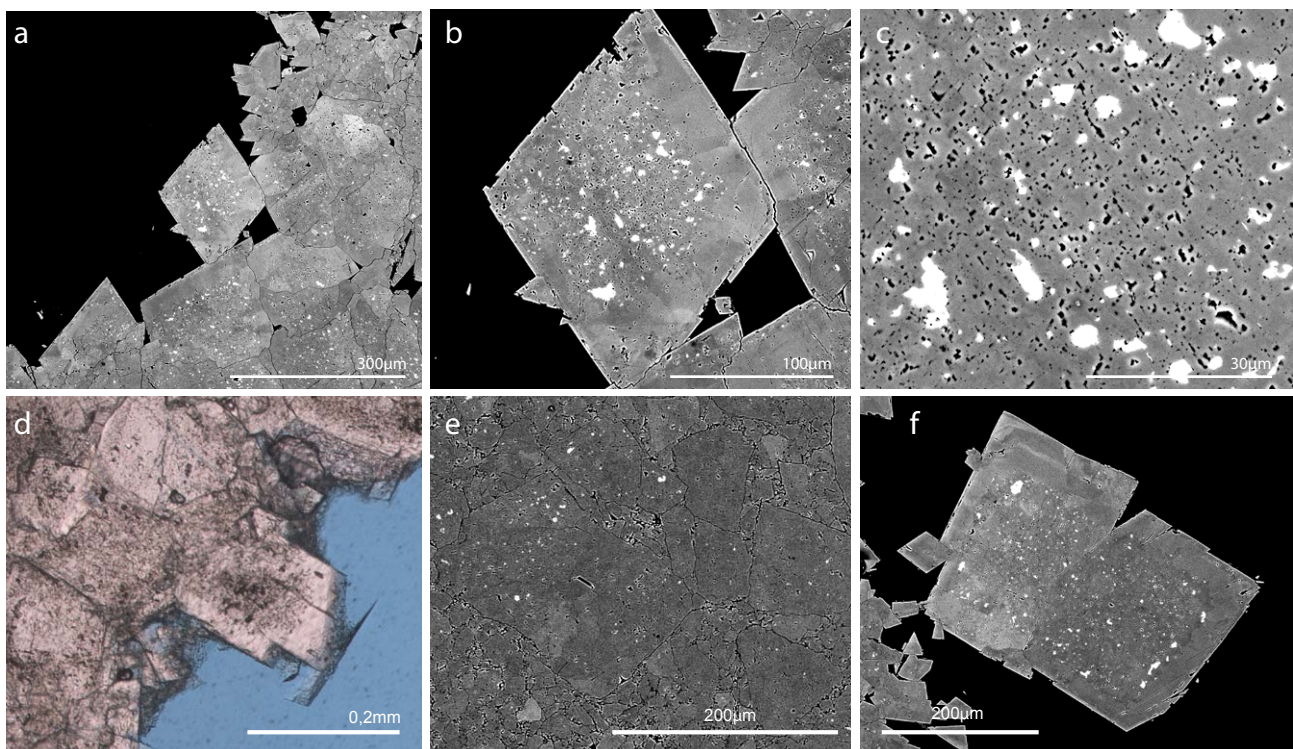
#### Beschreibung BSED& EDAX-Messungen

Im Elektronenmikroskop wird sichtbar was im Dünnschliff nicht zu sehen ist - da keine Färbemethoden an-

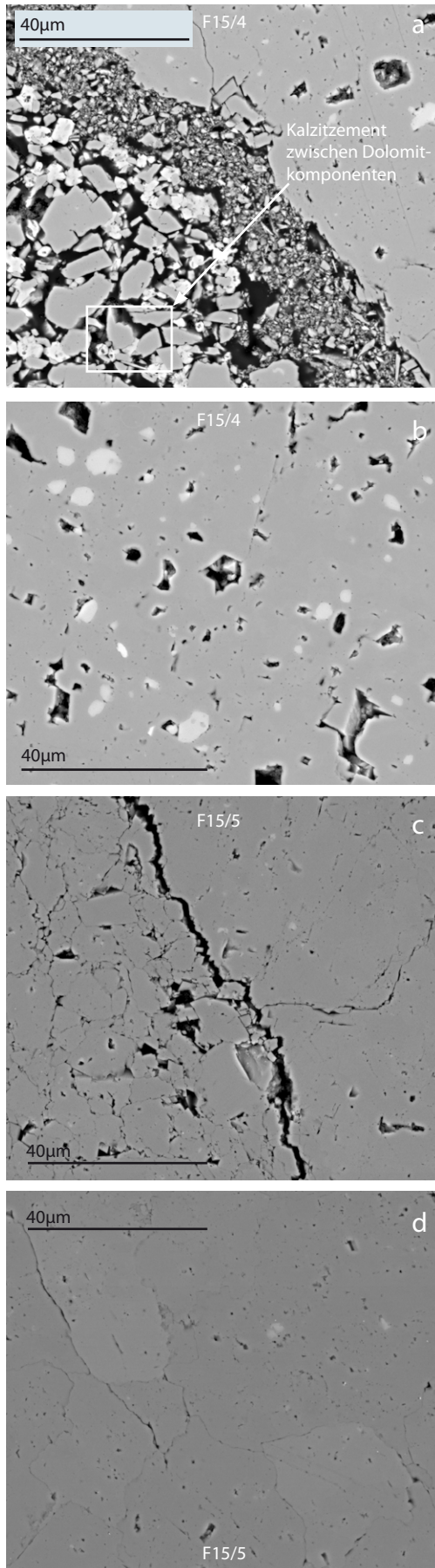
gewandt wurden - was aber auch am Handstück mit Hilfe von verdünnter Salzsäure festgestellt wurde, dass bei diesem Handstück auch die Matrix dolomitisch ist (Abb. 38 e).

Obwohl der optische Eindruck im Lichtmikroskop fast gleich ist wie in Probe F15/4 zeigt das Elektronenmikroskop deutlich, dass scheinbar andere Prozesse oder Fluide zur Bildung dieses Bereichs der Störungszone geführt haben. Die Probe weist außerdem einen deutlich geringeren Porositätswert auf, als Probe F15/4. Ob dies in Zusammenhang mit der verschiedenen Matrixbeschaffenheit steht, soll hier untersucht werden.

Obwohl auch die Proben aus Aufschluss F7 dolomitisch sind, zeigt sich im Elektronenmikroskop doch eine andere Beschaffenheit der Komponenten. Während die Gesteine aus Aufschluss 7 durchgehend von feinen idiomorphen Dolomitkristallen aufgebaut werden, hat diese Probe - bis auf die Dolomitmatrix - mehr Ähnlichkeit mit



**Abb.38 a:** Elektronenmikroskopaufnahme eines Hohlraumes, in dem idiomorphes Kristallwachstum stattfindet. Die Dolomite zeigen einschlussreiche Kerne und einschlussfreie Ränder. **b:** Vergrößerung des mittig gelegenen Dolomitkristalls aus Bild a. Bild **c** zeigt eine Nahaufnahme des einschlussreichen Kernes des Dolomitkristalls aus Bild b. Bild **d** verdeutlicht, dass auch im Dünnschliff die Zonierung der Hohlraumdolomite beobachtet werden kann. **e:** Da sowohl Matrix als auch Protolithkomponenten dolomitisch ausgebildet sind, zeigt diese Aufnahme aus dem Elektronenmikroskop nur sehr wenig Kontrast. Nur die schwarzen, dünnen Korngrenzen sind deutlich sichtbar. **f:** Ein Hohlraumdolomit zeigt deutliche Zonierung im Elektronenmikroskop. Ein einschlussreicher Kern geht in einen zonierten einschlussfreien Randbereich über.



der Probe F15/5. Die größeren Komponenten weisen deutliche Korngrenzen auf und sind trotz des nicht vorhandenen farblichen Unterschiedes gut erkennbar. Dagegen sind die makroskopisch so deutlichen Komponenten aus den Dünnschliffen F7 im Elektronenmikroskop nicht bzw. kaum von der Matrix zu unterscheiden. Weiters weisen die größeren Komponenten in dem Schliffen F15/5 Rundungen der Kanten auf. Auch die Körner, die die Matrix aufbauen, zeigen teilweise Rundung. Nur im kleinsten Korngrößenbereich ( $<10\mu\text{m}$ ) zeigen die Schliffe F15/5 die selben idiomorph verwachsenen Dolomitekristalle ohne Zementation der Hohlräume wie in den Schliffen des Aufschlusses F7.

Wie auch schon bei der Dünnschliffbeschreibung erwähnt, zeigen viele idiomorph wachsende Dolomitekristalle einen dunkleren einschlussreichen Kern und einen einschlussfreien äußeren Bereich. Mit dem Elektronenmikroskop wird sichtbar, dass es sich bei den dunklen Stellen im Kern nicht um Einschlüsse sondern um Hohlräume handelt. Es existieren jedoch auch Kalzit gefüllte Hohlräume. Außerdem weist auch der Dolomit durch leichte Schwankungen im CaO Gehalt eine eindeutige Zonierung von helleren und dunkleren Bereichen auf (Abb. 38 f)

#### Vergleich BSED F15/4 und F15/5

Die bisher beschriebenen Merkmale erklären jedoch noch nicht die niedrigere Porosität im Vergleich mit Handstück F15/4.

In Abb. 39 sieht man 4 Vergleichsfotos der Handstücke F15/4 und F15/5 - jeweils einmal einen Vergleich der Protolithkomponenten und einen Vergleich der Kontakte zwischen Matrix und Protolithkomponenten. Alle Bilder zeigen einen gleich großen Ausschnitt. Trotz der fehlenden kalzitsichen Zementation ist ersichtlich, dass der Anteil an offenen Hohlräumen in F15/5 deutlich geringer ist, als in F15/4. Natürlich kann man argumentieren, dass in F15/4 vermutlich ein bearbeitungsbedingtes Ausbrechen der Zemen-

**Abb. 39** (links) Bild **a** und **b** zeigen Ausschnitte des Dünnschliffes F15/4. Während Bild **a** den Übergang von einer größeren Dolomitekompone (rechts oben) zur Matrix zeigt, liefert Bild **b** einen gleich großen Ausschnitt einer dolomitischen Protolithkomponente. Die Markierung in Bild **a** zeigt kalzitsichen Zement zwischen 2 dolomitischen Matrixkomponenten. Die Bilder **c** und **d** zeigen thematisch die gleichen Bildausschnitte aus Dünnschliff F15/5.

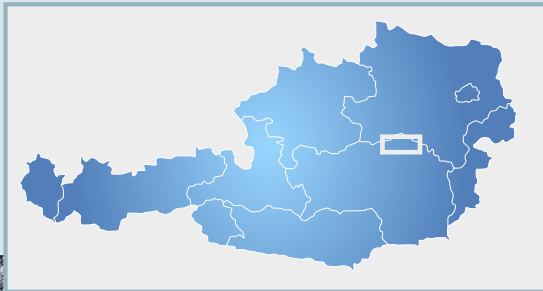


tation stattgefunden haben könnte. Wenn das der Fall ist, kann man aber auch davon ausgehen, dass sich die Kalzitmatrix in manchen Bereichen sehr leicht lösen lässt, da Kalzit-gefüllte Klüfte und Matrixbereiche in anderen Teilen des Dünnschliffes sehr gut erhalten sind. Hier wird jedoch nicht davon ausgegangen, dass ein erhebliches Ausbrechen des kalzitisches Zementes stattgefunden hat. Manche Dolomitkomponenten zeigen eindeutige ehemalige Zusammengehörigkeit, wurden also nicht rotiert oder versetzt. In Abb. 39 a sind Bereiche markiert in denen Körner eindeutig von kalzitischem Zement zusammengehalten werden. Die Zementation findet demnach bevorzugt an Kornkontakten statt und erfolgte nicht in der gesamten Matrix.

Bei Handstück F15/4 wurde die Matrix makroskopisch als sehr feinkörnig und weich (mit dem Fingernagel ritzbar) beschrieben, die einen staubigen, weißen Film auf der Haut hinterlässt. Die Matrix aus F15/5 dagegen ist makroskopisch sehr kompakt und fest mit den Protolithkomponenten verbunden. Auch im Elektronenmikroskop ergibt sich ein ähnliches Bild: Die Dolomitkomponenten in F15/5 sind stark verwachsen und bilden ein stabiles Gefüge mit wenig Einzelkornrotationsmöglichkeit. Die Grenze zur Protolithkomponente bildet eine wenige  $\mu\text{m}$  breite Kluft, die jedoch mit großer Wahrscheinlichkeit durch die Probenaufbereitung entstanden ist. Ein deutlich anderes Bild zeigt ein Ausschnitt aus Dünnschliff F15/4. Die Matrix wird aus korngestützten bis zu  $10\mu\text{m}$  großen Dolomitfragmenten und Kalzitcementen aufgebaut, die nur teilweise verwachsen sind und somit deutlich mehr offenen Hohlraum ergeben. Den Kontakt zur Protolithkomponente bildet ein  $30\mu\text{m}$  breiter Saum aus sehr feinkörnigen, oft kleiner als  $1\mu\text{m}$  großen Dolomit und Kalzitkörnern, der sich durch seine Korngröße deutlich von der restlichen Matrix abhebt.

Auch der Vergleich des Protolithkomponentenausschnittes ergibt ein anderes Bild - obwohl es sich mit Sicherheit um das selbe Ausgangsgestein handelt. Bei gleicher Bild-

ausschnittsgröße zeigt Dünnschliff F15/4 deutlich größere Hohlräume ( $10-20\mu\text{m}$ ) während F15/5 nur Poren von wenigen  $\mu\text{m}$  aufweist. Dazu kommt, dass der Kalziteinschlussgehalt - bis auf die Einschlüsse in den vorhin beschriebenen idiomorphen Hohlraumdolomiten (Abb. 38 b und f) - in F15/5 deutlich geringer ist, als in F15/4. Wenn man vom gleichen Ausgangsgestein ausgeht, so wäre dies ein Beweis, dass diese Kalzitverfüllung der Porenräume auch erst bei der Störungsgesteinsgenese entstanden ist und nicht als Merkmal der dortigen Wettersteinformation zu sehen ist. Jedoch stellt sich bei F15/5 immer noch die Frage wie der Kalzit in die Protolithkomponenten, nicht aber in die Hohlräume der Matrix kommt.



# A1



## Aufschluss A1 Kastenriegel



**Abb. 40 a:** Geographische Lage und Foto des Aufschlusses A1 **b:** Kennzeichnung des Entnahmepunktes des Handstückes; eine detaillierte Aufschlussbeschreibung findet sich in Kapitel 4 Gelände, Seite 17.



**Abb. 41 a:** Handstück A1/1; **b:** Ausschnitt aus dem Panoramafoto des Dünnschliffes von Handstück A1/1. Deutlich zu sehen sind subparallele kalzitisch gefüllte Klüfte, sowie ein feineres offenes Kluftsystem, das mit blauem Epoxidharz gefüllt ist. Bereiche, die dunkler erscheinen sind stets durch Kornzerkleinerung gekennzeichnet.

<b>FAKTEN</b>	<b>HS A1/1</b>		
	Fracture Facies 4	<b>Kastenriegel</b>	E M34 669.209
	Porosität: 4,9%	Fault Core	N GKM 280.980
	Permeabilität: 13.3mD	Dolomit	Wettersteinf./Ladin

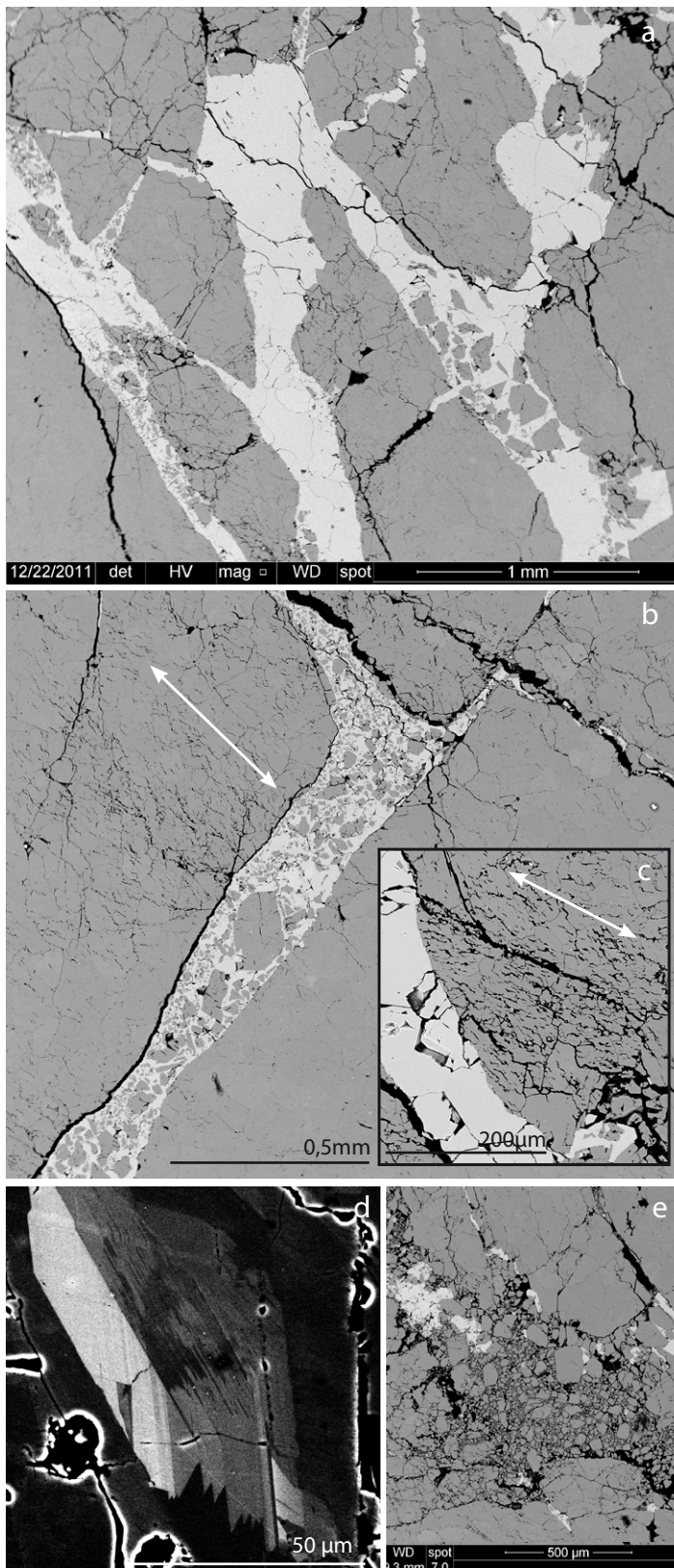
#### Beschreibung Handstück

Bei Handstück A1/1 handelt es sich um hellgrauen Dolomit der Fracture Fazies 4. Die meisten Klüfte sind kalzitisch zementiert, manche Klüfte sind jedoch stellenweise offen. Innerhalb der Dolomitkomponenten treten vereinzelt ca. 0,1-0,5 mm große isolierte Poren auf. Das Gestein weist weiters auf einer der ungeschnittenen Flächen eine glattpolierte Harnischfläche mit deutlicher Lineation auf.

#### Beschreibung Dünnschliff

Dünnschliff A1/1 zeigt körnig rekristallisierten Dolomit, der von teilweise verfüllten, teilweise offenen Klüften durchzogen wird. Im Protolith sind keine größeren bio-

genen Komponenten erkennbar. In Hohlräumen wachsen vereinzelt rhomboedrische Dolomitkristalle. Bei den Kalzit gefüllten Klüften lassen sich verschiedene Generationen unterscheiden, da einige Kalzitkristalle tektonische Zwillinge aufweisen, unmittelbar daneben liegende jedoch nicht. Die mit Epoxidharz gefüllten offenen Klüfte bilden ein zusammenhängendes Netzwerk, das sich als Hauptmigrationsweg für Fluid anbietet und teilweise ältere, zementierte Klüfte durchtrennt sowie stellenweise auch versetzt. Die einzelnen Dolomitkristalle im Dünnschliff zeigen eine Vielzahl an Einschlüssen, jedoch keine Zonierung. Neben dem Kluftnetzwerk als Raum für Fluidmigration fallen Bereiche auf, in denen vermutlich durch



**Abb. 42 a:** Das Bild soll verdeutlichen, dass diese Fracture Facies 4 im Elektronenmikroskop stellenweise mehr an eine Dilation Breccie erinnert als an eine Fracture Facies. **b:** starke gerichtete Kornzerkleinerung und Rissbildung ist häufig zu beobachten. Der Pfeil deutet die Streichrichtung der Risse an. **c:** siehe Bild b. **d:** Hohlräumkalzit mit Zonierung; **e:** Kornzerkleinerung an einem Kontakt mehrerer Klüfte unterschiedlicher Orientierung.

erhöhte Deformation besonders feine Kornzerkleinerung stattgefunden hat. Auch diese Bereiche weisen eine starke Blaufärbung durch das Epoxidharz auf.

#### Beschreibung BSED& EDAX-Messungen

Die Untersuchung im Elektronenmikroskop zeigt, dass das als Fracture Facies 4 klassifizierte Gestein an einigen Stellen bereits Merkmale weiterer Gesteinszerkleinerung zeigt. Wie bereits im Lichtmikroskop sichtbar, zeigen die Protolithkomponenten stellenweise häufige und teilweise nahezu parallele Risse. Die ungefähre Richtung dieser Mikrorisse ist in Abb. 42 b und c mit weißen Pfeilen markiert. Die Klüfte, die an solche Komponenten angrenzen, sind kalzitisch verfüllt, zeigen jedoch eine Anhäufung an zerkleinerten Dolomitfragmenteinschlüssen (Abb.42 b). Weiters wird - wie in Abb. 42 a - eine Volumszunahme durch die Abspaltung größerer Bruchstücke vom Protolithmaterial deutlich. Es entstehen Puzzleartige Strukturen, die sich in diesem Stadium der Störungsbildung optisch noch leicht wieder zusammensetzen lassen. Immer wieder finden sich jedoch auch größere Komponenten in den kalzitisch zementierten Klüften (Komponenten, die vermutlich später die Matrix aufbauen). Stellenweise zeigt das Gestein ein weniger breites, offenes Kluftsystem, in dem nur einzelne Kalzitkristalle wachsen. Immer wieder mündet dieses System in Bereiche, in denen massive Kornzerkleinerung stattgefunden hat und in denen immer wieder kalzitische Zementation einsetzt. Die Dolomitkörner zeigen hier bereits beginnende Kornrundung (Abb. 42 e). Wenn die Klüfte als Transportwege genutzt werden und ein solcher mechanisch stark beanspruchter Bereich zementiert wird, würde man in Folge vermutlich von

„Matrix“ sprechen. Vereinzelt zeigen die Kalzitkristalle bei Erhöhung des Kontrasts deutliche Wachstumsabfolgen (Abb. 42 d) Der hier abgebildete Kalzit lässt sich rein farblich und durch Formgebung in unterschiedliche Bereiche gliedern. Auffällig sind die mikro-„Hundezahn“ („Dogtooth-Sparit“)-artigen dunklen Kalzite im unteren Bildbereich. Da Kalzite in einer derartigen Ausbildung unter Wasser in Höhlen gebildet werden, kann auch hier eine Bildung unter ständiger Fluidanwesenheit angenommen werden.

### Kathodenlumineszenz

Die Kathodenlumineszenz konnte keine durchgehenden Besonderheiten aufzeigen. Vereinzelt zeigen Klufthkalzite Zonierungen, die auf chemische Änderungen des Porenwassers schließen lassen. In Abb. 44 a-c sind zwei Beispiele aus dem Dünnschliff A1/1 dargestellt. Abb. 44 a zeigt eine Zonierung im kalzitischen Hohlraumzement. Auffällig ist, dass nur einer der Kalzite diese Zonierung zeigt. Der Rest der Kalzite zeigt gar keine Lumineszenz. Abb. 44 c steht stellvertretend für fast alle Klüfte im Dünnschliff. Die Kalzite zeigen keine Lumineszenz. Im angeführten Beispiel luminesziert jedoch ein schmaler Randbereich zwischen einer vermutlich älteren verzwilligten Kalzit-

klüftfüllung und einer breiten unverzwilligten Kalzitklüft.

### Mikro-Computertomographie

Die Mikro-(Röntgen)-Computerthomographie ( $\mu$ CT) wird in der Einleitung nicht als allgemeine Methode beschrieben, da sie nur an zwei Handstücken durchgeführt wurde. Die  $\mu$ CT-Methode liefert eine dreidimensionale Darstellung und Charakterisierung der Probe durch Bilder, die Variationen der abgeschwächten Röntgenstrahlung wiedergeben, die durch dichtere und weniger dichte Stellen in der Probe entstehen (R.A. Ketcham, W.D. Carlson, 2001). Da die Dichteverteilung im Gestein oft mit Korn- bzw. Phasengrenzen zusammenhängt, lassen die Daten meist eine einfache und intuitive Interpretation zu (R.A. Ketcham, W.D. Carlson, 2001). Weiters kann die Probe zerstörungsfrei untersucht werden. Das Bildmaterial kann mit Programmen wie ImageJ und Amira bearbeitet werden, um 3D- und Volumenmodelle herzustellen, beziehungsweise um Volumen- oder Porenraumberechnungen durchzuführen.

Die Untersuchungen wurden im „Vienna micro-CT Lab“ am Department für Anthropologie der Universität Wien mit der X8060 NDT - 2D/3D-Röntgeninspektion (Abb. 43) durchgeführt. Beim Bildmaterial des Schliffes A1/1 handelt es sich um 832 Einzelbilder, aus denen von Alexander Rath mit dem Programm Gocad ein 3D Modell der Poren- und Kluftraumverteilung hergestellt wurde. Abb. 44 (Bilder d,e,g,h) gibt einen kleinen Einblick in das animierte Modell. Die Methode hat den Vorteil, dass ein vernetztes Kluftsystem von Hohlräumen unterschieden werden kann, die nicht miteinander verbunden sind und somit der Fluidmigration nicht zur Verfügung stehen.

Eine Analyse der Einzelbilder ist jedoch mit dem Elektronenmikroskop sinnvoller, da die  $\mu$ CT-Daten nicht die entsprechende Auflösung haben. Die technischen Möglichkeiten der X8060 NDT lassen theoretisch eine Detailerkennbarkeit bis zu  $1\mu\text{m}$  zu, es konnten jedoch

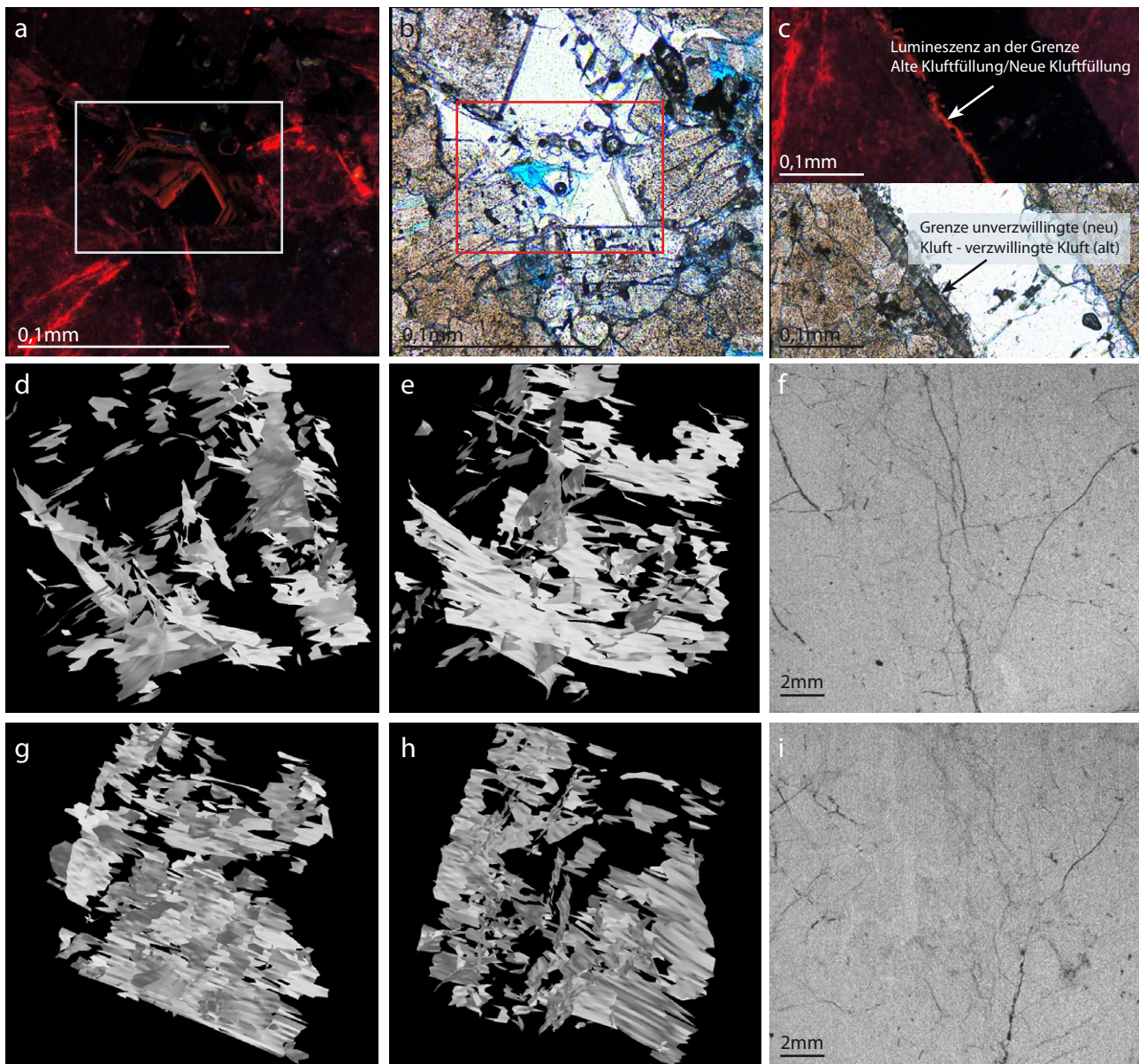


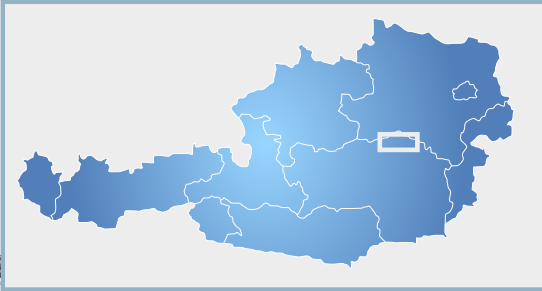
**Abb. 43** Das Viscom X8060 NDT -Röntgeninspektionsgerät; am selben Gerätetyp wurden die Messungen am Departement für Anthropologie der Universität Wien durchgeführt.

- auch bei anderen Forschungsprojekten an der Universität Wien - bei Karbonaten bisher keine besseren Auflösungen als 25µm erzielt werden. Abb. 44 f und i sind Beispiel-Röntgenbilder der Probe A1/1, die bei der µCT-Aufnahme erfasst wurden. Im Vergleich mit den Bildern aus dem Elektronenmikroskop wird deutlich, dass zum Beispiel Korngrenzen schwer erfassbar sind und die µCT-

Bilder nicht die gleiche Schärfe wie die BSED-Bilder zeigen. Auch Matrixporositäten sind bei der Auflösung von 25µm nicht erfassbar. Das zusammenhängende 3D Kluftnetzwerk der Probe lässt sich anhand der Einzelbilder auch ohne 3D Modell gut nachvollziehen.

**Abb. 44 a:** Auffällig sind die zonierten Hohlraumkristalle im mittleren Bereich des Bildes, die als einige wenige Kristalle im Dünnschliff deutliche Lumineszenz zeigen. Bild **b** dient dem Vergleich von Lichtmikroskopie und Kathodenlumineszenz. Es zeigt den selben Dünnschliffausschnitt wie Bild **a**; **c**: Vergleich zwischen Kathodenlumineszenz und Lichtmikroskopie. Die meisten Klüfte in Dünnschliff A1/1 zeigen so wie die abgebildete Kluft keine Lumineszenz. Am linken Rand der mit großen Kalziten verfüllten Kluft verläuft ein Kluft-paralleles Band verzwilligter Kalzite, die vermutlich aus einer älteren Kluftverfüllung stammen. Auffallend ist der hellrot lumineszierende Bereich zwischen den unverzwilligten Kluftkalziten und den verzwilligten Mineralen. Die Bilder **d,e,g** und **h** zeigen Ausschnitte aus dem von Alexander Rath erstellten 3D Modell des Porenraums in Handstück A1/1. Bild **f** und Bild **i** dienen als Beispielfotos der 832 Bilder der µCT-Aufnahme von Handstück A1/1. Alle Stellen, die in den Bildern schwarz bzw. dunkel erscheinen, wurden vom Röntgenstrahl als Luft erfasst und somit als Hohlraum identifiziert.





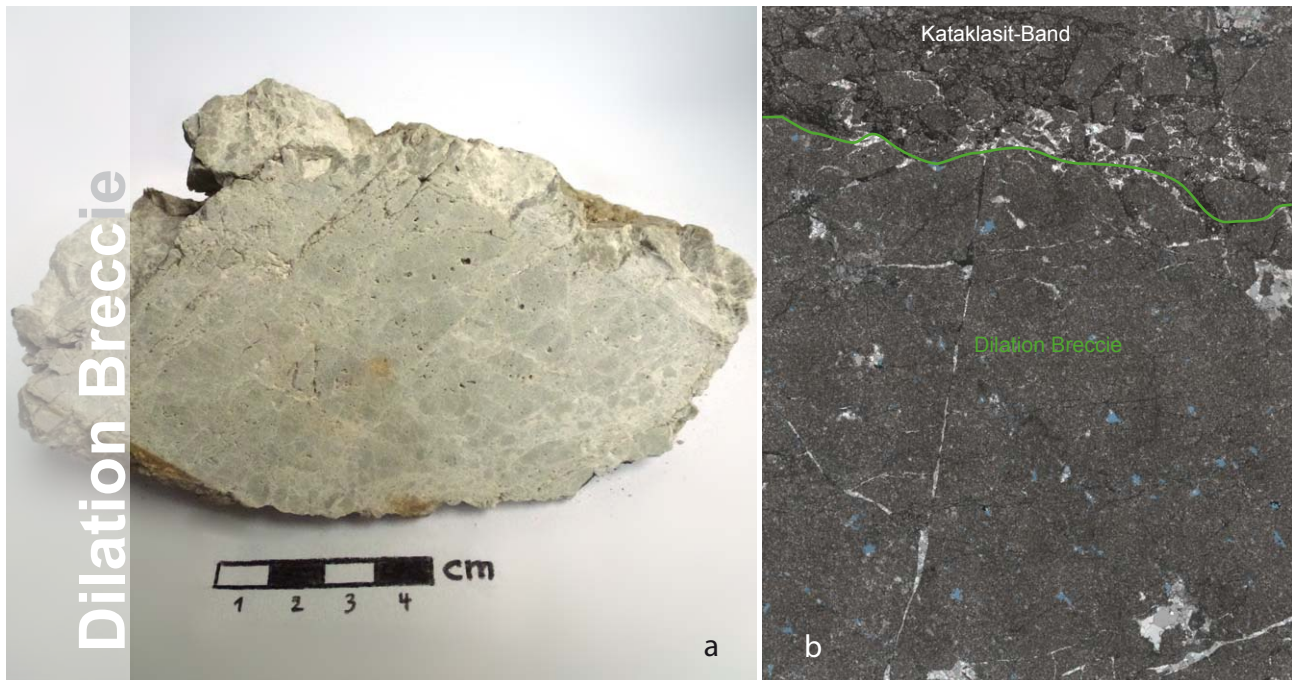
# A2



## Aufschluss A2 Saugraben



**Abb. 45** Geographische Lage (a) und Foto des Aufschlusses F15 (b) mit Kennzeichnung der Entnahmepunkte der Handstücke; eine detaillierte Aufschlussbeschreibung findet sich in Kapitel 4 Gelände, Seite 28.



**Abb. 46 a:** Handstück A2/1; **b:** Ein Dünnschlifffoto aus dem Lichtmikroskop zeigt deutlich den Übergang einer Dilation Breccie zu dem auch im Handstück beobachteten Kataklastitband; Die blauen Stellen in den Protolithkomponenten sind die mit Epoxidharz gefüllten Hohlräume.

<b>FAKTEN</b>	<b>HS A2/1</b>		
	Dilation Breccie	<b>Saugraben</b>	E M34 669.982
	Porosität: 5,7%	<b>Fault Core</b>	N GKM 283.065
	Permeabilität: 7,2mD	<b>Dolomit</b>	Wettersteinf./Ladin

### Beschreibung Handstück

Handstück A2/1 ist eine dolomitische Dilation Breccie, durch die sich - auf der Anschnittsfläche sichtbar - ein 1 cm mächtiges Band von Kataklastit 1 und 2 zieht. Die Dilation Breccie zeichnet sich durch nicht rotierte Komponenten aus, die durch kalzitisches Matrix voneinander getrennt werden („jigsaw-Puzzle-Struktur“). Die Sortierung ist extrem schlecht. Wieder weisen sowohl Matrix als auch Protolithkomponenten lösungsbedingte Hohlräume von bis zu 2mm Durchmesser auf. Das Kataklastit-Band zeigt eindeutig rotierte Komponenten, die sich nicht mehr in Zusammenhang bringen lassen. Außerdem zeichnet sich das Kataklastitband durch deutlich mehr Matrix aus.

### Beschreibung Dünnschliff

Im Dünnschliff hat das Handstück A2/1 große Ähnlichkeiten mit Handstück A1/1, wobei Bereiche mit feinkörnig zerkleinertem Protolithmaterial größer und häufiger sind als in A1/1. Deutlich sichtbar ist im Dünnschliff auch der Übergang von der Dilation Breccie zum Kataklastit (Abb. 46 b). Während Hohlräume innerhalb des Dolomitprotoliths meist offen sind und nur randlich rhomboedrisches Kalzitwachstum stattfindet, sind große Bereiche in der Matrix, vor allem an der Grenze zum Kataklastit mit großen Kalzitkristallen zementiert.

Die beobachtete Kornzerkleinerung in der Dilation Breccie scheint nicht nur durch Klüftung sondern auch durch



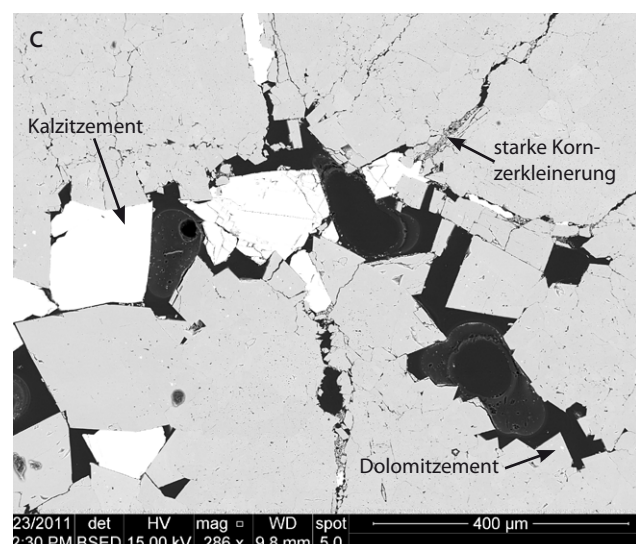
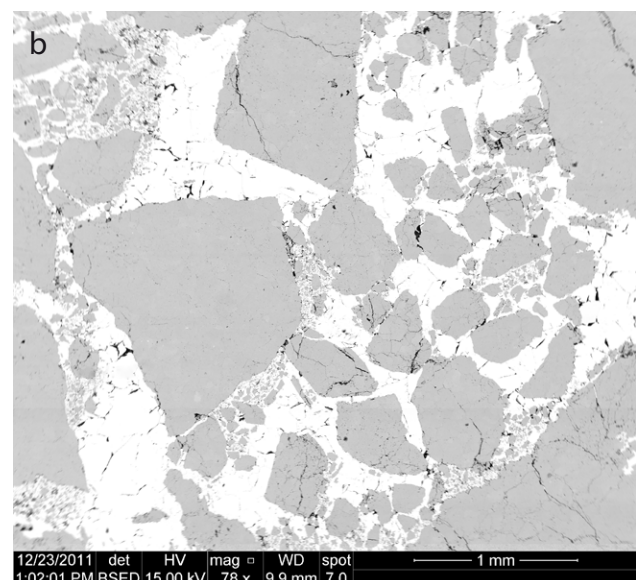
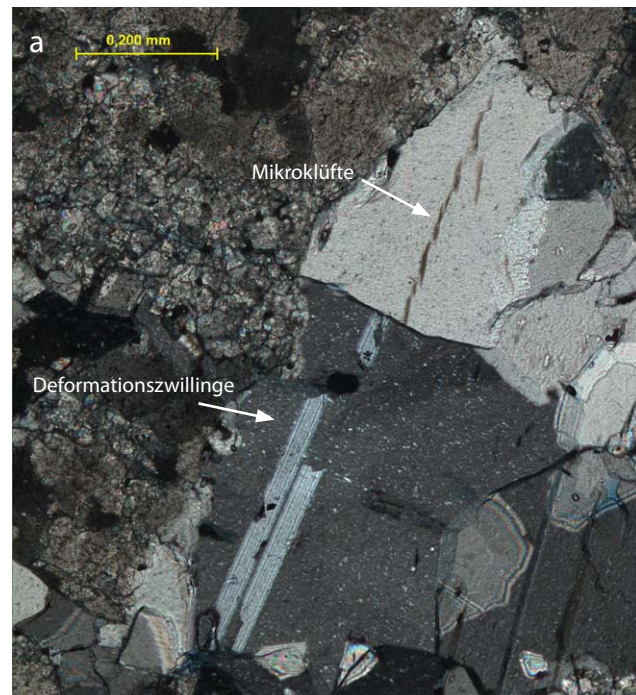
lokalisierte Deformation zu entstehen. Dafür sprechen sehr feinkörnige Bereiche, deren Umgebung von fast unzerstörtem Protolithmaterial aufgebaut wird. Vermutlich werden diese Bereiche feinen Materials bei jeder weiteren Beanspruchung erweitert, bis sie sich schließlich verbinden und somit ein Bild entsteht, als würden Protolithkomponenten in feiner Matrix schwimmen, ohne dass eine Bewegung dieser einzelnen Protolithkomponenten stattgefunden hat.

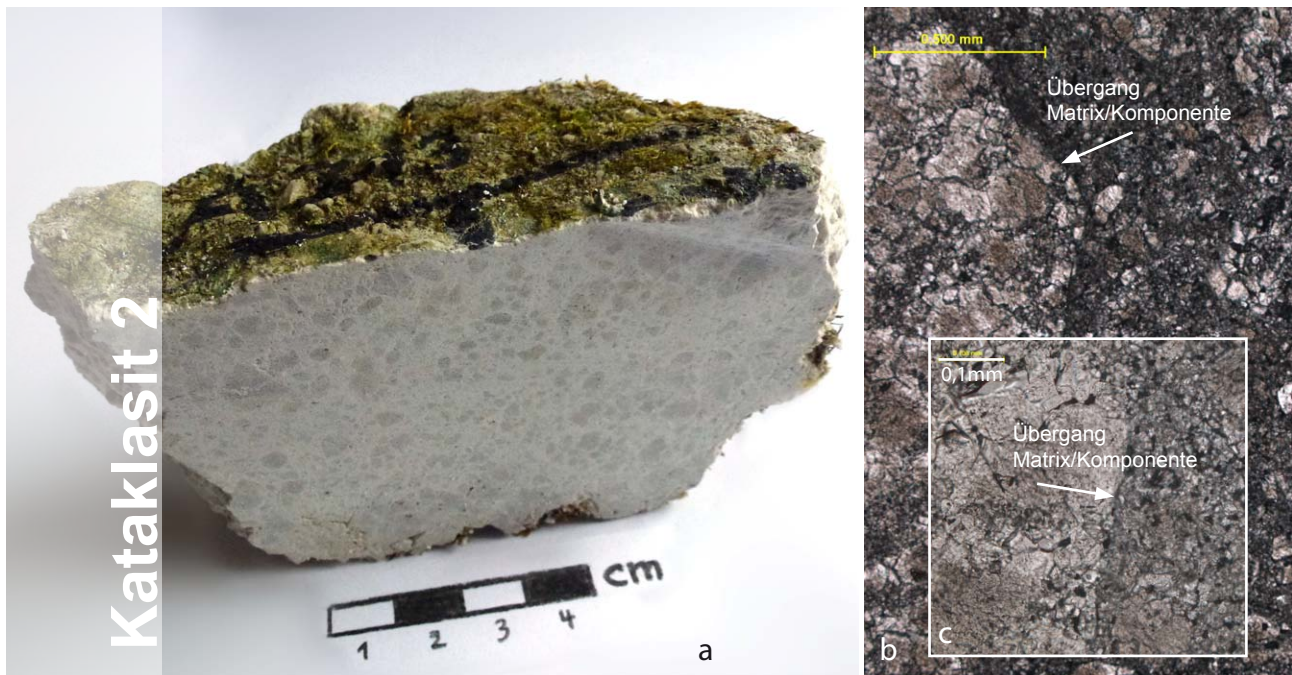
(siehe dazu auch Interpretation: Kornzerkleinerung, Seite 88) Vereinzelt sind in den größeren Kalziten Deformationszwillinge zu finden. Manche Kristalle zeigen Mikroklüfte als vermutlich beginnende Ausbildungen von Störungen (Abb. 47 a).

#### Beschreibung BSED & EDAX-Messungen

Die Untersuchung im Elektronenmikroskop ergab bei diesem Schliff keine neuen oder besonders hervorzuhebenden Erkenntnisse. Der Kalzitzement ist chemisch homogen, manche Hohlraumdolomite weisen leichte Zonierungen auf, die jedoch chemisch keine eindeutige Differenzierung zulassen. Im Kataklasitband treten orientierte Anlagerungen feinkörniger Dolomitkomponenten an größeren Protolithkomponenten in der kalzitischen Matrix auf, die als Geopetal-Gefüge interpretiert werden. Im restlichen Dünnschliffbereich existiert ein Netzwerk aus kalzitisch verfüllten und unverfüllten Klüften. In manchen Hohlräumen findet sowohl Dolomit als auch Kalzitwachstum statt (Abb. 47 c). Eine deutliche Differenzierung dieser im Gelände als Dilation Breccie bestimmten Probe von der Fracture Fazies aus Handstück A1/1 konnte nicht vorgenommen werden. Im Elektronenmikroskop wirken die Handstücke - bis auf das kataklasitische Band in diesem Dünnschliff - nahezu ident.

**Abb. 47 a:** Ausschnitt aus dem Lichtmikroskop bei gekreuzten Polarisatoren: Tektonische Zwillinge und Mikroklüfte zeigen die selbe Streichrichtung. Im Matrixausschnitt des Kataklasitbandes in Bild **b** wird abermals eine Anlagerung der kleinen Dolomitkomponenten in der Matrix beobachtet. Bild **c** zeigt einen Hohlraum, in dem sowohl Dolomit als auch Kalzitwachstum stattfindet.





**Abb. 48 a:** Handstück A2/3; **b:** Der Übergang von Protolithkomponente zu Matrix ist im Lichtmikroskop nur durch eine dunklere Farbe der Matrix sichtbar, da die Korngrößenverteilungen und somit der optische Eindruck von Matrix und Protolith sehr ähnlich sind. Bild **c** zeigt einen Komponenten-Matrix-Übergang, der noch undeutlicher ausfällt als in Bild **b**

<b>FAKTEN</b>	<b>HS A2/3</b>		
	Kataklasit Typ 2	<b>Saugraben</b>	E M34 669.982
	Porosität: 6,7	Fault Core	N GKM 283.065
	Permeabilität: /	Dolomit	Wettersteinf./Ladin

### Beschreibung Handstück

Handstück A2/3 aus dem Saugraben besteht aus hellgrauen, teilweise angerundeten, schlecht sortierten Dolomitkomponenten in einer weißlich-hellgrauen Matrix aus Kalzit (Kataklasit 2). Die kreideartige Matrix wirkt extrem porös und hinterlässt bei Berührung einen staubigen, weißen Film auf den Fingern. Das Gestein ist stark geklüftet und sandet bei Berührung ab. Größere Hohlräume fehlen, jedoch lässt die Matrixbeschaffenheit eine Annahme auf hohe Porositätswerte des Gesteins zu.

### Beschreibung Dünnschliff

Im Lichtmikroskop ist eine Abtrennung der Protolith-

komponenten von der Matrix teilweise nicht so gut möglich wie im Handstück. Manche Komponenten sind jedoch auch hier von einem deutlich dunkleren Matrixsaum umgeben - was eine gute Abgrenzung zulässt und wieder auf erhöhte Porosität schließen lässt. Der Schliff zeigt keine größeren offenen Porenräume, die meisten sind vollständig kalzitisch zementiert. Auffallend ist, dass innerhalb der Komponenten Bereiche auftreten, die sie sich durch ihre Korngrößen nicht von der feinkörnigen Matrix unterscheiden. In den Protolithkomponenten existieren vereinzelt offene Klüfte, die deutlich der Spaltbarkeit von Dolomit folgen. Diese Klüfte sind jedoch nicht verbunden und tragen wohl nicht zum nutzbaren

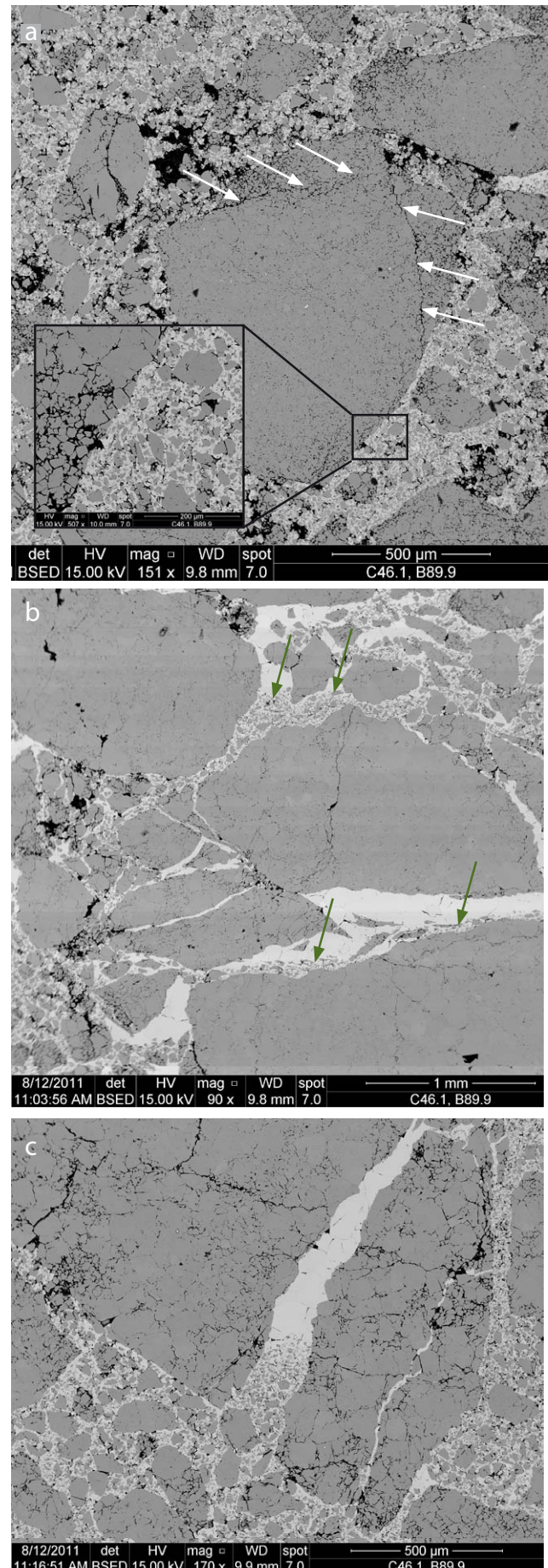
Porenvolumen bei.

### Beschreibung BSED & EDAX-Messungen

Im elektronenmikroskopischen Bild sind die Korngrenzen der Protolithkomponenten durch die Unterscheidbarkeit von Dolomit und Kalzit genau nachvollziehbar. In Abb. 49 a wird deutlich wie eine Rundung bzw. Zerkleinerung der Protolithkomponenten in diesem Gestein angenommen werden kann. Die Dolomitkomponenten zeigen randlich bereits deutliche Kornzerkleinerung, wobei die Fragmente im Gesteinsverbund verbleiben. Es ist anzunehmen, dass die markierten Bereiche der Protolithkomponente (Abb. 49 a weiße Pfeile) bei fortschreitender Deformation vom restlichen Korn gelöst werden und somit zu einem Teil der Matrix werden. Weiters kann daraus geschlossen werden, dass bei Bewegung auch an anderen Stellen der Komponente (siehe kleine Vergrößerung Abb. 49 a) Einzelkörner aus dem Gesteinsverbund gelöst werden und somit eine zunehmende Abrundung der großen Protolithkomponenten stattfindet (die wie das Elektronenmikroskop zeigt im  $\mu\text{m}$ -bereich gar nicht wirklich „rund“ ist).

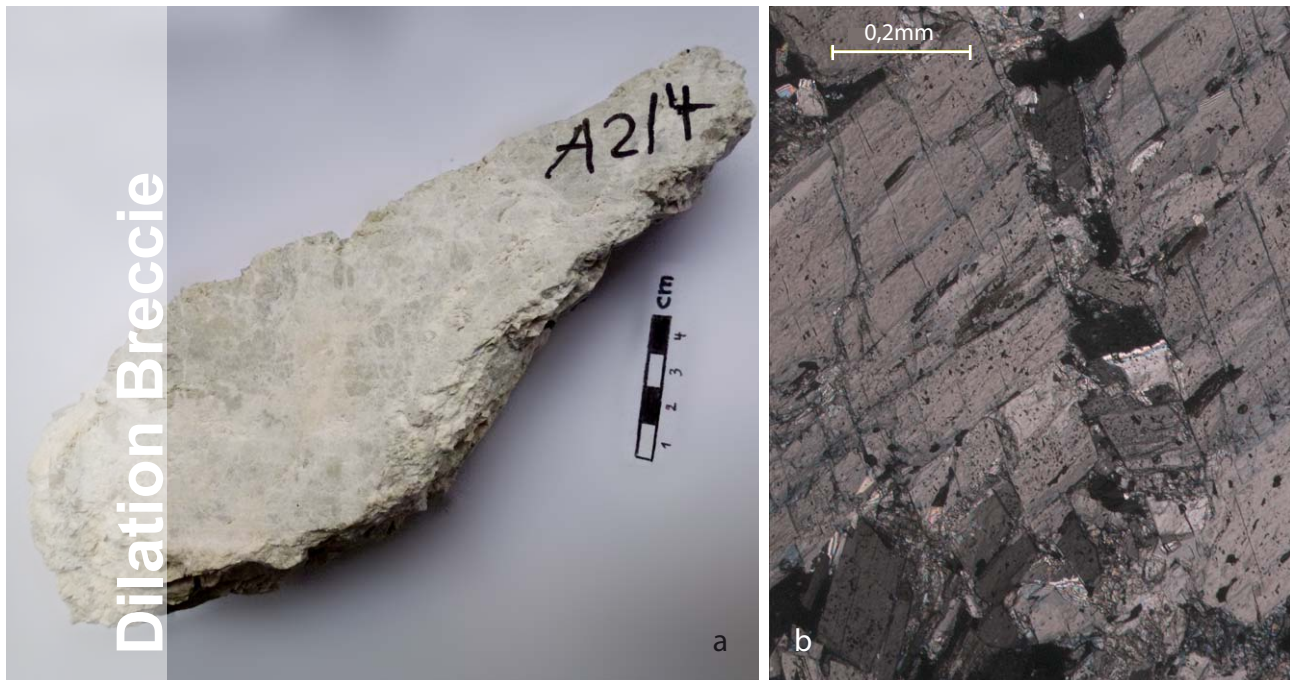
Die Probe zeigt feinkörnige Dolomitmikrokörner, die an größeren Komponenten orientiert angelagert scheinen und als Geopetal-Gefüge gedeutet werden (siehe auch Handstücke des Aufschlusses F15). Auch hier ist eine übereinstimmende Richtung dieser Anhäufungen zu beobachten (Abb. 49 b) Abb. 49 c zeigt ebenfalls ein ähnliches Phänomen, wobei es sich hier möglicherweise um eine kapillarähnliche Sogwirkung in der Kluft handelt, die eindeutig durch die Abspaltung der im Bild

**Abb. 49 a:** Ein Foto aus dem Elektronenmikroskop zeigt die Ausbildung von stark zerklüfteten Randteilen an Protolithkomponenten, die bei weiterer tektonischer Beanspruchung des Gesteins mit größter Wahrscheinlichkeit zu Matrixbestandteilen werden und somit zur „Kornrundung“ beitragen. **b:** Die Pfeile weisen auf die deutlich gerichtete Anlagerung von feinkörnigen Dolomitkomponenten in kalzitisch zementierten Hohlräumen. **c:** Abspaltung eines Protolithkomponententeiles mit scheinbarer „Sogwirkung“ auf die vorhandene Matrix. Die Kluft zeigt bis auf den Übergang zur Matrix keine Einschlüsse.



rechten Hälfte der Komponente entstanden ist. Eine weitere Interpretationsmöglichkeit dieser Struktur ist, dass es sich um einen Anschnittseffekt handelt.

Bei allen Überlegungen in diesem Zusammenhang stellt sich immer die Frage wie die Fluidinteraktion zu interpretieren ist, beziehungsweise wann die kalzitische Zementation erfolgt ist. Da mit Hilfe von EDAX-Messungen keine Veränderung der chemischen Zusammensetzung der Kalzite nachgewiesen wurde, könnte dies einerseits bedeuten, dass die Kalzite zwar über einen längeren Zeitraum gebildet wurden, jedoch das Fluid immer identischer Zusammensetzung war, oder dass eine Zementation in sehr kurzer Zeit stattgefunden hat. Es beantwortet jedoch nicht die Frage ob die Bildung der feinen Dolomitkomponenten gleichzeitig mit dem Vorhandensein eines Fluids oder davor stattgefunden hat. Wenn es sich um eine Art Sedimentation in den vorhandenen Hohlraum handelt, was die gemeinsamen Anlagerungswinkel andeuten würden, sollte das Gefüge Kornstützung aufweisen. Dies ist auch in den meisten Fällen der Fall (siehe dazu Abb. 49 a-c). Zusätzlich kommt bei der Betrachtung einer derartigen Sedimentation der Anschnittsaspekt des Dünnschliffes hinzu. Körner, die vielleicht korngestützt sind, zeigen im Dünnschliff keine Kornstützung, weil der Anschnitt nicht durch den Punkt der gegenseitigen Auflagerung geht.



**Abb. 50 a:** Foto des Handstückes A2/4; **b:** Ein Lichtmikroskopfoto des Dünnschliffes bei gekreuzten Polarisatoren zeigt deutlich den Aufbau des Gesteins aus sehr großen tektonisch beanspruchten Dolomitekristallen. Die Dolomite brechen stets an ihren Spaltflächen. In Hohlräumen sammelt sich feinkörniges Material.

<b>FAKTEN</b>	<b>HS A2/4</b>		
	Dilation Breccie	<b>Saugraben</b>	E M34 669.982
	Porosität: 5,5%	<b>Fault Core</b>	N GKM 283.065
	Permeabilität: 6,3%	<b>Dolomit</b>	Wettersteinf./Ladin

### Beschreibung Handstück

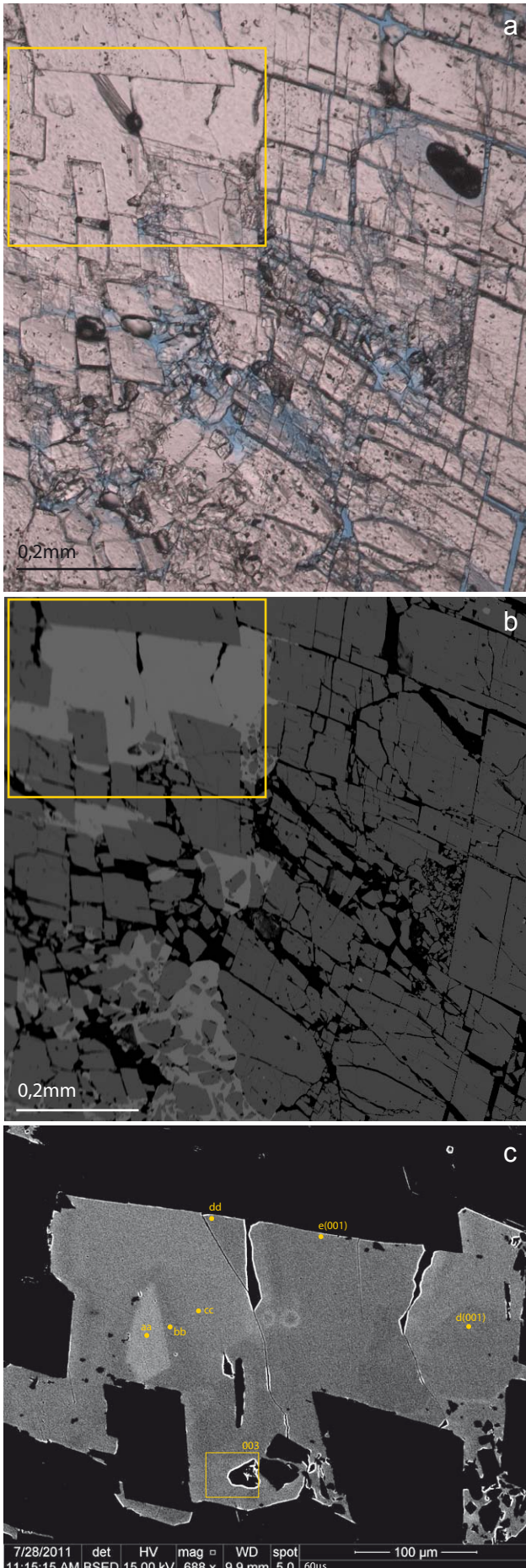
Handstück A2/4 ist eine extrem stark geklüftete dolomitische Dilation Breccie. Die Absandung bei Berührung ist noch stärker ausgeprägt als bei Handstück A2/3. Viele Klüfte sind nicht - oder nicht mehr - kalzitisch verfüllt und teilweise bis zu 1mm breit geöffnet. Zwischen dolomitischen und kalzitischen Bereichen sind makroskopisch keine scharfen Grenzen beobachtbar.

Das Handstück lässt sich durch geringe Kohäsion und Druckfestigkeit und einem damit verbundenen ständigem Absanden charakterisieren. Einzelne Komponenten können händisch weiter zerbrochen werden. Schon an der Anschnittsfläche zeigt sich eine hohe Dichte an Klüf-

ten und Hohlräumen in der Kalzitmatrix. Den größten Teil des offenen Porenraums bilden jedoch offene Klüfte.

### Beschreibung Dünnschliff

Dünnschliff 2/4 ist sehr inhomogen, zeigt jedoch ein deutlich anderes Bild als die anderen Proben des Aufschlusses A2. Viele der Dolomitkomponenten bestehen aus großen Einzelkristallen die Größen von mehreren Millimetern erreichen. Zudem ist keine feinkörnige Matrix wie in Schliff A2/3 ausgebildet. Charakteristisch sind an den Spaltflächen gebrochene idiomorphe Dolomitekristalle, die teilweise von kalzitischem Zement zusammengehalten werden. Die starke Zerklüftung und stel-



lenweise fehlender kalzitischer Zement führen zu sehr geringer Gesteinsfestigkeit und zu vermehrtem Ausbrechen von Schliffteilen durch Schliffpräparation und Schneiden der Probe. Da die Differenzierung zwischen Dolomit und Kalzit im Dünnschliff nicht möglich ist, erfolgt die weitere Beschreibung der Probe im Absatz Beschreibung BSED & EDAX-Messungen.

### Beschreibung BSED & EDAX-Messungen

Abb. 51 (links) zeigt ein Lichtmikroskopbild und BSED-Bilder des selben Dünnschliffausschnittes. Der gelb markierte Kalzitcement ist im BSED-Bild deutlich sichtbar, im Dünnschliff jedoch nicht von den Dolomiten zu unterscheiden. Auch Korngrenzen, die im Dünnschliff kaum auflösbar bzw. sehr verschwommen sind, werden im Elektronenmikroskop deutlich. In Abb.51c wurde der Kontrast verändert, um mögliche Wachstumsstrukturen in den Kalziten - verbunden mit chemischen Unterschieden im Kristall - sichtbar zu machen. Obwohl optisch Unterschiede sichtbar sind, ist die chemische Varianz so gering, dass aus den Messergebnissen keine eindeutigen Schlüsse gezogen werden können. Vermutlich handelt es sich um sehr kleine Unterschiede im CaO/MgO Gehalt.

Allgemein konnten im Schliff A2/4 jedoch drei Kalzitemente nachgewiesen werden, die leicht unterschiedliche chemische Zusammensetzungen aufweisen. Tabelle 3 gibt einen Überblick über zwei dieser unterschiedlichen Zemente.

An einer kalzitisch verfüllten Kluft (Abb. 53 a) wurden ebenfalls Messungen durchgeführt, wobei dort die Ge-

**Abb. 51 a:** Im Lichtmikroskop wird deutlich sichtbar, dass der Dolomit an den Spaltflächen zerkleinert wird. Gelb gekennzeichnete Bereich = Bild c; Bild b zeigt den selben Ausschnitt wie Bild a im Elektronenmikroskop. Es ist deutlich zu sehen, dass der Dolomit stellenweise kalzitisch zementiert ist. c: Das Bild zeigt den gelb markierten Ausschnitt aus Bild a und b. Hier wurde durch die Erhöhung des Kontrasts eine leichte Zonierung im kalzitischen Zement hervorgehoben. Die gelben Punkte zeigen an wo EDAX-Messungen durchgeführt wurden.

A2_4_001	dolomit		kluft-F		dolomit		kluft-F		kluft-F		kluft-F	
	Wt% a	Mol% a	Wt% b	Mol% b	Wt% c	Mol% c	Wt% d	Mol% d	Wt% e	Mol% e	Wt% f	Mol% f
Na2O	0,43	0,34	1,53	1,42	0,49	0,38	0,09	0,08	0,11	0,10	1,55	1,43
MgO	40,66	48,91	2,47	3,50	42,15	50,47	1,40	1,95	1,08	1,51	2,46	3,50
Al2O3	0,23	0,11	2,16	1,22	0,53	0,25	0,37	0,20	0,37	0,20	2,16	1,21
SiO2	0,14	0,11	2,24	2,13	0,19	0,15	0,16	0,15	0,16	0,15	2,20	2,09
K2O	0,14	0,07	0,88	0,54	0,00	0,00	0,00	0,00	0,19	0,11	0,84	0,51
CaO	58,26	50,37	86,65	88,49	56,64	48,75	97,98	97,63	97,28	97,39	86,96	88,72
TiO2	0,00	0,00	1,20	0,86	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,11	1,17	0,84
Cr2O3	0,00	0,00	1,06	0,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,21	0,08	1,02	0,38
MnO	0,00	0,00	0,89	0,72	0,00	0,00	0,00	0,00	0,22	0,18	0,78	0,63
FeO	0,15	0,10	0,92	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23	0,18	0,86	0,65
Total	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

**Tabelle 3** Die EDAX-Messungen der Kalzitemente in Hohlräumen und Klüften ergaben unterschiedliche Zusammensetzungen der Kalzite. Die Tabelle zeigt die Gewichts-Prozent und Mol-Prozent Anteile an Oxiden in Kalziten und Dolomiten.

wichtsprozente an CaO mit denen der anderen Messungen übereinstimmen, jedoch der Netto-Calciumgehalt (bei gleicher Messdauer) nur ein drittel beziehungsweise fast ein viertel der anderen Ca-Gehalte entspricht. (Net. Inte.: Calzit (Matrix1):1886.02; Calzit (Matrix2): 2119.38; Calzit (Kluft 3): 587.78) Diese Beobachtungen lassen darauf schließen, dass es sich um mehrere Kalzitgenerationen und mehr als ein beteiligtes Fluid handelt.

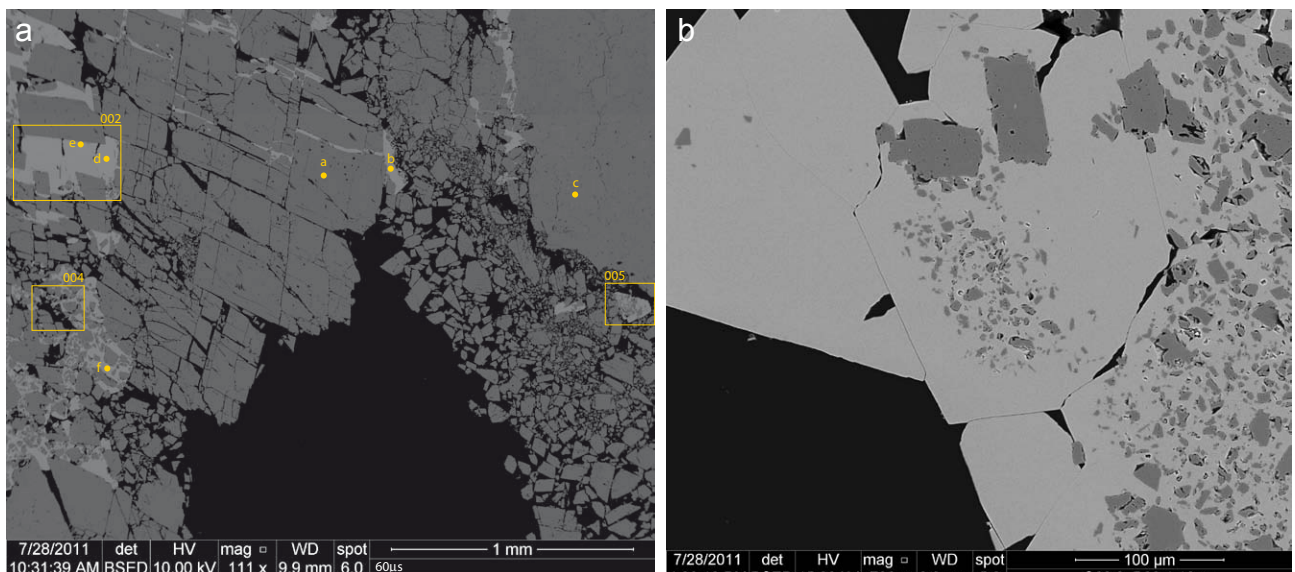
In den BSED Bildern konnten - wie in anderen vergleichbaren Proben - Ansammlungen des feinen Dolomitmaterials gefunden werden, wobei jedoch keine eindeutige, durchgehende Anlagerungsrichtung beobachtet wurde. (Abb. 52 b). In vielen Hohlräumen finden sich idiomorphe Kalzitkristalle, die dolomitische Bruchstücke um-

wachsen (Abb. 53 b) Die idiomorphen Hohlraumkalzite wurden auf Zonierungen untersucht, jedoch konnte keine chemische Differenzierung nachgewiesen werden. Möglicherweise stellt diese Form des idiomorphen kalzitischen Überwachsens von Dolomitfragmenten einen Lösungsansatz für die beobachteten „orientierten“ Ansammlungen von Dolomitmörnern dar. Dies würde die Theorie unterstützen, dass die Körner schon zuvor - ohne Zement - in den Hohlraum sedimentiert wurden und es erst nachträglich zu einer Überwachsung kam (siehe dazu auch S. 60 ad. Handstück A2/3).

**Beschreibung Kathodenlumineszenz**

Von allen mit der Kathodenlumineszenz untersuchten Dünnschliffen, zeigt der Dünnschliff von Handstück A2/4

**Abb. 52 a:** An den gelb markierten Punkten wurden Messungen des kalzitischen Zements durchgeführt, die - wie in Tabelle 3 angeführt - unterschiedliche Ergebnisse brachten. Bild **b** zeigt die Ansammlung von feinen Dolomitkomponenten in Hohlraumkalziten.

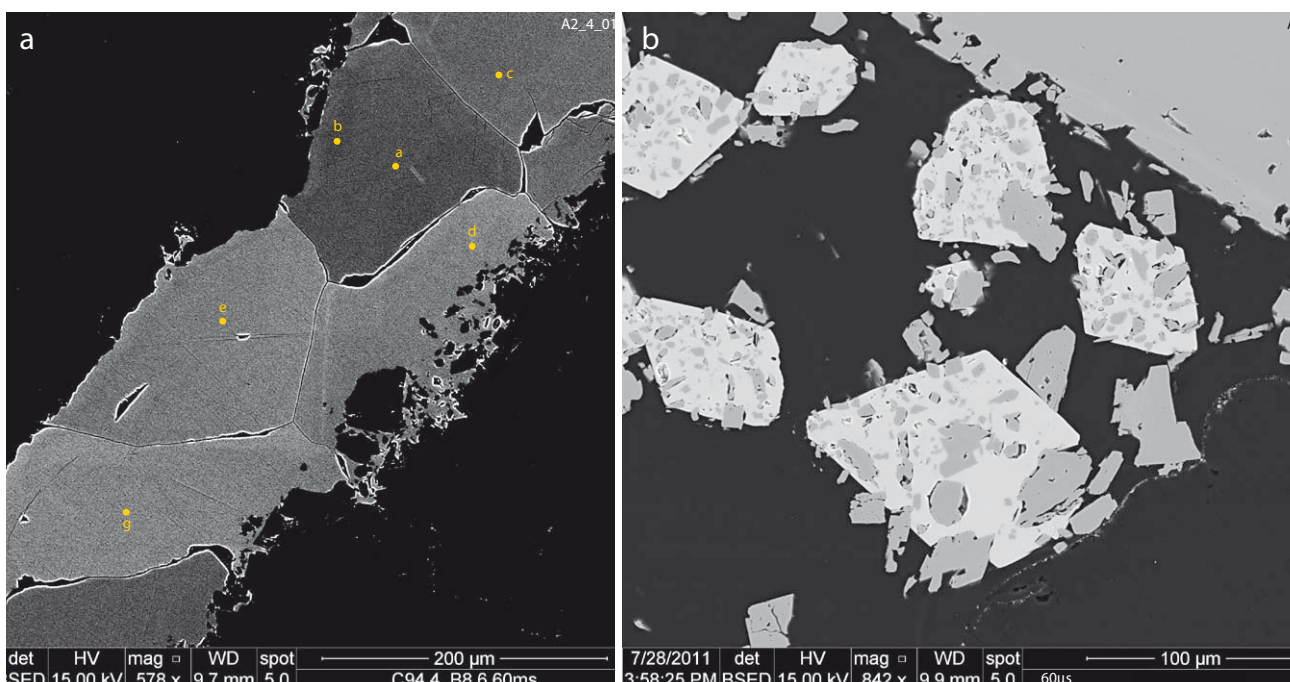


die anschaulichsten Ergebnisse. Wie in Abb. 54 dargestellt, zeigen einige Kalzite gut nachvollziehbare Zonierungen, die vermutlich auf Änderungen im Porenwasserchemismus zurückzuführen sind. Vermutlich kommt es hier durch den erhöhten Einbau von  $\text{Fe}^{2+}$  zu stärkeren Lumineszenzerscheinungen in einigen Wachstumszonen. Die fast schwarz wirkenden Zwischenbereiche zeugen hingegen von keinem  $\text{Mn}^{2+}$  oder  $\text{Fe}^{2+}$ -Einbau. Die unterschiedliche Kathodenlumineszenzcharakteristik belegt daher so wie die Ergebnisse der EDAX-Messungen die Ausbildung von unterschiedlichen kalzitischen Zementen.

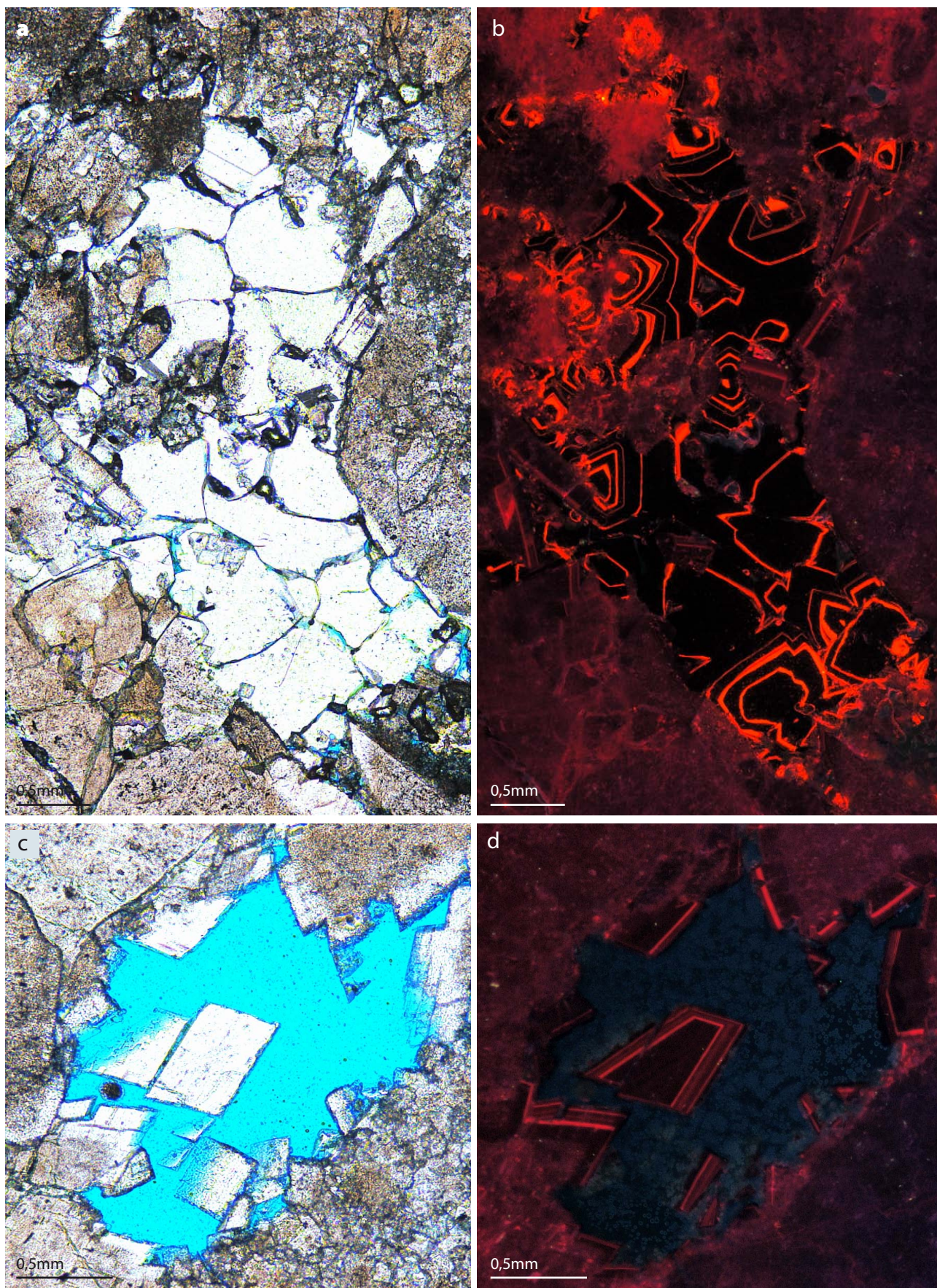
Auch in den dolomitischen Hohlraumzementen konnten Chemismusänderungen während des Kristallwachstums nachgewiesen werden. Abb. 54 d zeigt homogene dunkle Kristallkerne mit bis zu fünf-zonigen verschieden stark lumineszierenden Rändern. Weiters zeigen die Zonierungen auch schön die Zusammengehörigkeit der beiden sich in der Mitte des Hohlraums befindenden Kristallteile. Während man im Lichtmikroskop glauben könnte, es handle sich um verschiedene Kristalle, wird durch die Ka-

thodenlumineszenz - aufgrund der Zonierung - sichtbar, dass es sich um denselben Kristall handelt, der zerbrochen und leicht versetzt wurde. Dies belegt wiederum, dass Deformation nach der Zementierung stattgefunden hat.

**Abb. 53 a:** Eine Kluft weist bei starker Erhöhung der Kontrastwerte scheinbar verschiedene chemische Zusammensetzung von Kalzitcement auf. Die gelben Punkte markieren die EDAX-Messungen. Das Bild soll als Beispiel dienen, dass zwar optisch oft Unterschiede in den Kalzitgrauwerten beobachtet wurden, jedoch nicht immer auch ein chemischer Nachweis dieses Phänomens erbracht werden konnte - da die EDAX-Messungen in diesem Fall keine chemischen Schwankungen zeigten. **b:** rhomboedrische CaO-reiche Kristalle, überwachsen dolomitische Fragmente.







**Abb. 54** **a:** Lichtmikroskopaufnahme eines kalzitisch verfüllten Hohlraumes, die zum Vergleich mit der Kathodenlumineszenzaufnahme erstellt wurde; **b:** Lumineszierende Kristalle des selbigen Bildausschnittes wie in Bild a. Deutliche, hellrote Säume deuten auf vermehrten Mn<sup>2+</sup> Einbau und fehlenden Fe<sup>2+</sup> Einbau in die Kristallstruktur; Bild **c** und **d** stellen abermals ein Lichtmikroskop/Kathodenlumineszenz-Vergleichs-Paar dar. Die Kristalle in Bild **d** zeigen keine Zonierung im Kern, dafür starke Zonierung im äußeren Kristallbereich.



**Abb. 55 a:** Handstück A2/5; **b:** Das Foto aus dem Lichtmikroskop zeigt einen idiomorphen Dolomit in einer sonst ausschließlich kalzitisch zementierten Kluft. Die bräunlichen feinkörnigeren Bereiche sind Protolithkomponenten.

<b>FAKTEN</b>	<b>HS A2/5</b>		
	Katkl. 1 und 2/ Dilation Breccie	<b>Saugraben</b>	E M34 669.982
	Porosität: 3,9%	<b>Fault Core</b>	N GKM 283.065
	Permeabilität: /	<b>Dolomit</b>	Wettersteinf./Ladin

### Beschreibung Handstück

Handstück A2/5 wird - wie A2/4 - als hellgraue, dolomitische Dilation Breccie klassifiziert werden. Die starke Klüftung und die Erosion der Kluftfüllungen an der Oberfläche der Probe machen das Handstück anfällig für Abсандung bei Berührung (auch größerer Bruchstücke), es ist jedoch allgemein kompakter als Handstück A2/4. An der Anschnittsfläche ist eine Vielzahl isolierter rundlicher Hohlräume (<1mm) zu erkennen, die vorwiegend an die Dolomitkomponenten gebunden zu sein scheinen. Eine Zählung ergab ca. 34 dieser Öffnungen pro 1cm<sup>2</sup>. Auffallend ist, dass in der Anschnittsfläche die Dolomitkomponenten gerundet sind, während sie an der angewitterten Oberfläche eindeutig eckig herauswittern.

### Beschreibung Dünnschliff

Wieder ist im Dünnschliff eine Abgrenzung der Komponenten von der Matrix schwierig, da die Komponenten oft scheinbar fließende Übergänge in die Matrix zeigen. Die Ursache für dieses Erscheinungsbild ist die teilweise sehr starke Kornzerkleinerung in den Protolithkomponenten. Eine optische Unterscheidung von der Matrix ist daher nicht mehr möglich. Nur in Bereichen, in denen die Matrix um Größenordnungen feiner ist, beziehungsweise sparitischen Zement enthält, ist eine scharfe Grenze zu den Komponenten sichtbar.

Im Großteil der Hohlräume findet idiomorphes Dolomitkristallwachstum statt. Die meisten Klüfte innerhalb der Komponenten sind zementiert.

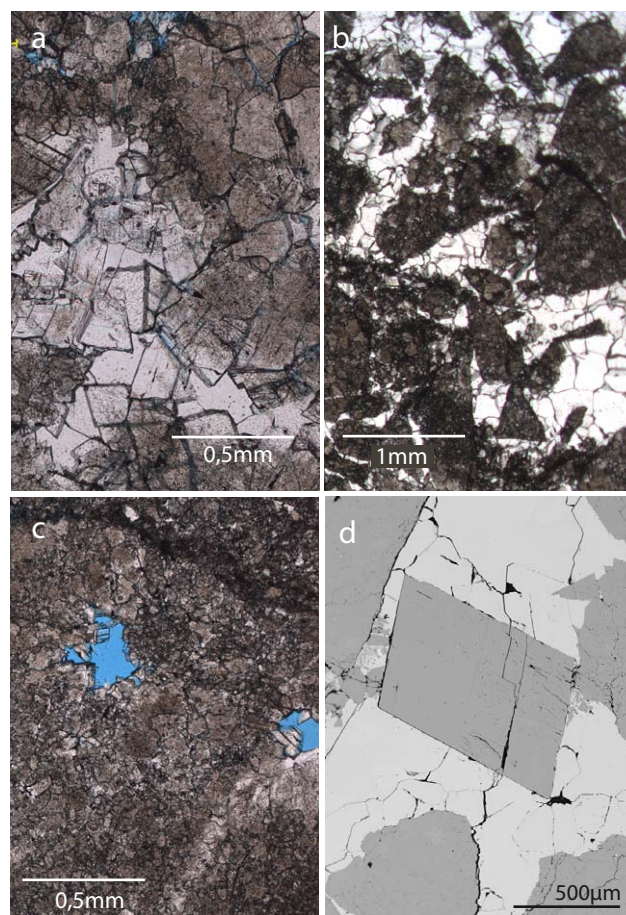
Auffallend ist, dass in einem großen Bereich, der von xenomorphem kalzitischem Zement geprägt ist, auch idiomorphe Dolomitmikrokristalle auftreten (Abb. 55 b). Aus Beobachtungen anderer Dünnschliffe kann geschlossen werden, dass zuerst der Dolomit gebildet wurde und dann eine kalzitische Zementation einsetzte. Im Dünnschliff zeigt sich außerdem eine deutliche Blaufärbung besonders feiner Matrixbereiche, die auf hohe Matrixporosität mit kleinem Porendurchmesser hinweist. Vereinzelt treten offene Klüfte auf.

### Beschreibung BSED & EDAX-Messungen

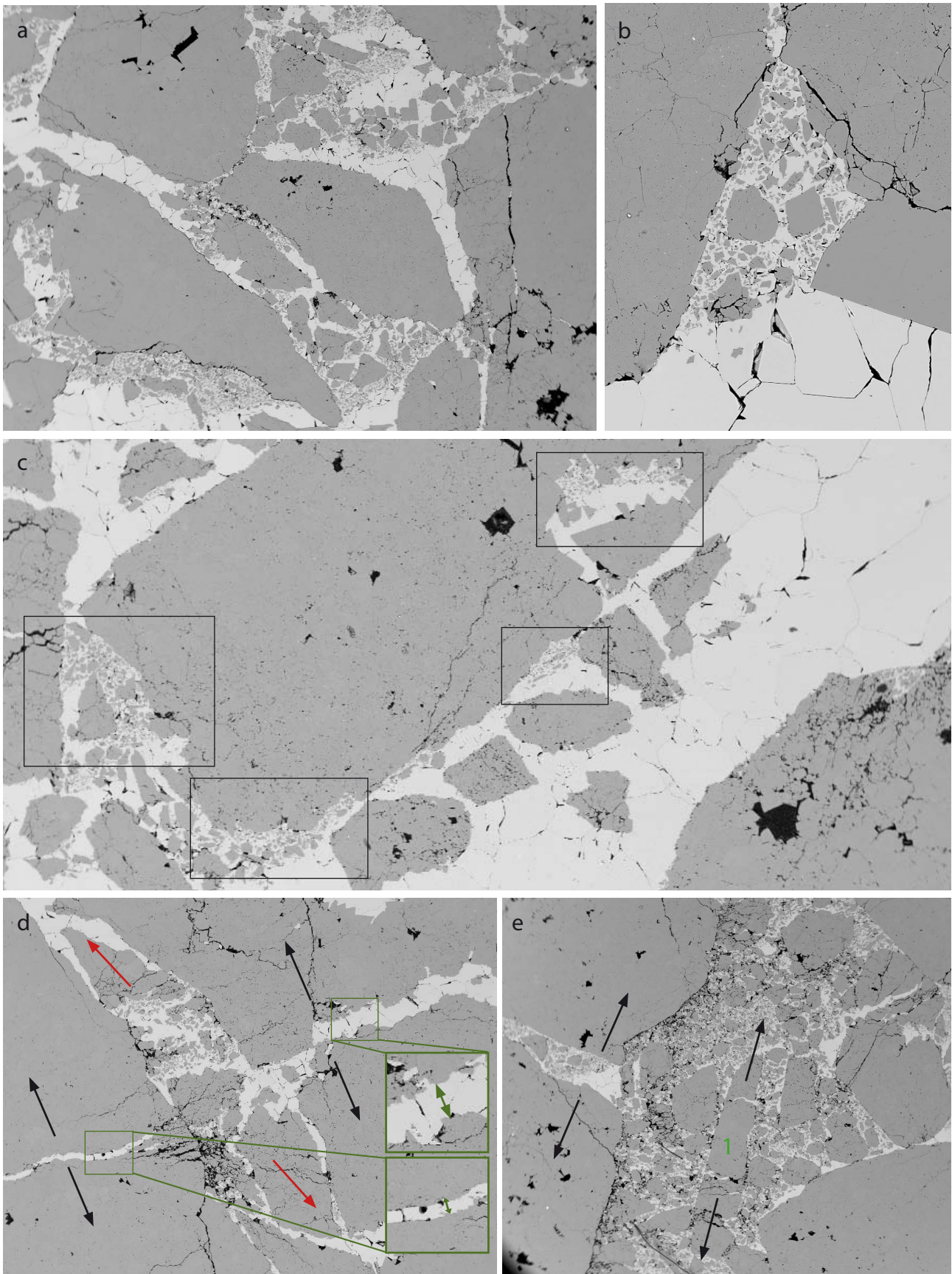
Sowohl im Lichtmikroskop als auch im Elektronenmikroskop wird die Problematik einer Klassifizierung des Gesteins aufgrund des Handstückes sichtbar. Schon in einem so kleinen Ausschnitt wie dem Dünnschliff (40x40mm) zeigt das Gestein bis zu 3 verschiedene Störungsgesteinsklassen (Abb. 56 a-c). In Dünnschliff A2/5 ist das schon mehrmals beschriebene Phänomen der orientierten Anlagerung feinkörniger Dolomitfragmente in der Matrix (Korngrößen von 1µm-50µm) besonders deutlich zu beobachten (siehe auch BSED-Beschreibungen A2/4, A2/3 und F15/4). Die Bilder a-c in Abb. 57 stellen drei Beispiele dieses Phänomens dar. Wie in den genannten anderen Proben ist eine vorherrschende Richtung auffällig. Sparitisches Kalzit zementiert überwächst die Körner. Es ist zu beobachten, dass die sparitischen Zementkristalle im Bereich der Dolomitfragmente kleiner sind, als weiter entfernt davon (Abb. 57 b).

Im Elektronenmikroskop ist deutlich zu sehen, dass die Charakteristik einer Dilation Breccie - zumindest im Großteil des Schliffes - erfüllt ist. Einige Schliffbereiche zeigen jedoch Komponentenrundung und Rotation, was laut Klassifikation eher einem Kataklasit entsprechen würde. Abb. 57 d und e zeigen Bereiche, in denen keine Rotation der Komponenten stattgefunden hat. Die Pfeile markieren die Extensionsrichtungen des Aufbrechens der Komponenten. Eine Berechnung der Volumenzunahme aus

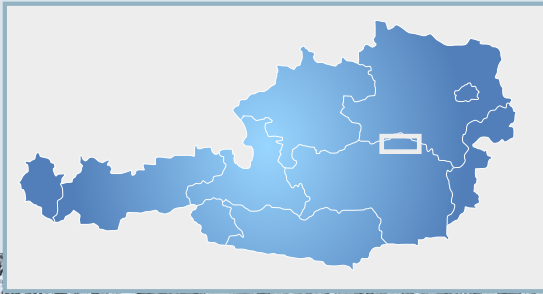
den neu entstandenen zementierten Zerrspalten scheint nicht sinnvoll da Abb.57 d deutlich zeigt (grüne Pfeile), dass durch eine Kluft in der Mitte des Bildes, die Komponente rechts im Bild deutlich breiter „gedehnt“ wird als die Komponente links im Bild. Dies hängt möglicherweise mit der Komponentengröße und dem - dem Aufreißen durch das Fluid entgegenwirkenden - Druck der auf die Komponente durch Auflast einwirkt zusammen. Zudem ist anzunehmen, dass ein Transfer zu anderen Zerrspalten stattfindet. Auch die Komponente in der Mitte von Abb. 57 d - markiert mit roten Pfeilen in Bewegungsrichtung - lässt eine Interpretation als durch die Extension auseinandergerissene Protolithkomponente zu. Auch in Abb.57 e lässt sich die Streckung der Komponenten sehr gut nachvollziehen. *Billi, 2010* beschreibt ähnliche Strukturen in Karbonaten. Siehe dazu: Interpretation Kornzerkleinerung, Seite 88.



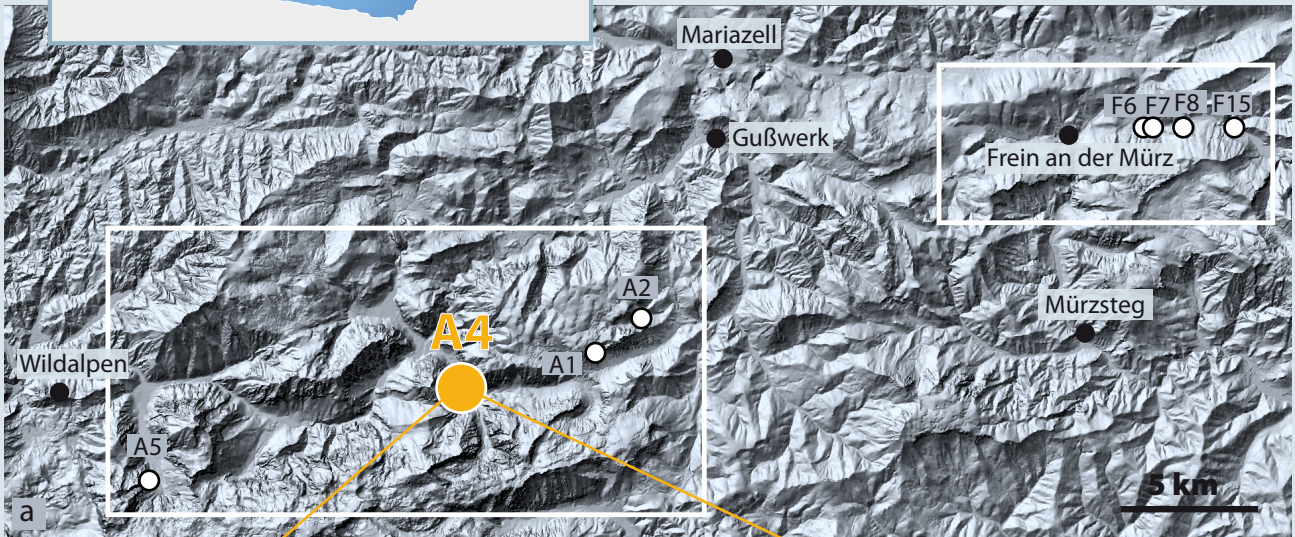
**Abb. 56 a-c:** Die Bilder sollen die Inhomogenität des Schliffes verdeutlichen **d:** idiomorphes Dolomitmikrokristallwachstum in einem Hohlraum, der vollständig mit Kalzit zementiert ist.



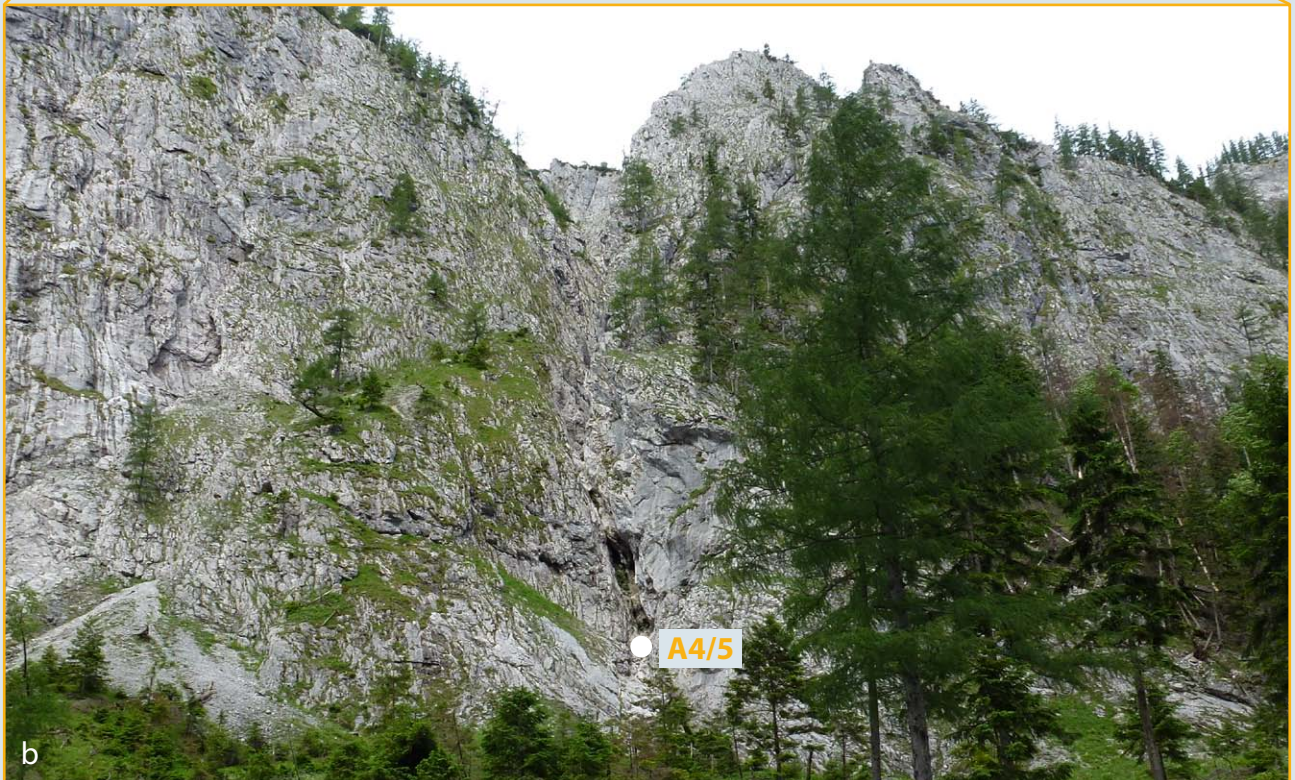
**Abb. 57 a:** Die Anlagerung feinen dolomitischen Materials an größeren Protolithkomponenten weist eine vorherrschende Richtung auf; **b:** Das Bild zeigt deutlich, dass sich die Dolomitkörner über mehrere Kalzitkristalle erstrecken; es existiert also keine deutliche Abgrenzung zwischen Dolomit und Kalzitcement. **c:** Wieder zeigen die Markierungen die Ansammlung des feinen Dolomitmaterials. Die Anlagerungsrichtung stimmt mit a und b überein **d:** Beispiele für Extension in einer Dilation Breccie; **e:** Die Protolithfragmente werden hier durch Zerbrecchen und kalzitische Zementierung förmlich „auseinandergerissen“.



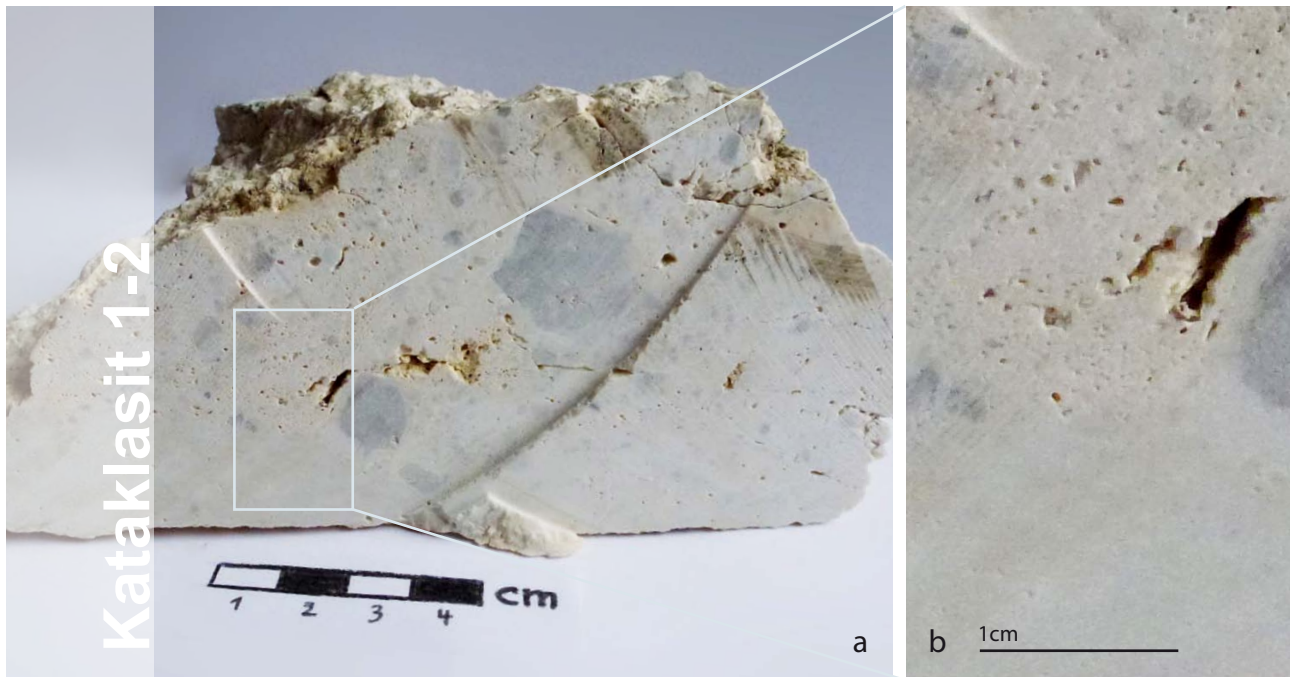
# A4



## Aufschluss A4 Unterer Ring



**Abb. 58** Geographische Lage (a) und Foto des Aufschlusses A4 (b) mit Kennzeichnung des Entnahmepunktes der Handstückes A4/5; eine detaillierte Aufschlussbeschreibung findet sich in Kapitel 4 Gelände, Seite 21.



**Abb. 59 a:** Anschnittsfläche des Handstückes A4/5; **b:** Vergrößerung des Übergangs von Komponenten- und Hohlraum-reichem-Proben-Teil (oberer Bildbereich) zu dem Bereich der Probe, der weder Komponenten noch vermehrt Hohlräume zeigt (unterer Bildbereich).

<b>FAKTEN</b>	<b>HS A4/5</b>		
	Kataklasit Typ 2	<b>Unterer Ring</b>	E M34 664.220
	Porosität: 3,8 %	<b>Fault Core</b>	N GKM 278.550
	Permeabilität: /	Kalk	Wettersteinf./Ladin

### Beschreibung Handstück

Handstück A4/5 stammt aus dem Störungskern einer Störung am Unteren Ring. Die Klassifizierung ist schwierig, da das Handstück sehr inhomogen ist. An der Anschnittsfläche zeigen sich 2 große (1cm und 2cm Durchmesser) dunkelgraue, eckige Komponenten mit beginnender Kantenrundung. Weiters treten kleinere (0,5-1mm Durchmesser), gerundete, dunkle Komponenten, vereinzelt auch weiße Komponenten in relativ viel Matrix auf (Abb. 59). Die Matrix weist im gesamten Handstück einen gelblich-/orangefarbenen Farbton auf. Auffallend ist auch, dass ein Teil des Kataklasites extrem viele Hohlräume aufweist, wobei der größte Hohlraum - in der Mitte der

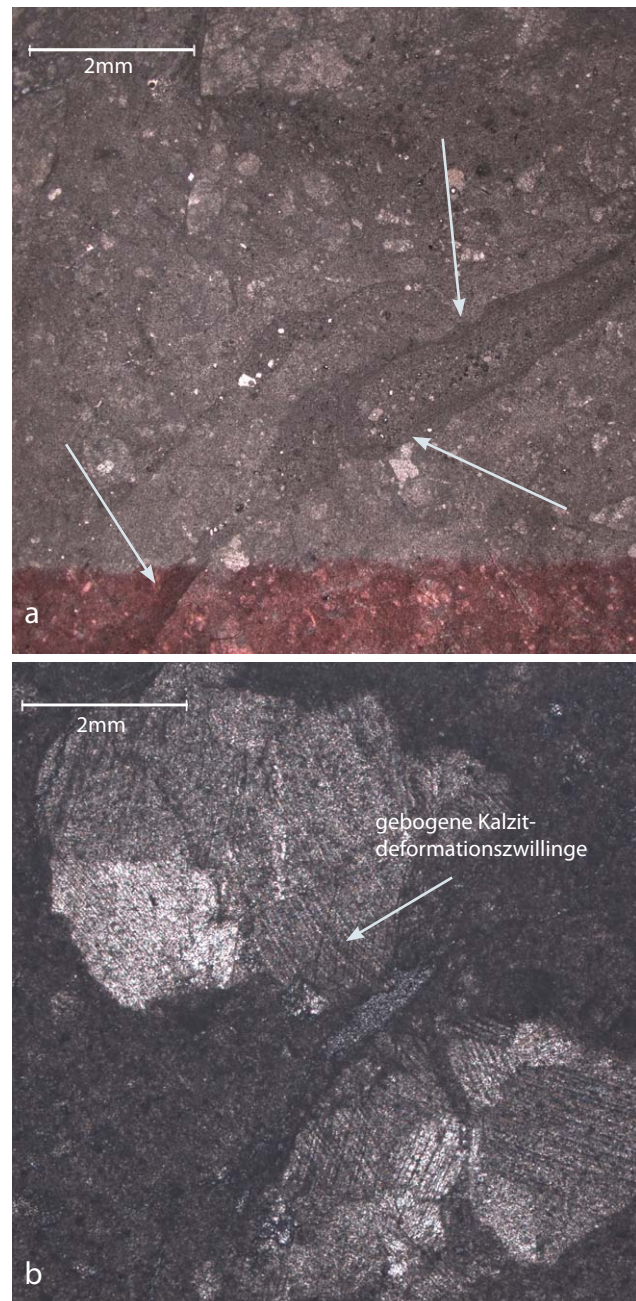
Probe - 2,5cm lang und bis zu 3mm breit ist. Im unteren Drittel der Probe ist sowohl die Anzahl der Protolithkomponenten, als auch die Anzahl an Hohlräumen deutlich geringer (Abb. 59).

Aufgrund der großen Anzahl an gerundeten Protolithkomponenten in relativ viel Matrix ist eine Zuordnung des Handstückes zum Kataklasit Typ 2 am Sinnvollsten.

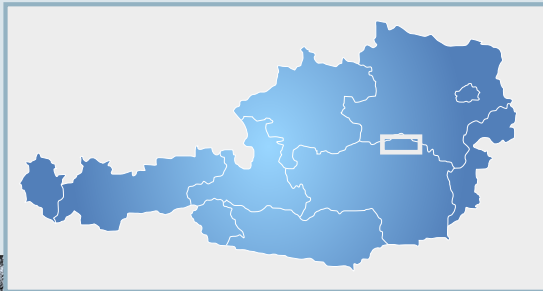
### Beschreibung Dünnschliff

Von Handstück A4/5 existieren 3 Dünnschliffe, wobei alle Schliffe halbseitig nach der Färbemethode von *Evamy & Shearman (1962)* und *Dickson (1966)* gefärbt wurden. Die Methode lässt bereits im Lichtmikroskop eine erste

Unterscheidung von Dolomit (farblos) und Kalzit (rot) zu. Die Dünnschliffe wurden ursprünglich für die Arbeit von *Bauer, 2010* hergestellt, haben normales, kleines Dünnschliffformat, wurden nicht poliert und sind - wie auch die Lichtmikroskopbilder zeigen - deutlich unklarer und schwerer zu interpretieren, als alle zuvor angeführten Dünnschliffe. Trotz der schlechten Dünnschliffqualität, fallen schon im Lichtmikroskop sehr feinkörnige Bereiche auf, die sich fast schlierenartig von größeren Komponenten absetzen (Abb. 60 a). Stellenweise erinnern die Dünnschliffe dieses Handstückes sehr an Handstück F7/1 und F7/3, bei denen jedoch idiomorphe und fein verwachsene Dolomitekristalle die Matrix aufbauen. Ob es sich hier möglicherweise um ein ähnliches Phänomen handelt, könnte nur im Elektronenmikroskop festgestellt werden. Dafür müssten jedoch neue Schliffe angefertigt werden, da die vorhandenen bereits zu dünn für eine nachträgliche Politur sind. Weiters konnten - ebenfalls ähnlich den Handstücken des Aufschlusses F7 - unter den Hohlräumverfüllungen Deformationszwillinge entdeckt werden.



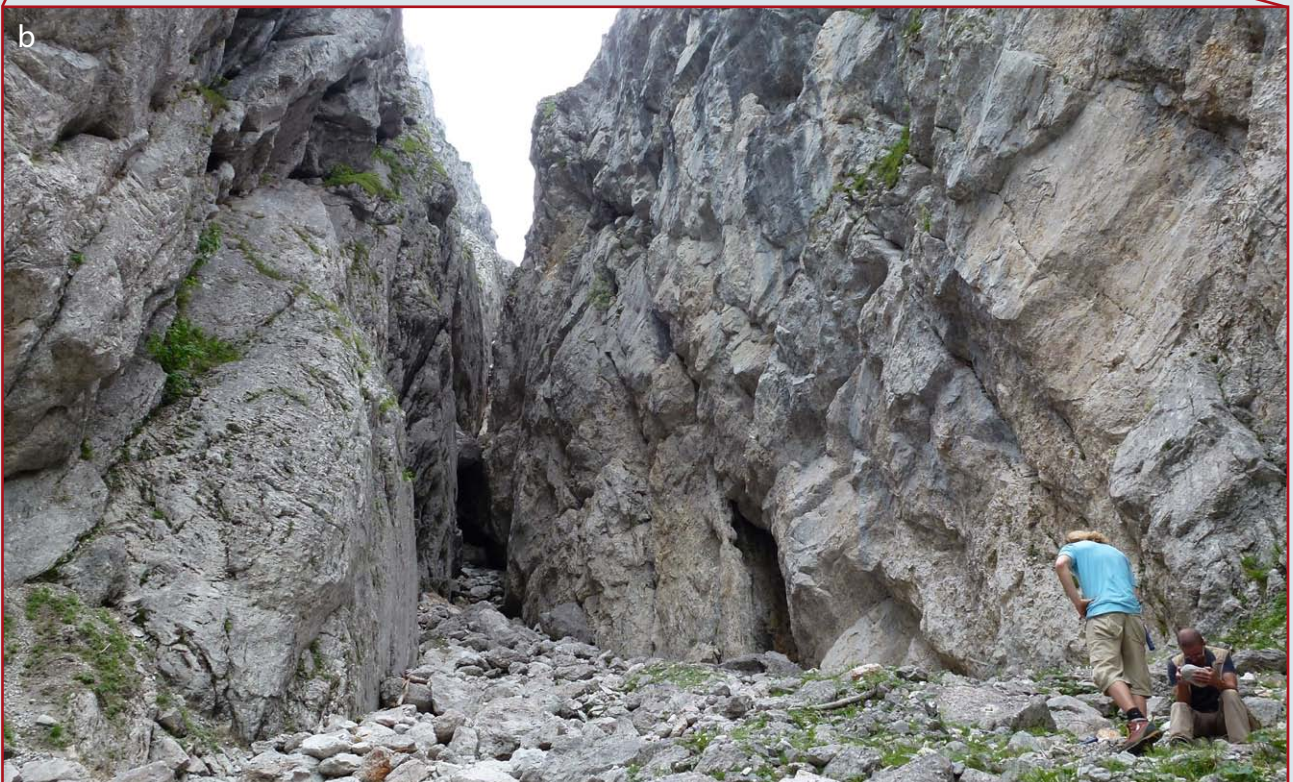
**Abb. 60 a:** Im Lichtmikroskop fallen sehr feinkörnige, schlierenartig geformte Matrixbereiche auf. Die Pfeile zeigen die Grenzen eines solchen Bereiches. **b:** Als Protolithkomponenten finden sich in der Matrix immer wieder verzwilligte Kalzite. Die feine Zeichnung der dünnen, teils gebogenen Zwillingslamellen ist aufgrund der schlechten Schliffpräparation nur schwer erkennbar.



# A5

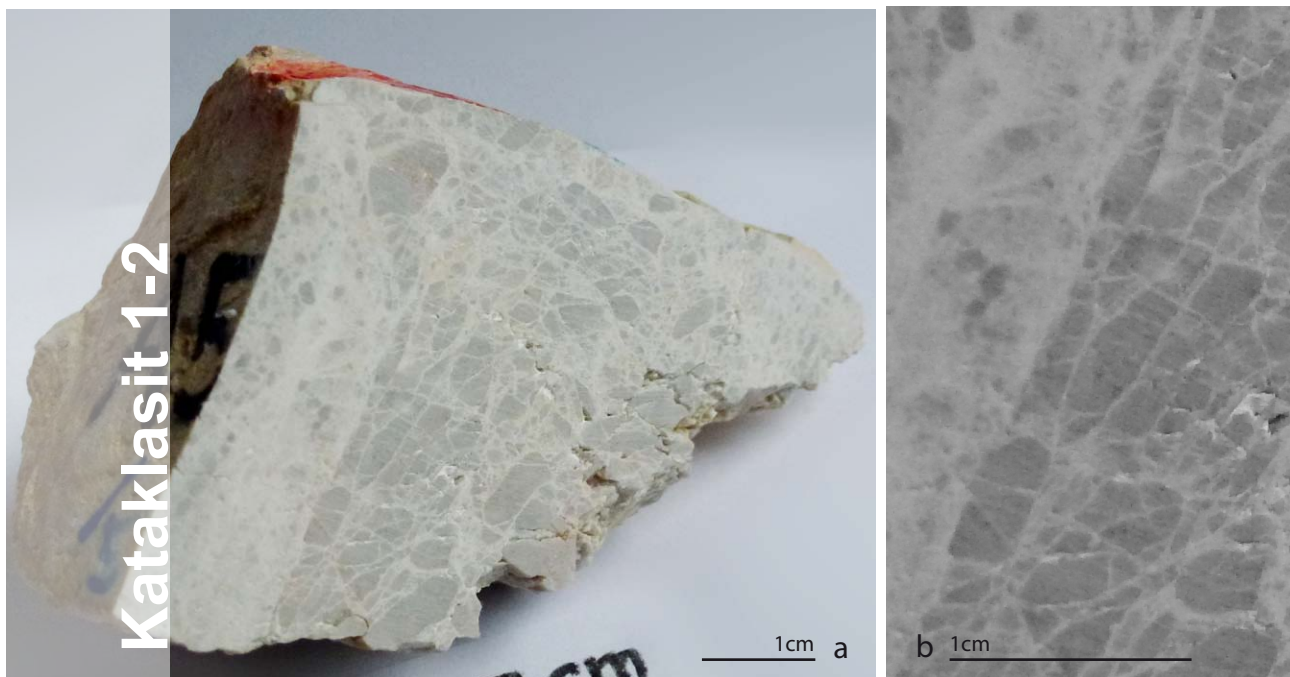


## Aufschluss A5 Griesgassl



**Abb. 61** Geographische Lage (a) und Foto des Aufschlusses A5 (b); eine detaillierte Aufschlussbeschreibung findet sich in Kapitel 4 Gelände, Seite 22.





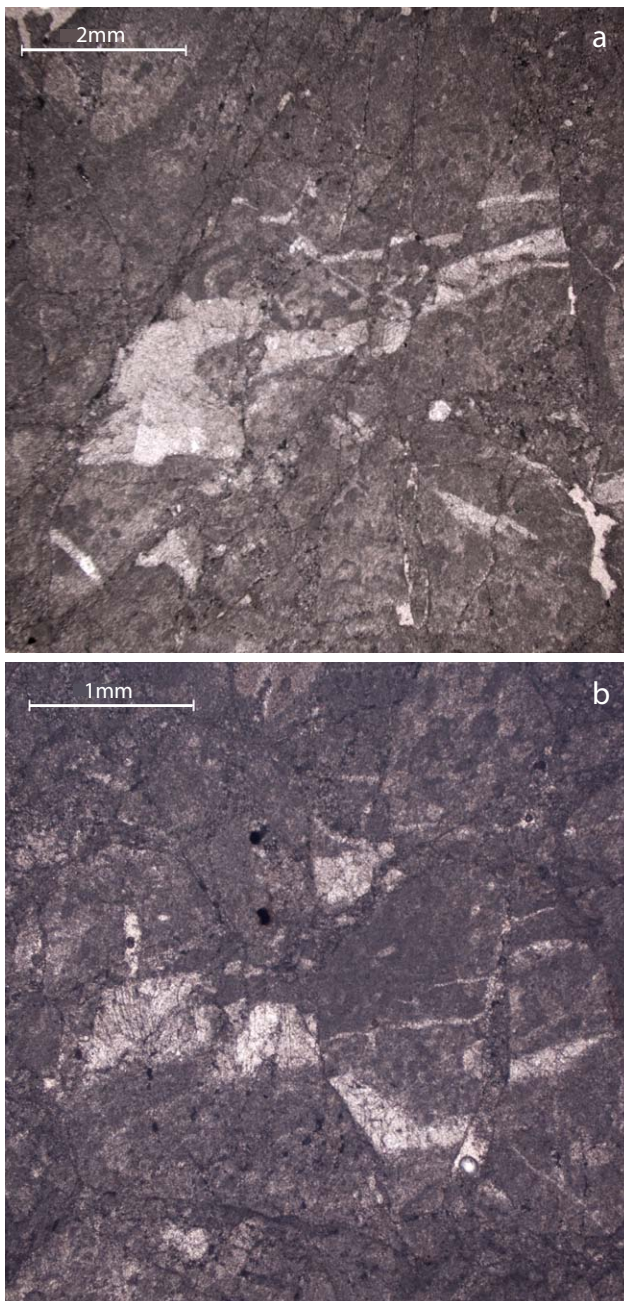
**Abb. 62 a:** Der Anschnitt des Handstückes A5/5 zeigt deutlich den oft sehr inhomogenen Aufbau von Störungsgesteinen. Die Komponenten der Dilation Breccie zeigen Rundung und werden von Klüften weiter zerkleinert. Bild **b** zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus der Anschnittsfläche des Handstückes.

<b>FAKTEN</b>	<b>HS A5/5</b>		
	Dil.Brecc./Kataklasit 1-2	<b>Giesgassl</b>	E M34 653.400
	Porosität: 4,0 %	<b>Fault Core</b>	N GKM 277.300
	Permeabilität: /	Kalk	Wettersteinf./Ladin

### Beschreibung Handstück

Handstück A5/5, das bereits von *Bauer, 2010* als „Übergang einer dilation Breccie zu einem Kataklasit Typ1 und Kataklasit Typ2“ beschrieben wurde, zeigt weiters eine Harnischfläche mit deutlicher Lineation an einer nicht angeschnittenen Seite des Handstückes. Von dieser Harnischfläche ausgehend lässt sich an der angeschnittenen Fläche eine 1,1cm breite Zone beschreiben, deren dunkle, gut gerundete Protolithkomponenten eine Größe von <2mm aufweisen. Die Komponenten sind rotiert; der Matrixanteil ist hoch. Dann verläuft nahezu parallel zur Harnischfläche die Grenze zu deutlich größerem (bis 7cm Durchmesser) Protolithmaterial. Die Kornzusammenge-

hörigkeit der geklüfteten Komponenten ist eindeutig nachvollziehbar - die Komponenten sind trotzdem teilweise sehr gut angerundet. Getrennt werden die Protolithfragmente durch ein engmaschiges Netz aus kalzitisch zementierten Zerrspalten. Immer wieder treten Bereiche auf, in denen die Kornzerkleinerung noch weiter vorangeschritten ist und deutlich mehr Matrix zwischen den dunklen, kleineren Komponenten liegt. Diese Dilation Breccie geht schließlich wieder in einen Bereich über, der der Zone entlang der Harnischfläche - nämlich einem Kataklasit 2 - entspricht. Viel Matrix und kleine, gut gerundete Komponenten definieren diesen Bereich. *Bauer, 2010* führt diesen Aufbau der Probe als ein Beispiel für



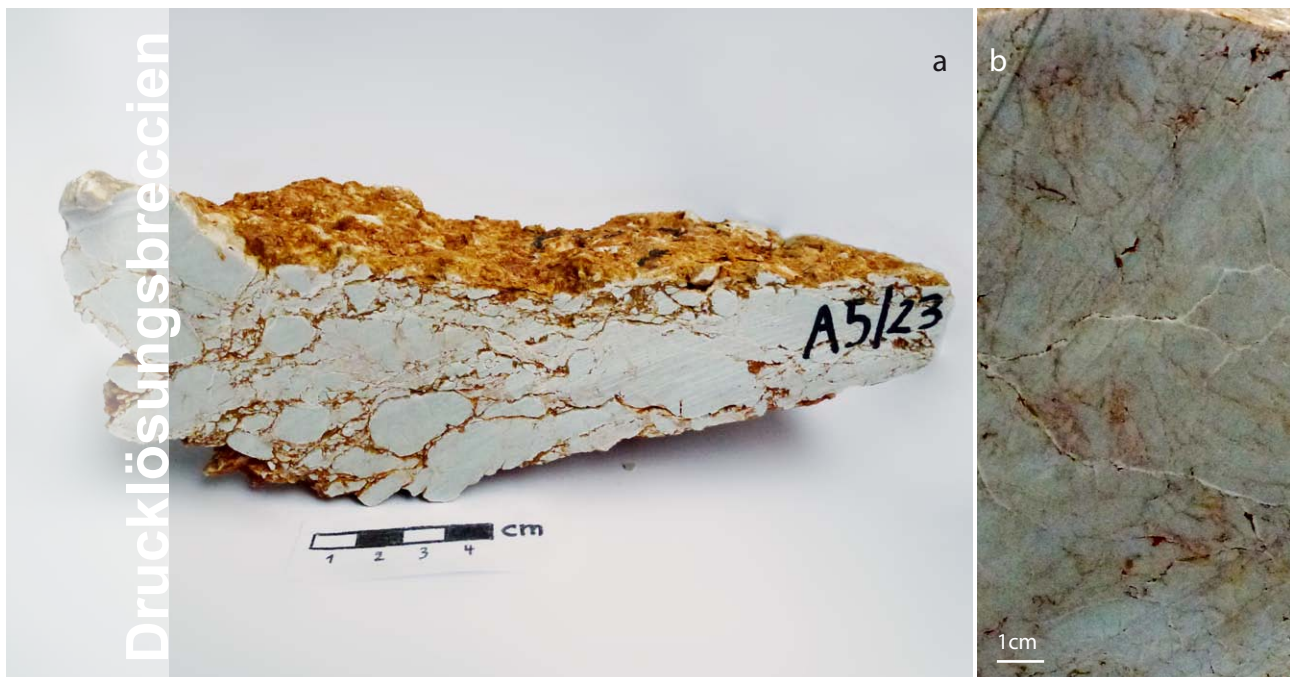
„Cataclastic Flow“ an, der die strain Rate im Gestein in bestimmten Bereichen konzentriert, in denen dann stärkere Deformation herrscht und andere Störungsgesteine ausgebildet werden.

#### Beschreibung Dünnschliff

Von Handstück A5/5 existieren 4 unpolierte Dünnschliffe, die ähnlich wie die Dünnschliffe von A4/5 ein sehr schlechtes Bild des Gesteins wiedergeben. Diese Qualität der Dünnschliffe macht es schwer, überhaupt zwischen auskristallisierten Matrixbereichen und Protolithmaterial zu unterscheiden.

Es ist jedoch ansatzweise erkennbar, dass alte, kalzitisch zementierte Zerrspalten von jüngeren Störungen aufgebrochen und versetzt werden. Die kalzitischen Zemente zeigen Deformationszwillinge. Ebenso finden sich Spuren - wie zum Beispiel bräunliche Lösungsrückstände und stylolithische Korngrenzen innerhalb von Komponenten, die auf Lösungsprozesse hindeuten.

**Abb. 63** Sowohl Bild **a** als auch Bild **b** zeigen Lichtmikroskopaufnahmen eines Dünnschliffes von Handstück A5/5. In beiden Bildern ist die Zerlegung des Gesteins durch die Zerschering der Komponenten entlang von Störungen sichtbar. Auch ältere kalzitisch zementierte Zerrspalten, die Deformationszwillinge aufweisen werden von den Störungen versetzt.



**Abb. 64 a:** Anschnittsfläche des Handstückes A5/23; deutlich sichtbar sind die elongierten Komponenten sowie die tonige Oberfläche des Gesteins. **b:** Anschnittsfläche des Handstückes A5/24; Obwohl das Handstück ebenfalls von roten Tonsäumen durchzogen ist, sind keine einzelnen Komponenten - wie in Handstück A5/23 - erkennbar. Ein ausgebildetes Bruchsystem deutet jedoch auf eine Bildung eben dieser hin.

FAKTEN	HS A5/Drucklösungsbreccien		
	Drucklösungsbreccien	Griesgassl	E M34 653.400
	Porositäten: ~ 1-2%	Fault Core	N GKM 277.300
Permeabilitäten: /	Kalk	Wettersteinf./Ladin	

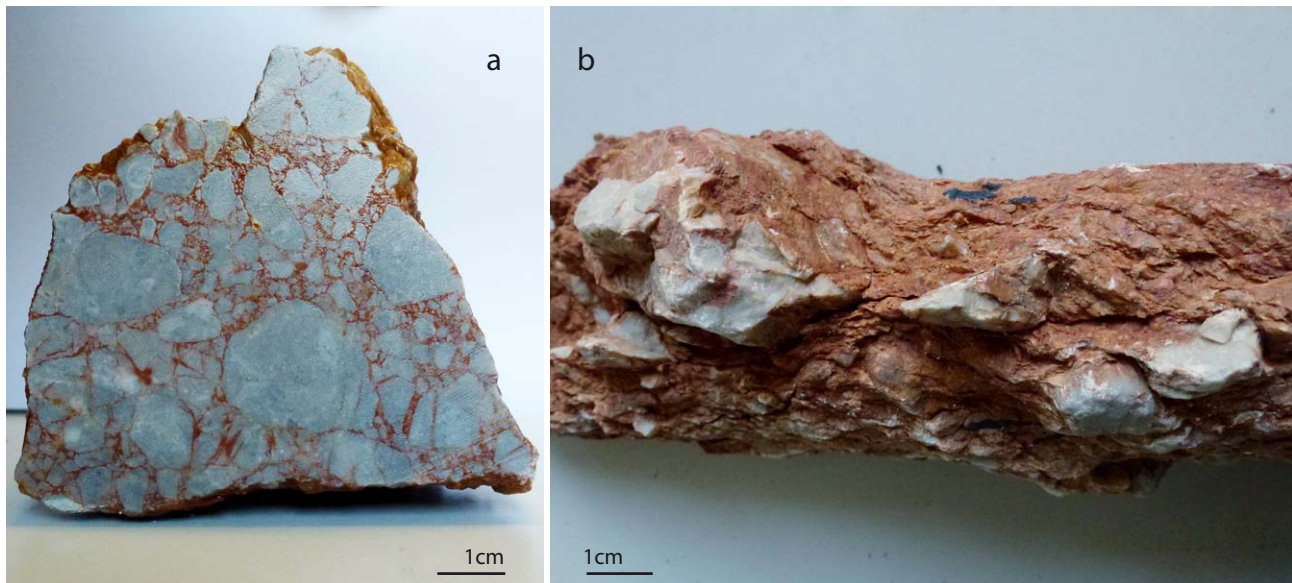
### Die Handstücke

Den Handstücken A5/18, A5/19, A5/20, A5/23 und A5/24 wird hier eine Art Sonderstellung zu Teil, da es sich um vermutlich verschiedene Stadien beziehungsweise Ausführungen eines Störungsgesteines handelt, dessen genauere Untersuchung den Rahmen dieser Arbeit überschritten hätte. Es sollen aus diesem Grund Beschreibungen der Handstücke erfolgen, da die Gesteine einen wichtigen Bestandteil der Störungsgesteinsklassifikation darstellen und für die Interpretation der Reservoireigenschaften von Bedeutung sind. Von allen Proben wurden Porositätswerte ermittelt. Eine genauere Untersuchung dieser Gesteine sollte jedoch auf jeden Fall durchgeführt

werden, da die Mechanismen, die zur Bildung dieser Art von Breccien führen, noch nicht vollständig verstanden sind. Weiters wäre die Ermittlung des durch Drucklösung verloren gegangenen Volumens dieser Gesteine eine interessante Aufgabe.

### Beschreibung

Die Handstücke A5/23 und A5/19 zeigen größtenteils längliche, hellgraue Kalkkomponenten von 1mm bis zu 60mm Durchmesser, die durch rote, tonige, stylolithische Drucklösungsflächen voneinander getrennt werden. Die Interngefüge der meisten Komponenten zeigen weitere Klüftung bzw. Störungen, die ebenfalls mit der roten



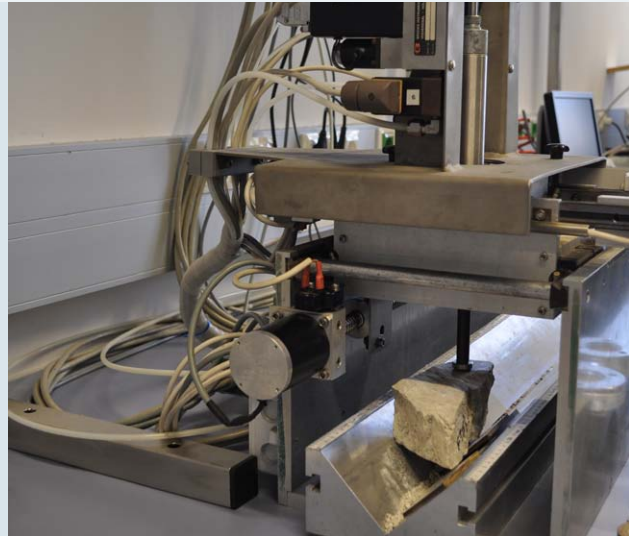
**Abb. 65 a:** Handstück F8/1 zeigt Protolithkomponenten in einer „Matrix“ aus rotem, tonigen Material. Diese Breccie könnte möglicherweise einem co-seismischen Event zugeordnet werden. Bild **b** zeigt im Gegensatz dazu das Handstück A5/19, dessen Komponenten in Scherrichtung elongiert scheinen, und das eine deutliche Foliation aufweist.

Tonmasse gefüllt sind oder kalzitisch zementiert sind (wobei es sich hier wahrscheinlich um Klüfte handelt, die noch vor der Ausbildung der Drucklösungsbreccie entstanden sind). Die Kalkkomponenten zeigen eine eindeutige Elongation in Scherrichtung. An den nicht angeschnittenen Flächen ist weiters eine extrem starke Drucklösungsschieferung durch das gesamte Handstück hindurch verfolgbar. Handstück A5/19 zeigt stellenweise ein eindeutiges SC-Gefüge. Die Probe weist, bis auf, bei der Präparation ausgewaschene tonige Klüfte, keine erkennbaren Hohlräume auf.

Die Handstücke A5/18, A5/20 und A5/24 zeigen zwar die selben Grundmerkmale der Stylolithen und roten Tonflächen, sind jedoch deutlich kompakter und weisen vielleicht auf ein früheres Stadium oder auf ein anderes Ausgangsmaterial hin. Eine grundlegende Frage, die sich bei allen derartigen Störungsgesteinen - wie auch schon bei Handstück F8/1 - stellt ist: fand vor der Drucklösung eine Breccienbildung statt, oder entstanden diese Gesteine rein durch Drucklösung. Einen interessanten Ansatzpunkt zur Beantwortung dieser Frage beziehungsweise zur Interpretation dieser Drucklösungsbreccie geben die Versuche von *Niemeijer and Spiers, 2007*. Die Autoren

konnten zeigen, dass bei langsamen Schergeschwindigkeiten ( $0.03 \mu\text{m s}^{-1}$ ) in einer Störung mit Schichtsilikat-reichen Fault Gauges eine Foliation im Material ausgebildet wird und auch die Komponenten eine Elongation zeigen, wohingegen bei schnellen Schergeschwindigkeiten ( $13 \mu\text{m s}^{-1}$ ) chaotische Mikrostrukturen sowie eine höhere Porosität im Gestein entstehen. Wenn man diese Erkenntnisse auf die Breccien bezieht, so könnte man eine ungerichtete Drucklösungsbreccie möglicherweise einem co-seismischen Event zuordnen, während die foliierten Handstücke den interseismischen strain widerspiegeln (Abb. 65).

**Kapitel 6 |**  
**Porosität & Permeabilität**  
Messungen und Interpretation



### 6.1 Porositätsmessungen

Die Porositätsmessungen wurden gemäß der ÖNORM EN 1936 durchgeführt. Dafür wurden die Proben im Anlieferungszustand gewogen. Anschließend wurden die Proben bei 105°C bis zur gewogenen Massenkonstanz von max. 0.05% Abweichung im Trockenschrank getrocknet. Nach Abkühlung auf Normaltemperatur wurden die Gesteine unter mindestens 15cm Wassersäule 24 Stunden im Wasserbad gelagert. Anschließend erfolgte die erste Messung des Nassgewichts, sowie die Messung des Gewichts unter Wasserauftrieb. Die Messungen wurde nach 24 und 48 weiteren Stunden im Wasserbad wiederholt um abermalig die Massenkonstanz (0,1% Maximalabweichung) zu überprüfen. Im Anschluss wurde aus der Auftriebsmasse die Gesteinsdichte bestimmt, sowie die offene Porosität berechnet. Für die Berechnung der Porosität wurden folgende Lösungsansätze herangezogen:

$$\rho = \frac{(m_{tr} * \rho_{H2O})}{(m_w * m_{Auft})}$$

$$P_o = \frac{(m_w * m_{tr})}{(m_w * m_{Auft})} * 100$$

$$V_p = \frac{(m_w - m_{tr})}{\rho_{H2O}}$$

$$V_{HS} = \frac{(m_{tr})}{\rho} \quad n = \frac{V_p}{V}$$

$m_{tr}$	Trockenmasse [g]	$V_p$	Porenvolumen
$\rho_{H2O}$	Dichte von Wasser	$V_{HS}$	Probenvol.
$m_w$	Masse wassersatt [g]	$n$	Porosität <sub>eff</sub>
$\rho$	Rohdichte [g]		
$m_{Auft}$	Masse unter Wasserauftrieb [g]		
$P_o$	Offene Porosität [%]		

Weiters wurden im geologischen Labor der OMV in Gänserndorf Vergleichsporositäten mit der Heliumpo-

rositätsbestimmung in einem „Fullcore-Porosimeter“ gemessen. Hierbei wird die Probe in einen zylindrischen Probenbehälter gelegt, der Luftdicht verschlossen wird. Anschließend wird durch das Einpressen von Helium mit Hilfe eines Expansionsbehälters und den bekannten Behältervolumen das Matrixvolumen berechnet. Die Dichtebestimmung der Probe erfolgt über den Auftrieb im Quecksilberbad - beziehungsweise bei größeren Proben im Wasserbad. Aus der gemessenen Dichte des Probenkörpers und dem Matrixvolumen wird schließlich die Porosität errechnet. Die Ergebnisse der Heliumporosimetermessungen liegen durchaus im selben Wertebereich wie die Porositäten, die über die ÖNORM EN 1936 bestimmt wurden :

	ÖNORM-Porosität(%)	Helium-Porosität(%)
HS A1/2	2,7	3,49
HS A2/5	3,9	3,97

Während die Messungen des Handstückes A2/5 gut korrelieren ist bei Probe A1/2 die gemessene Heliumporosität relativ um 30% höher als die ÖNORM-Porosität. Bei Betrachtung des absoluten Porositätsunterschiedes (0,79%) ist jedoch auch bei dieser Probe eine sehr gute Korrelation zu erkennen. Für weitere Untersuchungen wäre es wichtig eine möglichst hohe Anzahl an Vergleichswerten von möglichst unterschiedlichen Gesteinsproben zu messen, um zu ermitteln, wie sich die relativen und absoluten Abweichungen der Werte der beiden Messmethoden zueinander verhalten. Im nächsten Absatz wird erläutert, wie es zu Schwankungen in den Porositätswerten kommt und welche grundlegenden Problemen bei der Porositätsmessung auftreten.

#### 6.1.2 Problematik der Porositätsmessungen

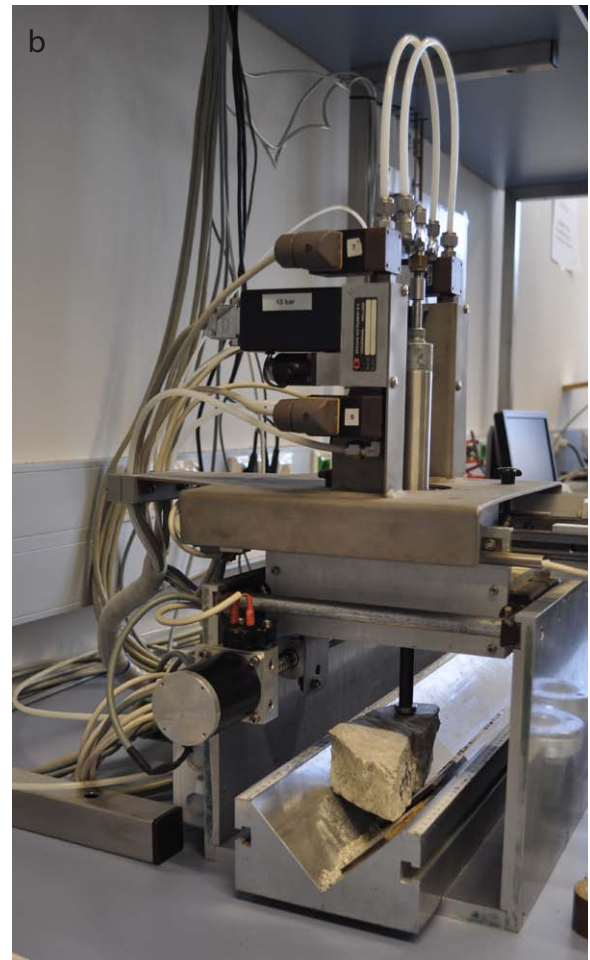
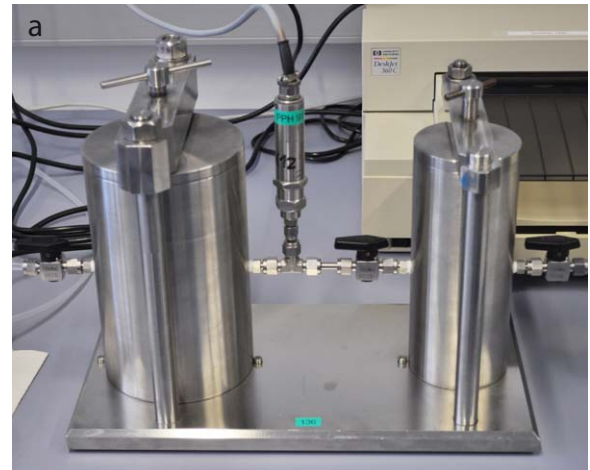
Die grundsätzliche Schwierigkeit der genauen Porositätsbestimmung von Störungsgesteinen ergibt sich bereits im Gelände. Die Gesteine, die vermutlich die allergrößten Porositäts- und Permeabilitätswerte aufweisen, konnten vielfach nicht beprobt werden, da sie zu

hohen Zerlegungsgrad und zudem keine Zementation aufweisen. Andere Handstücke konnten zwar im Gelände entnommen werden, zeigen aber so wenig Zusammenhalt, dass im Wasserbad bzw. bei Berührung eine starke Absandung stattfindet, die es abermals schwierig macht eine korrekte Porosität zu messen. Ein dritter wichtiger Faktor ist die Probengröße. Oft gelingt es nur sehr kleine Handstücke aus dem Gesteinsverband herauszuschlagen, jedoch sollten die Proben für die Porositätsbestimmung eine Mindestgröße von  $100\text{cm}^3$  aufweisen. Weiters birgt die Messung nach der ÖNORM eine Reihe von Fehlerquellen. Diese Fehler reichen von leichter Absandung im Messverlauf über unterschiedliche Wasserstände im Wasserbecken (schon allein aufgrund der unterschiedlichen Probengröße) über zu wenig oder zu viel Abtropfung der Probe vor der Nasswaage. Manche Klüfte sind fein genug um aufgenommenes Wasser durch Oberflächenspannung in der Probe zu halten, aus größeren Klüften bzw. Hohlräumen fließt das Wasser jedoch im Moment der Entnahme aus dem Wasserbecken aus. Unter der Annahme dieser Fehlerquellen lassen sich absolute Schwankungen von 0,1 bis vermutlich 1% im Vergleich mit der Heliumporositätsmessung erklären. In Anbetracht der allgemein sehr niedrigen Schwankungsbreite der Messergebnisse, mag einem ein absoluter Fehler von 1% schon sehr groß erscheinen. Es geht jedoch hier nicht um den genauen Vergleich, sondern um die ungefähre Zuordnung eines bestimmten Störungsgesteins in Bereiche allgemein höherer bzw. niedrigerer Porosität. Zudem sind in Hinblick auf die Beeinflussung der Wasserfließwegigkeit ohnehin die Permeabilitätseigenschaften der Gesteine hervorzuheben. Diskrepanzen zwischen Porosität und Permeabilität werden in einem eigenen Kapitel behandelt.

## 6.2 Permeabilitätsmessungen

Die Messungen der Permeabilität wurden im geologi-

**Abb. 66 a:** Proben- und Expansionsbehälter des Heliumporosimeters; **b:** Minipermeameter; **c:** Über den Messkopf mit Gummidichtungsring wird unter Anpressdruck von 8bar  $\text{N}_2$  in die Probe gepresst.



schen Labor der OMV Gänserndorf mit einem Minipermeameter (Abb. 67 b und c) durchgeführt. Dabei wurde N<sub>2</sub> über ein Rohr mit einem aufschraubbaren, mit Gummi abgedichteten Messkopf (Tipradius(Spitzenradius) 4,75mm) an die Probe geleitet. Der Messkopf wird mit 8bar luftdicht (Gummidichtung) an eine flache Stelle der Probe angepresst. Bei konstantem Durchfluss beginnt die Messung der Durchlässigkeit, die in mD [MilliDarcy] angegeben wird. Die Schwankungsbreite der gemessenen Werte liegt bei ungefähr 10%.

**6.2.1 Problematik und Fehler der Permeabilitätsmessung**

Auch bei der Permeabilitätsmessung sollten die möglichen Fehlerquellen besprochen werden, um die Ergebniswerte auch richtig interpretieren zu können. Gerade bei der Messung stark geklüfteter Gesteine steht man vor einem Messproblem: Das eingepresste N<sub>2</sub> tritt an der Kluft sofort wieder aus, wodurch kein konstanter Durchfluss erreicht werden kann. Vernachlässigt man jedoch die hohen Kluftpermeabilitätswerte gänzlich und konzentriert sich nur auf die Protolith und Matrixbereiche, muss man sich die Frage stellen, ob man wirklich die Permeabilität des Gesteins erfasst hat. Ein weiteres Problem ist das Verstopfen von Porenräumen im Zuge des Schneidevorgangs der Proben - der Messkopf kann ja nur an ebenen Stellen angepresst werden, da sonst die Gummidichtung nicht dichtet. Die offenen Hohlräume füllen sich mit feinem Gesteinsmehl, das beim Schneiden entsteht und verschließen somit wichtige Migrationswege. Auch der Druck, mit dem der Stickstoff durch das Gestein gepresst wird, könnte im Falle eines sehr porösen Zements problematisch sein, jedoch kann man hier annehmen, dass durchströmendes Wasser eine ähnliche Wirkung auf das Gestein hätte.

**6.3 Porositäten vs. Permeabilitäten**

Die Tabellen im Anhang (Seite 99 ff.) enthalten eine Liste mit den Permeabilitäts- und Porositätswerten zu den beprobten Handstücken, sowie die Klassifikation der

Störungsgesteine. Hier wurden die Porositäts- und Permeabilitätswerte der Gesteine vorerst nach Störungsgesteinsklassen gegliedert und anschließend der Median und der Mittelwert berechnet:

**Porositäten** (Angaben in %)

Kataklasite: \*Probenanzahl

Kataklasit Typ 1	Median 2,7	Mittelwert 3,0	(7)*
Kataklasit Typ 2	Median 4,8	Mittelwert 4,7	(20)*
Kataklasit Typ 3	Median 6,3	Mittelwert 5,6	(3)*
gesamt:	Median 4,5	Mittelwert 4,4	(30)*

**Fracture Fazies:**

Fracture Fazies 1	Median 1,1	Mittelwert 1,1	(2)*
Fracture Fazies 2	Median 2,2	Mittelwert 2,0	(10)*
Fracture Fazies 3	Median 2,3	Mittelwert 2,7	(7)*
Fracture Fazies 4	Median 3,8	Mittelwert 3,8	(8)*
Dilation Breccie:	Median 5,5	Mittelwert 5,3	(8)*

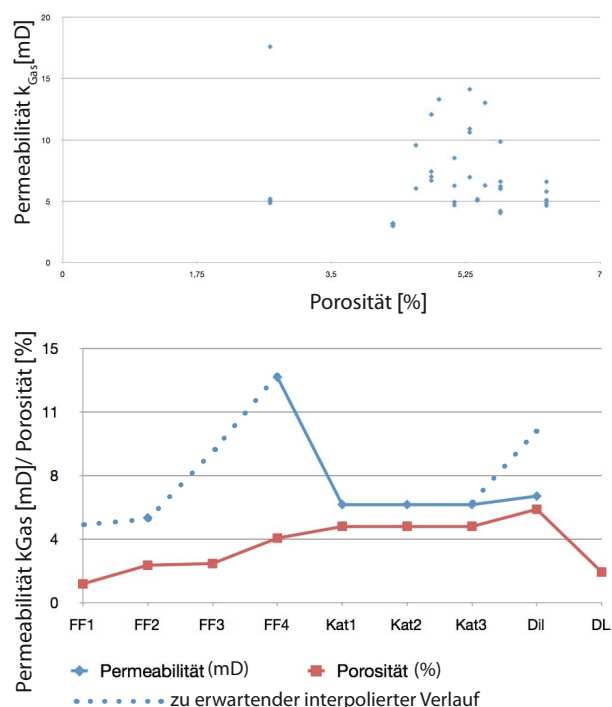
Drucklösungsbreccie: Median 1,8 Mittelwert 2,4 (8)\*

\*\* Anzahl Permeabilitätswerte aus denen Median u Mittelwert berechnet wurden

**Permeabilitäten** (Angaben in mD<sub>Gas</sub>)

Kataklasite:	Median 5,8	Mittelwert 6,4	(27)**
Fracture Fazies:	Median 6,6	Mittelwert 14,9	(5)**
Dilation Breccie:	Median 5,2	Mittelwert 9,2	(7)**

**Abb. 67** Obere Graphik: direkt-Vergleich Permeabilitäts/Porositätswert der selben Probe; Untere Graphik: Vergleich der Mittelwerte von Permeabilitäten und Porositäten der verschiedenen Störungsgesteinsklassen.

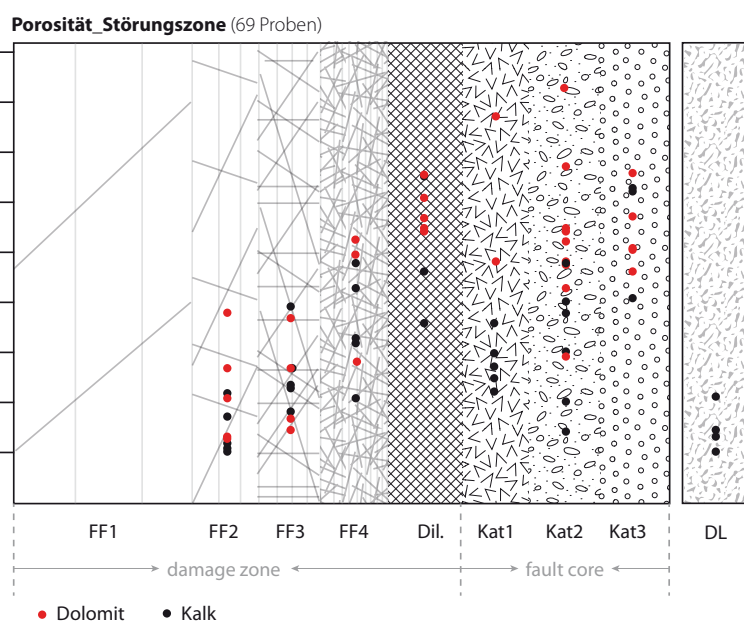




Die Daten zeigen keine eindeutige Korrelation von Porosität und Permeabilität, was zum Teil an den beschriebenen Messungenauigkeiten liegen kann. Der Vergleich der beiden Graphiken in Abb. 67 soll verdeutlichen, dass für weiterführende Interpretationen größere Messreihen notwendig sind. Nur die Auswertung einer statistisch relevanten Anzahl von Proben pro Gesteinsklasse zusammen mit Fehlerrechnungen würde einen sinnvollen

Verleich der Werte zulassen. Da eine Messung einer derartigen Anzahl von Handstücken äußerst aufwändig wäre, wäre hier möglicherweise an eine Messung mit einem Handminipermeameter direkt im Gelände zu denken. Jedoch müsste zuvor eine geeignete statistische Methode gefunden werden, um

Verleich der Werte zulassen. Da eine Messung einer derartigen Anzahl von Handstücken äußerst aufwändig wäre, wäre hier möglicherweise an eine Messung mit einem Handminipermeameter direkt im Gelände zu denken. Jedoch müsste zuvor eine geeignete statistische Methode gefunden werden, um



**Abb. 68** Die Graphik repräsentiert die Verteilung der Porositätswerte in einer Störungszone; Rot: Porositätswerte aus dolomitischen Störungsgesteinen; Schwarz: Daten aus Kalk-Störungsgesteinen. Der Aufbau der Störungszone ist schematisch durch die Abfolge der verschiedenen Störungsgesteine dargestellt; es wird nicht auf den unterschiedlichen Aufbau von dolomitischen und kalzitischen Störungszone eingegangen.

Kluftmessungen miteinzubeziehen. Wie bereits vorhin erwähnt, ergeben die Permeabilitätsmessungen direkt an einer Kluft eigentlich für die Statistik zu vernachlässigende Werte, da die eingepresste Luft sofort wieder ausströmt und die eigentliche Leitfähigkeit der Kluft nicht gemessen werden kann. Rechnet man bei einer Fracture Fazies jedoch nur mit den Matrixpermeabilitätswerten, so entspricht dies auch nicht der Charakteristik des Störungsgesteins, da man ja davon ausgehen kann, dass die Klüfte die Hauptmigrationswege darstellen. Eine weitere Möglichkeit wäre die Modellierung der Permeabilitäten aus gemessenen Matrixpermeabilitäten und experimentell bestimmten bzw. berechneten Kluftpermeabilitä-

ten. Eine ähnliche Schwierigkeit stellt die Porositätsmessung von mehreren hundert Proben dar, mit welcher noch dazu die Gesteine mit der höchsten Porosität gar nicht beprobt werden können. Da die Porositätsmessung jedoch nicht viele Alternativmöglichkeiten offen lässt, ist die bisher durchgeführte Methode, beziehungsweise mit noch zusätzlicher Unterstützung durch eine höhere Anzahl von Heliumporositätsvergleichsmessungen wohl trotzdem die beste Möglichkeit für eine Quantifizierung. Der Vorteil der Heliumporositätsmessung mit der Dichtebestimmung im Quecksilberauftrieb ist die Zeitersparnis: Die Messung dauert durchschnittlich eine Viertel Stunde, während die ÖNORM Bestimmung einer Probe mehrere Tage in Anspruch nimmt.

### 6.4 Interpretation der Porositäten

Wie Abb. 68 verdeutlicht, zeigen sich sowohl in den Kalkstörungszonen als auch in den dolomitischen Störungszonen zum Fault Core hin steigende Porositätswerte. Die höchsten Porositätswerte zeigen - laut Messungen - Gesteine, die als Dilation Breccie und Kataklasit 1-3 klassifiziert wurden - wobei hier oft ein fließender Übergang von einer Störungsgesteinsklasse zur anderen besteht. Der Grund für diese hohen Porositäten liegt gerade bei den Kataklasiten in der im Elektronenmikroskop oft beobachteten hohen Matrixporosität. Durch die unter-



**Abb.69** Die Bilder **a** und **b** geben einen makroskopischen Vergleich der beiden Handstücke F15/4 und F15/5, die beide als Kataklasit 2 klassifiziert wurden und die- vermutlich rein aufgrund ihres unterschiedlichen Matrixaufbaues - eine deutliche Divergenz im Porositätswert aufweisen

schiedlichen Gesteins-zerlegenden Prozesse, durch Rotation der Komponenten, durch Dolomitisierung und damit verbundene Dolomitekristallverwachsungen ohne Füllung der entstandenen Hohlräume, durch Herausbrechen von Komponententeilen sowie durch kataklastische Prozesse wie „intergranular extension fracturing“ (Billi, 2010) entstehen eine Vielzahl an kleinen Hohlräumen, die erst unter dem Licht- oder Elektronenmikroskop sichtbar werden. Diese erklären jedoch hohe Porositäten, die makroskopisch - aufgrund der fehlenden Klüfte - nicht eingeschätzt werden können. Die scheinbar steigenden Werte der im Kalk gemessenen Porositäten der Kataklasite von Typ 1 bis Typ 3 werden eher als zufällige Erscheinung gewertet, da die einzelnen Kataklasittypen allgemein eine sehr hohe Bandbreite an verschiedenen Porositäten - wie auch Permeabilitäten - aufweisen. Die großen Unterschiede zwischen den Porositätswerten, die für den gleichen Gesteinstyp bestimmt wurden, ergeben sich teilweise auch aus einem Klassifikationsproblem. Während im Gelände 2 Kataklasite des Typs 2 ein nahezu identisches Aussehen zeigen und alle Kriterien der Klassifikation erfüllen, so zeigt sich in den Dünnschliffuntersuchungen ein anderes Bild: Probe F15/5 (Abb.69a) zeigt eine rein dolomitische Matrix, die aus idiomorph ausgebildeten, eng verwachsenen Dolomiten besteht und kaum offene Hohlräume aufweist. Probe F15/4 wiederum besitzt eine Matrix, die aus gerundeten Dolomitfragmenten besteht, die nur teilweise mit Klazit zementiert sind. Somit ist hier große Anzahl an offenen Hohlräumen gegeben. (Siehe dazu auch die Beschreibungen von F15/4 und F15/5, S.46 ff). Dies erklärt die großen Unterschiede der gemessenen Porositätswerte. Im Gegensatz zu den Kataklasiten, kann man bei den geklüfteten Gesteinen des Störungsrandes (Fracture Fazies 1-4) davon ausgehen, dass die deutlich steigenden Porositätswerte zum Fault Core hin der Wirklichkeit entsprechen, da die Kluftdichte zum Störungskern

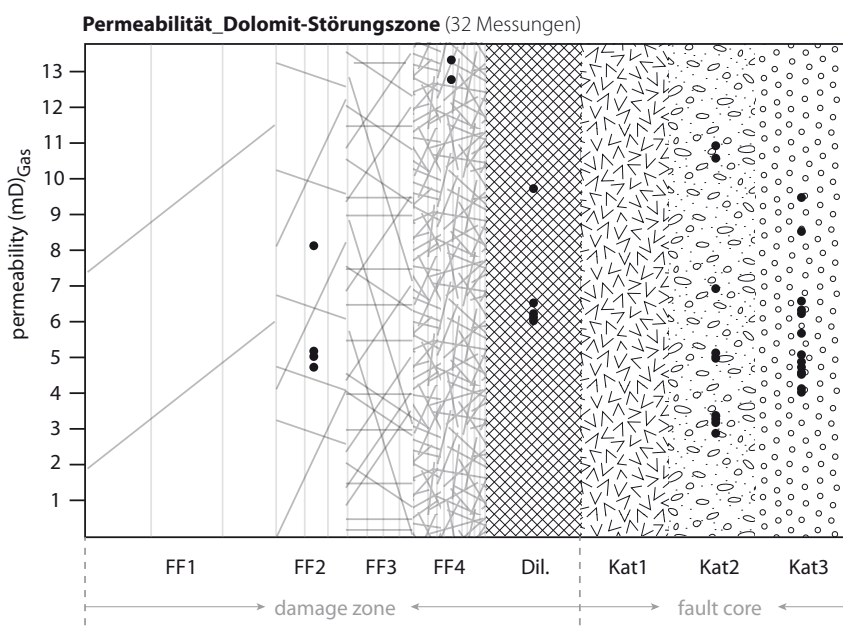
hin zunimmt. Grundsätzlich darf angenommen werden, dass die Porositätswerte der Fracture Fazies - Gesteine allgemein etwas zu niedrig liegen. Dies liegt in erster Linie wohl an dem bereits diskutierten Problem, dass man zumeist ein Handstück aus dem Gesteinsverbund bekommt, das selbst zwischen größeren Klüften liegt und diese somit vernachlässigt werden, sowie an der Messmethode der Wassersättigung und anschließenden Wägung an der Luft, wodurch Wasser noch vor der Messung wieder aus breiteren Klüften ausfließen kann.

Ein relativ deutliches Ergebnis liefern dahingegen die Drucklösungsbreccien. Sie liegen mit Porositätswerten zwischen 1 und 2,1 % im Feld des Protolithmaterials. Die Proben A5/19, A5/23 und F8/1 wurden für die Statistik vernachlässigt, da das tonige Material hier zu starke Auswaschungen zeigte und das Probengewicht somit über die Messung nicht konstant gehalten werden konnte. Die berechneten Werte sind im Anhang in einer Tabelle angeführt, können jedoch mit Sicherheit als zu hoch vernachlässigt werden.

### 6.5 Interpretation der Permeabilitäten

Die größte Schwierigkeit der Permeabilitätswertmessung, wie auch der Interpretation der Ergebnisse liegt

im Maßstab der Heterogenität des Gesteins im Vergleich zum Durchmesser des Messkopfes. Bei stark geklüftetem Gestein ist der Messkopf oft nur zwischen zwei Klüften aufsetzbar - da die Klüfte aufgrund der sofortigen Ausströmung des Gases eigentlich nicht erfasst werden können. Jedoch wäre gerade bei Störungsrandgesteinen der Fracture Fazies nicht nur eine Erfassung der Matrixpermeabilität, sondern auch der Kluftdurchlässigkeiten wünschenswert. Es wurden insgesamt 13 Proben für die Permeabilitätsmessung verwendet - über manche Proben wurde ein Profil gemessen. Abb. 70 zeigt die Ergebnisverteilung der verschiedenen Störungsgesteine in milliDarcy. Auch hier wird eine sehr breite Streuung der Kataklasite sichtbar. Die in den Porositätsmessungen deutlich erhöhten Werte der Dilation Breccie konnten bei der Permeabilitätsmessung nicht beobachtet werden, was möglicherweise als Effekt der Größe des Messvolumens zu deuten ist. Es kommt bei diesen Störungsgesteinen jedoch erschwerend hinzu, dass fast keine glatten Oberflächen existieren: durch die vielen Hohlräume ist es schwierig eine Stelle zu finden, an der die Gummichtung des Messkopfes gleichmäßig aufsitzt und somit eine Messung erlaubt. Die Werte der geklüfteten Gesteine des Störungsrandes (Fracture Fazies 1-4) weisen auf



**Abb. 70** Schematische, graphische Darstellung einer Störungszone mit den gemessenen Permeabilitätswerten der jeweiligen Störungsgesteinsklassen.

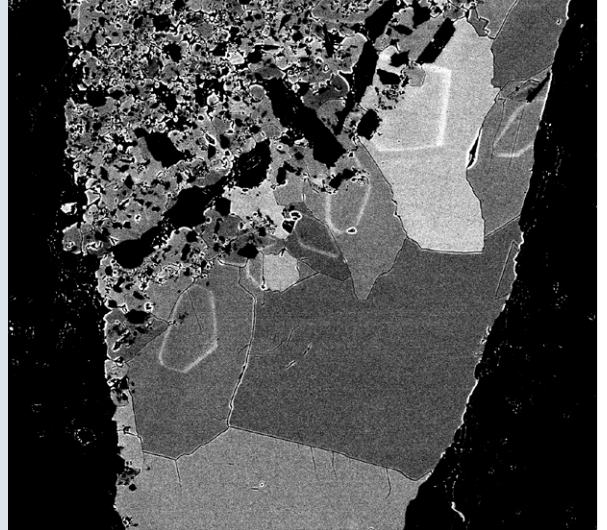
eine Zunahme der Permeabilität mit höherer Kluftdichte hin. Für eine Verifizierung ist die Messung einer größeren Probenmenge sinnvoll. Gemessen wurden auch alle Handstücke mit Spiegelharnischflächen des Aufschlusses F15. Hier bildet eine mm-dünne Schicht Kataklasit 3 eine glatte Oberfläche auf darunterliegendem Kataklasit 2. Überraschenderweise scheint diese dünne Feinschicht an der Oberfläche auf die Permeabilität keinen Einfluss zu haben. Die Werte lassen sich mit 4,2 bis 8,5  $mD_{Gas}$  in ei-

nem scheinbar durchaus typischen Bereich für Kataklastite eintragen.

Ein weiterer wichtiger Punkt bei der Interpretation der Permeabilitätswerte ist, dass die Messungen mit  $N_2$  Gas erfolgen, für die Betrachtung im natürlichen Environment jedoch die Fluidmigrationsfähigkeit bedeutend ist. Hier sollte man sich vor Augen halten, dass der Haftwassersaum um Komponenten bis zu  $4\mu m$  betragen kann, sodass Klüfte beziehungsweise Hohlräume erst ab einer Größe von  $>8\mu m$  durchströmt werden können.

# **Kapitel 7 | Interpretation**

## Klassifikation, Prozesse, Methodik



## 7.1 Störungsgesteine

### Problematik der Klassifikation und Rolle der mikrotektonischen Analyse

Die Untersuchung der Störungsgesteine in dieser Arbeit hat die Schwierigkeiten einer genetischen Störungsgesteinsklassifikation verdeutlicht. Obwohl die verwendete Klassifikation eine gute Gliederung im Gelände zulässt, ist sie für Handstücke, beziehungsweise mikrotektonisch nur schwer einhaltbar. Gesteine, die im Gelände als Kataklastite bezeichnet wurden, zeigen im Dünnschliff große Varianzen in Bezug auf die beobachtete Struktur und Textur. Manche Gesteine enthalten Fragmente, die selbst schon Kataklastite sind, andere wiederum zeigen fast unverändertes Ausgangsgestein als Komponentenmaterial. Weiters ist im Dünnschliff eine Differenzierung zwischen der Fracture Fazies 4, einer Dilation Breccie und einem sehr potokataklastischem Kataklastit 1 aufgrund des äußerst kleinen Beobachtungsausschnittes nicht mehr möglich. Dies liegt auch an der Tatsache, dass die meisten Störungsgesteine extrem inhomogen sind und oft in schon kleinen Bereichen verschiedene Texturen und Strukturen aufweisen. Ein Fazit, dass auf jeden Fall gezogen werden kann ist, dass die Interpretation von Störungsgesteinen die Betrachtung von unterschiedlich großen Beobachtungsausschnitten und Maßstäben erfordert. Die Definition einer Fracture Fazies kann nur im Gelände erfolgen, da nur dort ein genügend großer Bereich überblickt werden kann, um Kluftrichtungen einzuschätzen. Im Dünnschliff-Bereich wiederum finden in Teilen des Handstückes mit erhöhter Deformation bereits Prozesse statt, die unter dem Licht- und Elektronenmikroskop als typische Erscheinungen eines Kataklastits beziehungsweise einer tektonischen Breccie interpretiert werden können.

Nun könnte man argumentieren, dass sich aufgrund dieser Differenzen eine ausschließliche Untersuchung im Gelände lohnt, da es ja nicht sinnvoll erscheint aus einem  $\mu\text{m}$ -Ausschnitt des Gesteins auf die gesamte Störungszo-

ne rückzuschließen oder um den Einfluss von Störungsgesteinen auf Wasserfließwegigkeiten zu untersuchen.

Die mikroskopische Untersuchung erweist sich jedoch als unerlässlich, da ohne ein Verständnis für die Prozessabläufe und Ursachen von makro- und mikroskopisch beobachteten Phänomenen die geländemaßstäblichen Prozesse nicht verstanden beziehungsweise erklärt werden können. Dazu gibt die Mikrotektonik auch immer wieder Aufschlüsse über bevorzugte Prozessrichtungen und Abläufe, die dem makroskopischen Betrachter verborgen bleiben. Rein aus dem Handstückvergleich konnte nicht erklärt werden, warum optisch und physisch gleich wirkende Gesteine - oft aus dem selben Aufschlussgebiet - unterschiedliche Porositäten aufweisen. Der Vergleich von Matrixporositäten und die Untersuchung von im Gestein ablaufenden Prozessen, die zur Bildung solcher Porositäten führen, konnte jedoch eine Interpretation der divergierenden Porositäten ermöglichen.

### 7.2 Einteilung der verschiedenen Arten von Störungsgesteinen aus der mikroskopischen Analyse

Es konnten drei Arten von Störungsgesteinen aufgrund von verschiedenem Aufbau definiert werden.

**1.a** Dolomitische Störungsgesteine mit kalzitischem Zement. Die Kataklastite zeigen Matrix, die hauptsächlich aus Kalzit zementierten, kleinen, abgerundeten Dolomitkomponenten besteht. Die großen Protolithfragmente sind gerundet. In der Fracture Fazies zeigen solche Gesteine Kalzit verfüllte Klüfte, wobei sich auch hier schon Klüfte finden, die mit dem selben feinkörnigen dolomitischen Material verfüllt sind, das die Matrix der Kataklastite aufbaut. Weiters konnte in der Fracture Fazies dieser Gesteine „intragranular extension fracturing“ (Billi, 2010) (siehe S.88 - Kornzerkleinerung) gefunden werden. Oft zeigen diese Proben einen extrem feinkörnigen Saumbereich um größere Komponenten, der nicht zementiert ist und sich aufgrund der Feinkörnigkeit deutlich von der Matrix abhebt.

**1.b** Dolomitische Störungsgesteine, die sich im Lichtmikroskop nicht von den Gesteinen 1.a unterscheiden, deren Matrix jedoch - wie im Elektronenmikroskop sichtbar wird - ausschließlich aus eng verwachsenen Dolomitkristallen aufgebaut wird. Die Gesteine 1.b zeichnen sich durch deutlich weniger Matrixporosität als die Proben 1.a aus und besitzen kein kalzitische Matrixzement.

**2.** Kalk-Dolomitische Störungsgesteine (sie wurden im Gelände fälschlicherweise als Kalke klassifiziert, da sie im Salzsäuretest leicht brausen), die einen sehr homogenen Aufbau aus kleinen, dicht verwachsenen, nicht zementierten Dolomitkristallen zeigen. Auch die im Dünnschliff sichtbaren Komponenten erweisen sich im Elektronenmikroskop als homogen mit der Matrix. Sie sind schwer erkennbar und zeichnen sich nur durch weniger Interpartikelporosität als der Rest der Matrix aus. (Die Gesteine können von einem späteren Kluftnetzwerk aus Kalzit durchzogen werden)

**3.** Störungsgesteine aus Kalkkomponenten, die von einem Netzwerk aus tonigen, stylolithischen Drucklösungsflächen getrennt werden und teilweise in Scherichtung elongierte Komponenten zeigen.

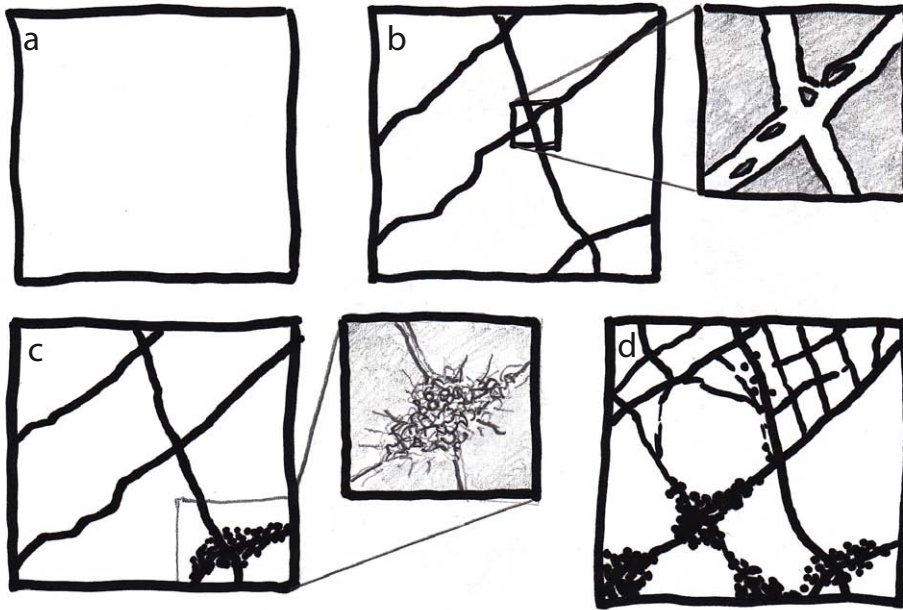
### 7.3 Beurteilung und Interpretation mikrotektonischer Prozesse in den Störungsgesteinen:

#### 7.3.1 Kornzerkleinerung

Auch bei den Prozessen, die zu Kornzerkleinerung führen, muss zwischen den vorhin genannten Störungsgesteinsarten unterschieden werden. Während die Prozesse der Gesteine, die der Gruppe 1.a zugeordnet werden können relativ gut beschreibbar sind (fast ausschließlich Kataklyse) - auch aus dem Grund, dass viele Proben in diese Gruppe fallen und eine Genese beobachtbar ist - erweist es sich als schwieriger die Prozesse in den Gruppen 1.b und 2 zu erklären. Auch die Gesteine der Gruppe 3 sind - bis auf den Diskussionspunkt ob eine primäre Breccienbildung stattfand - mit Prozessen der Drucklösung (pressure solution) gut beschreibbar.

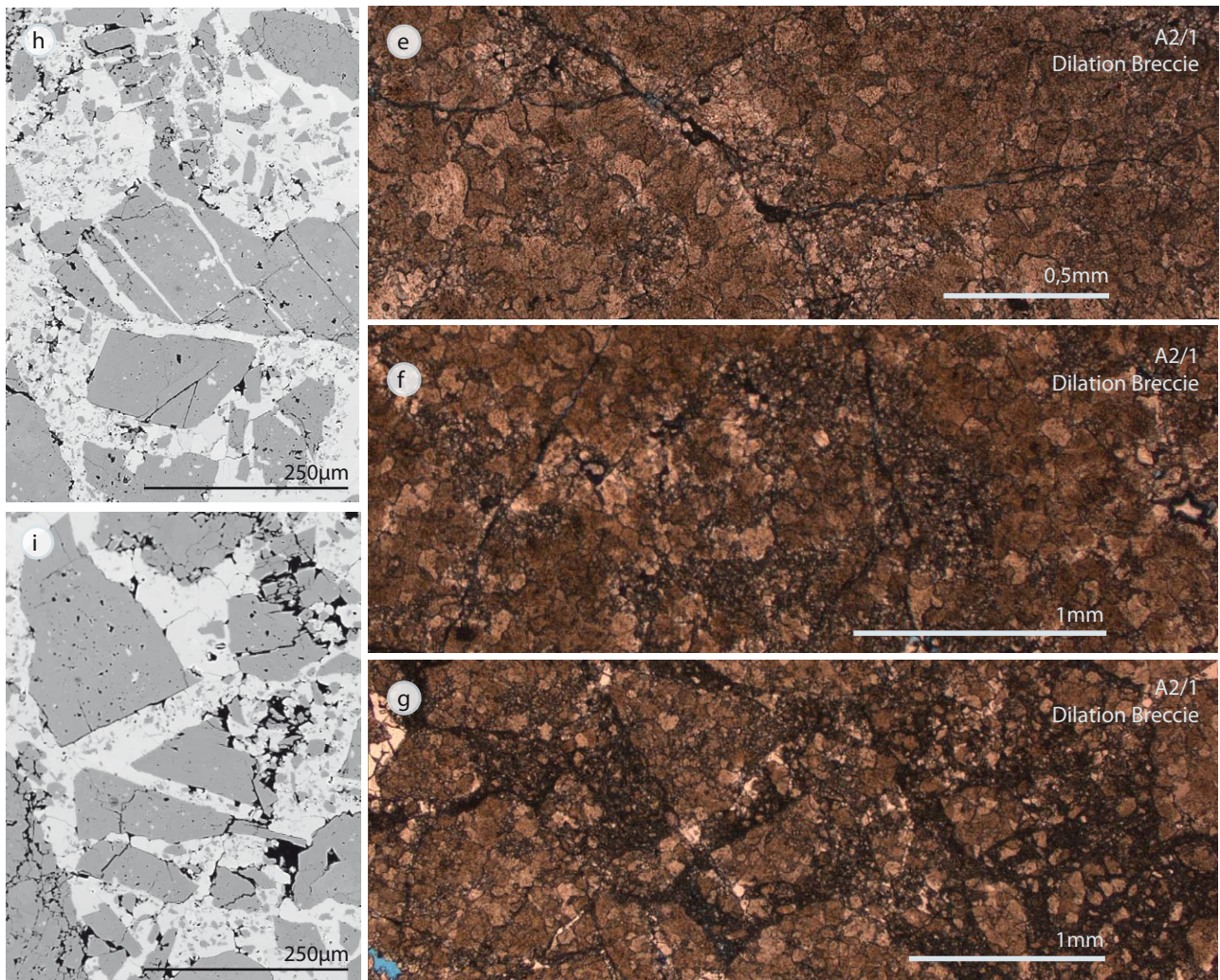
#### ad. Störungsgesteine 1. a

Neben den von *Billi, 2010* beschriebenen Prozessen der Kataklyse: „*Intragranular extension fracturing*“, „*chipping*“ und „*shear fracturing*“ konnten grundsätzlich mehrere Prozesse der Kornzerkleinerung beobachtet werden. Zwei Prozesse zur Kornzerkleinerung, die maßgeblich zur späteren Entwicklung des Störungsgesteines beitragen, wurden bereits in geklüfteten Protolithen (Fracture Facies) und Dilation Breccien beobachtet. Wie auch *Billi, 2010* beschreibt, haben die Protolithkomponenten in einem Störungsrandgestein beziehungsweise wie er es nennt „in einem frühen Deformationsstadium“ aufgrund der fast durchgehend gegebenen Kornkontakte keine oder nur sehr geringe Möglichkeit der Rotation. Die Prozesse, die hier zu Kornzerkleinerung führen sind einerseits das bereits erwähnte „intragranular extension fracturing“ (Abb. 71), durch Ausbildung eines regellosen Netzwerkes von zementierten Zerrspalten (*Billi, 2010*). Diese Mikrobrüche führen - noch bevor die Zementation einsetzt - zu einer „Sedimentation“ von abgespaltenen Teilen in die Kluft und öffnen den Weg für Fluidmigration. Ein weiterer Prozess, der bereits in einem sehr frühen Entwicklungsstadium einsetzt und der bei vielen Proben beobachtet werden konnte, ist eine scheinbar hohe Stress/Strain-Konzentration an manchen Kornkontakten von ansonsten durch Klüfte getrennten Protolithkomponenten. Hier erfolgt - vermutlich aufgrund der fehlenden Rotations- bzw. Entlastungsmöglichkeit - eine besonders feine Kornzerkleinerung in dem sonst noch sehr starren Protolithmaterial (Abb. 71 c-g) Wird ein solcher feinkörnig zermahlener Gesteinsbereich kalzitisch zementiert, so verteilt sich möglicherweise die Stress/Strain Einwirkung so, dass es an einer anderen Stelle zu einem ähnlichen Phänomen kommt und es bilden sich Bereiche, die später die Matrix eines Kataklyasits bilden. Dieser Prozess der extremen Kornzerkleinerung, sowie „intragranular extension fracturing“ (*Billi, 2010*), Shear Fracturing und Kornrotation tragen alle dazu bei, dass - wie *Billi, 2010*



**Abb. 71** Die Skizze - sowie die Beispielbilder beschreiben parallel ablaufende Prozesse : „intragranular extension fracturing“ (Billi, 2010) und extreme Kornzerkleinerung an Stellen mit erhöhter Spannungskonzentration. **Skizze (links):** Bild **a** zeigt den ungestörten Protolithen. Bild **b** soll eine Fracture Fazies im Übergang zu einer Dilation Breccie symbolisieren. Die Vergrößerung zeigt, dass bei der Öffnung von Klüften, bei der Überschneidung von verschieden orientierten Klüften, oder bei einem leichten Versatz Material in den entstandenen Hohlraum sedimentiert wird. Die Klüfte werden zumeist kalzitisch zementiert. **c:** An manchen Komponentengrenzen findet - vermutlich durch fehlende Rotationsmöglichkeit - Kornzerkleinerung statt, die aus Protolithmaterial in nur einem Schritt sehr kleine Korngrößen hervorbringt. Bild **d** soll

das gleichzeitige Stattfinden von Klüftungsprozessen („intragranular extension fracturing“) und anderen Kornzerkleinerungsprozessen verbildlichen. **Bilder (unten):** Die Bilder **e** bis **g** zeigen den Prozess der Kornzerkleinerung bis hin zur Ausbildung eines brecciösen/kataklasitischen Gefüges; Die Bilder **h** und **i** geben Beispiele für kleinmaßstäbliches „intergranular extension fracturing“ (Billi, 2010) aus dem Elektronenmikroskop.





es nennt: „*der Freiheitsgrad der größeren Komponenten steigt*“ beziehungsweise eine weitergehende Zerlegung des Protolithmaterials stattfindet. In fortgeschritteneren Zerlegungsstadien von Störungsgesteinen kommt es vermehrt zu Kornzerkleinerung durch Rotation/Reibung, sowie zur Abspaltung „morphologisch ungünstiger“ Protolithfragmentteile (z.B. Ecken, die für eine Rotation ungünstig sind) und Kornzerkleinerung durch Zerschering der Komponenten (Billi, 2010).

#### ad. Störungsgesteine 1. b

Obwohl die Gesteine im Lichtmikroskop fast identisch mit denen des selben Zerlegungsgrades der Gruppe 1.a sind, zeigte sich im Elektronenmikroskop ein doch stark unterschiedlicher Matrixaufbau (siehe dazu auch Vergleich S.49) Für eine detaillierte Prozessfindung bzw. Analyse der Kornzerkleinerung müssten diese Gesteine noch genauer untersucht werden.

#### ad. Störungsgesteine 2

Die Störungsgesteine 2 wurden makroskopisch alle als Kataklastite 2-3 beschrieben, also genetisch sehr fortgeschrittene Gesteine im Zerlegungsprozess. Was in diesen Gesteinen beobachtet werden konnte, stimmt abermals mit den Erkenntnissen von Billi, 2010 überein. Die vorherrschenden Prozesse, die im Lichtmikroskop zu beobachten sind, sind „Shear fracturing“ und „chipping“- also Zerschering von Komponenten durch kleinere Störungen, die auch durch die Matrix verfolgbar sind und Abspaltung kleinerer Teile von Protolithkomponenten. Im Elektronenmikroskop wird jedoch deutlich, dass dies nicht die - wie Billi, 2010 sie nennt - „reifste Generation“ der in 1.a beschriebenen Störungsgesteine darstellt, sondern eine eigene Entwicklung, beziehungsweise eine mögliche Fortsetzung von 1b. Weiters tauchen bei der Untersuchung im Lichtmikroskop auch immer wieder Drucklösungserscheinungen - sowohl in der Matrix, als auch an Komponenten gebunden - auf.

Aufgrund der im Elektronenmikroskop beobachteten idiomorphen Dolomitkristalle, die die Matrix aufbauen,

kann geschlossen werden, dass die meisten dieser Kristalle vermutlich erst nach der Breccienbildung auszementiert wurden. Somit ist es fast unmöglich Prozesse zu sehen, die zu einer ursprünglichen Kornzerkleinerung führten.

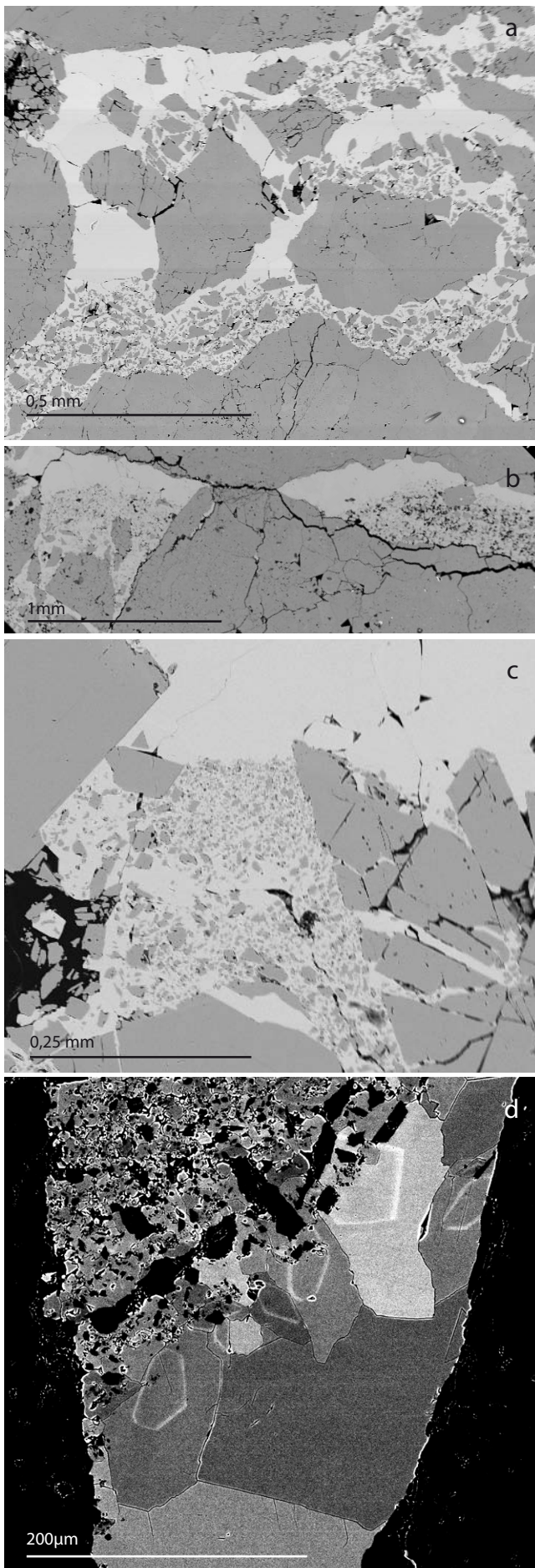
#### ad. Störungsgesteine 3

Der vorherrschende Prozess in diesen Gesteinen ist Drucklösung. Die Zerkleinerung der Protolithkomponenten findet durch ständige Lösungsvorgänge statt. Jedoch wurden untergeordnet auch Prozesse wie die Abspaltung einzelner Kornbereiche beobachtet, die eher der Kataklastose zuzuordnen wären. Siehe dazu auch „Beschreibung“ A5/Drucklösungsbreccien, Seite 76.

#### 7.3.2 Hohlraumsedimentation mit Geopetal-Gefüge

Diese Strukturen wurden hauptsächlich in den Störungsgesteinen der Gruppe 1.a gefunden (Handstücke der Aufschlüsse A2 und F15). In allen Fällen lagern sich Dolomitkomponenten auf eine scheinbar orientierte Art und Weise in kalzitisch zementierten Hohlräumen ab. Eine durch den gesamten Schliff nachvollziehbare Orientierung dieser Anhäufungen wurde ebenfalls festgestellt. Die Strukturen wurden genauer untersucht, da sie im Falle eines tatsächlichen Geopetal-Charakters (Strukturen die eine zeitliche Ablagerungsabfolge beziehungsweise eine Sedimentationsrichtung angeben) wichtige Hinweise auf interne Prozesse im Störungsgestein liefern könnten. Die vorläufige Interpretation dieser Strukturen wurde unter der Annahme gemacht, dass hier zerbrochenes Protolithmaterial während seismischer Aktivität in Hohlräume sedimentiert wird oder zwischen großen Komponenten „durchgesiebt“ wird und es zu einer orientierten Ablagerung kommt. Die Annahme setzt ein Vorhandensein von sehr viel offenem Porenraum voraus.

**Möglichkeit 1:** Es handelt sich um einen einzigen Prozessschritt: Beim Aufbrechen des Gesteins kommt es zur Hohlraumsedimentation, die der Gravitation folgt. Das korngestützte Gefüge wird anschließend von Kal-



zit zementiert. Dafür würden die meist homogenen Kalzitemente sprechen, die auch in der Kathodolumineszenz keine Unterschiede zeigen. Auch korngestütztes Gefüge würde diese Theorie unterstützen. Obwohl dieser Kornkontakt nicht immer sichtbar ist, muss bedacht werden, dass die Kornstützung bei einem nicht sehr dichten Gefüge stark von der Schnittlage des Dünnschliffes abhängt (die Kornkontakte werden nicht immer genau durchgeschnitten).

**Möglichkeit 2:** Es handelt sich um einen sekundären Prozess ohne Änderung der Porenwasserchemie: Da in anderen Schliffbereichen die gesamte Matrix von den selben feinen kalzitisch zementierten Dolomitmikrokörnern aufgefüllt ist, sollte das Augenmerk vielleicht nicht auf diese Körner in orientierter Ansammlung, sondern auf die sehr großen, einschlussfreien Kalzite am Rand der Dolomitansammlungen gelegt werden. Vielleicht brechen bei einem zweiten oder dritten seismischen Ereignis Hohlräume weiter auf, die Erschütterung „schüttelt“ zerbrochene Matrixbereiche zusammen und die neuen Hohlräume werden langsam mit großen Kalziten zementiert.

**Möglichkeit 3:** Die dritte Dimension

Abb. 73 a zeigt einen Ausschnitt einer Protolithkomponente, von der eindeutig ein Teil abgespalten wurde. Vergleicht man die beiden Ränder der zementierten Spalte, so wird klar, dass diese in keinem Punkt wieder zusammenpassen würden. Es muss also feinkörniges, von den Protolithrändern abgespaltenes Material in einen noch offenen Hohlraum gefallen sein, da die Kalzite in der Kluft größtenteils einschlussfrei sind. Diese Bruchstücke könnten sich

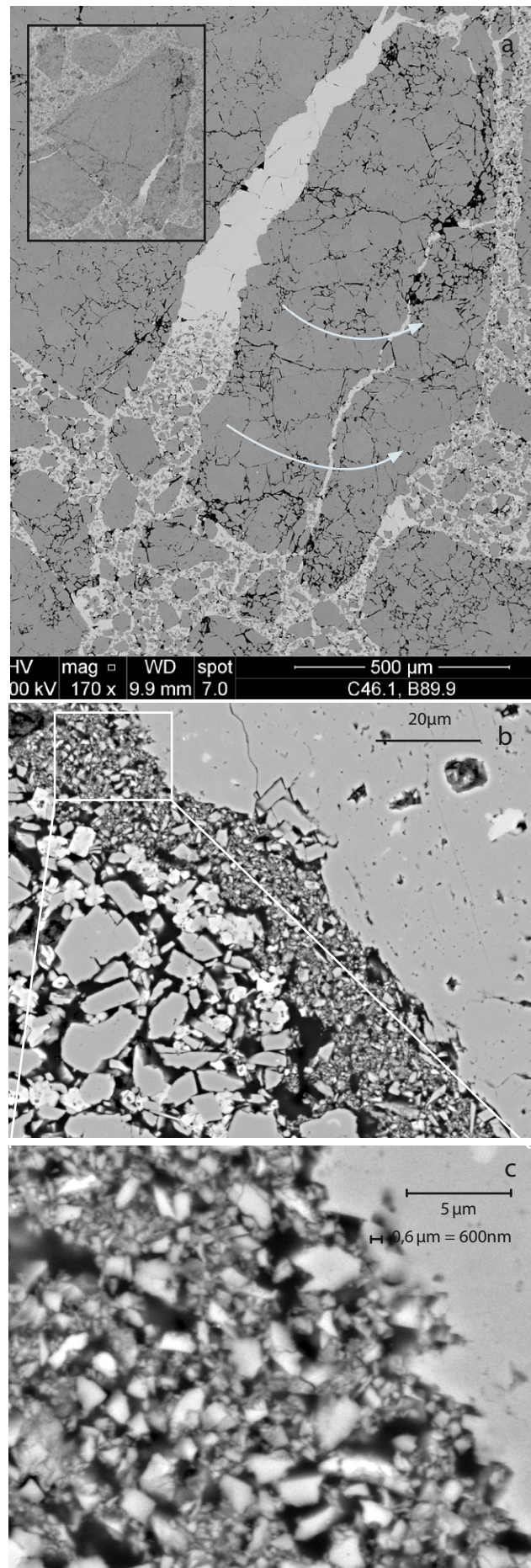
**Abb. 72 a:** Ansammlung von kleinen Dolomitkomponenten in ehemaligen Hohlräumen. Die Hohlräume wurden kalzitisch zementiert. Eine eindeutige Anlagerung an die größeren Protolithkomponenten ist deutlich sichtbar. **b:** Ein weiteres Beispiel der Hohlraumsedimentationsstruktur. Bild **c** zeigt eine deutliche Grenze von einem dolomitisch verfüllten, kalzitisch zementierten Bereich zu einem rein kalzitisch zementierten Bereich. **d:** Auffallend ist das unterschiedlich aufgebaute kalzitische Zement, sowie die Größenunterschiede zwischen den Kalzitkristallen zwischen den Dolomitkomponenten und den großen Kalziten, die den Hohlraum zur Gänze ausfüllen.

vielleicht in einem Bereich am unteren Ende der Spalte ablagern, wo dem Betrachter jedoch der Bezug zum Herkunftsort dieser Bruchstücke fehlt.

### 7.3.3 „Rotationssaum“ um Protolithkomponenten

Ein weiterer interessanter Punkt sind die an Störungen, jedoch auch um größere Protolithkomponenten auftauchenden Feinstkornsäume. Während die größten Komponenten in der umgebenden Matrix bei ca. 10  $\mu\text{m}$  liegen, bilden den Hauptbestandteil dieser Säume kantige Fragmente mit Durchmessern 1  $\mu\text{m}$ . Han et al. 2011 beschreibt den Einfluss granularer Nanopartikel (Partikelgröße in wenigstens einer Richtung  $<100\text{nm}$ ), die die Reibung einer Störungsfläche während seismischer Bewegung herabsetzen. Die Autoren konnten anhand von Laborexperimenten nachweisen, dass granulare Nanopartikel (MgO, CaO und  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) die Reibung in der Störung herabsetzen. Die Reibung zeigte sich stark abhängig von der Bewegungsgeschwindigkeit der Störung - so beschreibt Han et al. 2011 extrem niedrige Reibung bei sehr hohen Bewegungsgeschwindigkeiten wie  $1\text{m s}^{-1}$  und höhere Reibung bei niedrigen Bewegungsgeschwindigkeiten. Die Vermutung der Autoren geht hier in Richtung einer abnehmenden Adhäsion der Partikel, die bei niedrigeren Bewegungsraten noch eine größere Rolle spielt. Weiters schreibt Han et al. 2011: „An alternative idea of the weakening is that the extraordinarily low friction is due to the operation of grain rolling as a dominant friction mechanism in the nanoparticles: as the nanopowder-coated surfaces become very smooth with fault displacement, many of the rounded nanoparticles may begin to roll rather than slide on the smooth slip-surface under shear and thus fault friction is reduced.“ Obwohl die Korngrößen in den

**Abb. 73 a:** Ein Teil einer dolomitischen Protolithkomponente wird unter Bildung einer neuen Kluft abgespalten. Während die Matrix voll von dolomitischen Körnern ist, besteht die Kluft zum Großteil aus einschloss-freiem kalzitischen Zement. **b:** Am Rand einer dolomitischen Protolithkomponente ist ein feinkörniger Saum ausgebildet, der sich in seiner Feinkörnigkeit und aufgrund von fehlendem Zement deutlich vom Rest der Matrix unterscheidet. **c:** zeigt einen vergrößerten Ausschnitt aus b; die zwei Maßstäbe dienen dem besseren Größenvergleich mit den Körnern.



hier beobachteten Schliffen vermutlich auch in den feinkörnigsten Bereichen über denen von Nanopartikeln liegen (Abb. 73 c), kann der grundsätzliche Ansatz von feinen Partikeln, die die Reibung herabsetzen und ein besseres Gleiten der Störungszone, beziehungsweise eine Rotation der Protolithkomponenten ermöglichen, durchaus herangezogen werden. Die Komponenten in den Schliffen dieser Arbeit sind zudem nicht granular sondern eher plattig/eckig - was eine Rotation unwahrscheinlich macht. Da die Körner jedoch unzementiert sind und auch makroskopisch eine sehr schlechte Kohäsion der Protolithkomponenten mit der Matrix festgestellt wurde, kann die Bewegung der Protolithkomponenten



**Abb. 74** Eine ausgebrochene dolomitische Protolithkomponente gibt den Blick auf eine eindeutige Lineation in der Matrix frei. Diese Beobachtung unterstützt die Annahme der Bewegungsmöglichkeit einzelner Protolithkomponenten durch die unzementierten Feinstkornsäume, die im Elektronenmikroskop entdeckt wurden.

durch makroskopische Harnischflächen rund um die gerundeten Komponenten belegt werden. Abb. 74 zeigt ein Foto des Handstückes F15/4 auf dem deutliche Lineare an einer Ausbruchsstelle einer Protolithkomponente in der Matrix zu sehen sind.

#### 7.4 Bewertung und Ergebnisse - Mikro-Computertomographie

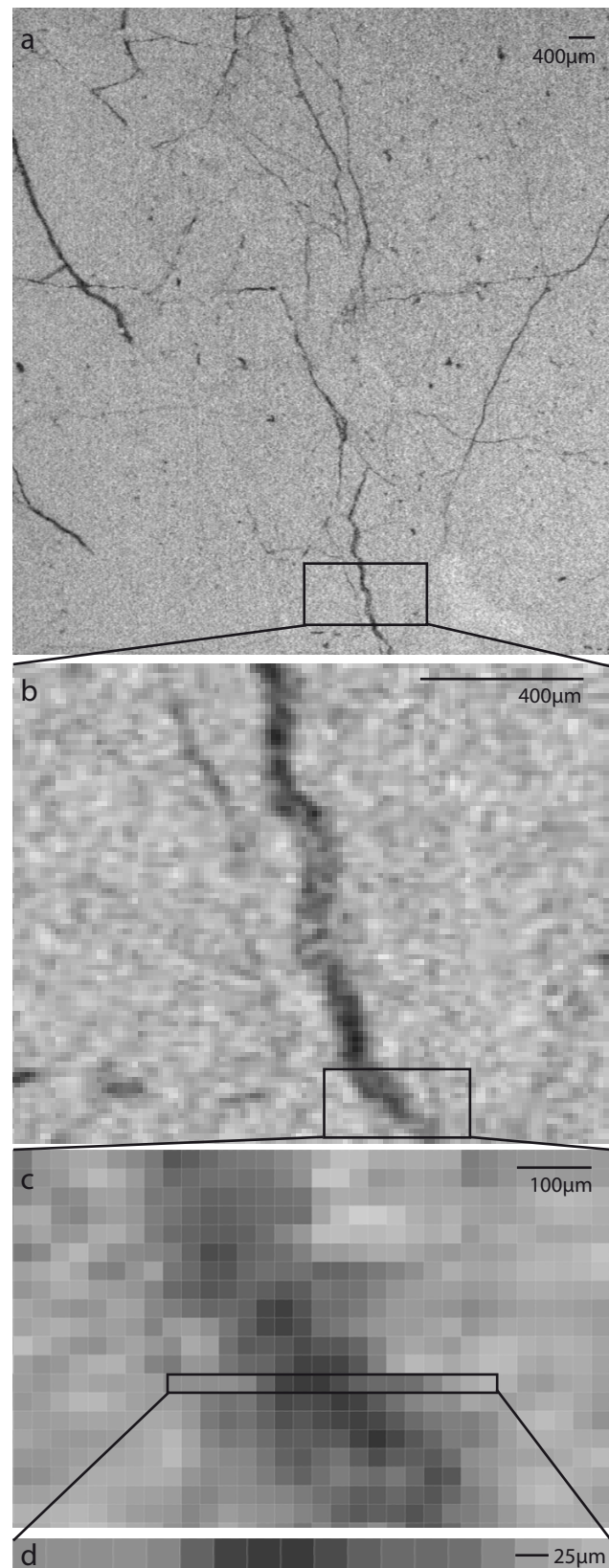
Im Zuge dieser Arbeit wurden zwei Proben mit dieser Methodik untersucht. Die erhaltenen Datensätze umfassen einmal 833 Einzelbilder im .tif-Format (Probengröße

ca. 4x4x4cm, HS A1/1), der zweite Datensatz besteht aus 396 Einzelbildern (Probengröße 2x4x1,5cm, HS F15/4). Die Daten erlauben eine Beurteilung der Vernetzung von Klüften beziehungsweise Hohlräumen jedoch mit Einschränkungen und Unsicherheiten: Ein Pixel entspricht bei den gemessenen Daten einer Länge von 25µm. Bereits hier wird klar, dass die Auflösung wesentlich geringer ist als die eines Elektronenmikroskopes. Eine scheinbar einfache Grauwertauswertung der einzelnen Bilder, die ein Programm wie ImageJ oder Photoshop durchführen könnte, indem man einen Grenzwert für eine Graustufe zwischen den „Gesteinsgrauwerten“ und den „Hohlraumgrauwerten“ festlegt ist - wie in Abb. 75 veranschaulicht werden soll - nicht möglich. Grauwerte, die den Rand einer Kluft aufzubauen scheinen finden sich ebenso in der Matrix wieder. Zudem besteht in Kluftbereichen kein Farbverlauf von dunklen (in der Mitte der Kluft) zu hellen Grauwerten (der Matrix). Die meisten Pixel in Kluftmitte weisen sehr dunkle Grauwerte auf, jedoch mischen sich immer wieder sehr helle Pixel dazwischen. Grauwerte in einem weiter außen liegenden Bereich weisen jedoch teilweise ähnlich dunkle Grautöne wie die Kluftmitte auf. Diese Grauwertverteilung macht eine automatische Erfassung der Klüfte sehr schwierig. Bei einer händischen Auswertung bleibt es im Prinzip der Interpretation des Bearbeiters überlassen, zu definieren wie weit eine Kluft geöffnet ist. Es ist zwar möglich die Klüfte als solche zu erfassen und daraus - wie bei Handstück A1/1 ein anschauliches 3D Modell zu erstellen - eine Quantifizierung der Öffnungsweiten ist jedoch nur schwer möglich. Auch wenn ein Pixel „nur“ 25µm Länge repräsentiert, kann angenommen werden, dass bei einer händischen Interpolation der Kluftbreite ein relativ hoher Fehlerwert entsteht. Die Methode eignet sich - bei vorliegender Auflösung - gut zur Darstellung der Vernetzung von Klüften und Hohlräumen in der jeweiligen Gesteinsklasse. Eine Erstellung eines 3D Modells beinhaltet jedoch sehr viel Eigeninterpretation des Bearbeiters. Aufgrund der Pixelgröße

von  $25\mu\text{m}$  ist es leider nicht möglich 3D Informationen über kleinere Porenräume wie etwa in der Matrix oder in Feinpartikelsäumen zu gewinnen, da die durchschnittlichen Porendurchmesser dort in einem Bereich liegen, der kleiner als  $25\mu\text{m}$  ist. Diese kleinräumigen Poren tragen jedoch den Großteil der in Kataklasiten gemessenen effektiven Porosität.

### 7.5 Ausblick

Sowohl die Quantifizierung der Porositäten und Permeabilitäten nach den in dieser Arbeit beschriebenen Ansätzen - zum Beispiel großflächige Minipermeametermessungen im Gelände - sowie die Entwicklung einer möglichen Fehlerkorrektur für die Messmethoden, bis hin zu neuen Ansätzen der Erfassung der Permeabilität etwa durch Abpressversuche, wäre ein wichtiger Arbeitsschritt um ein besseres Verständnis der Permeabilitätsverteilung in und rund um Störungszonen zu erhalten. Ein weiterer wichtiger Punkt betrifft die Klassifikation der karbonatischen Störungsgesteine. Ein Referenzsystem der verschiedenen postulierten Vorschläge, beziehungsweise eine mögliche Zusammenführung der unterschiedlichen Modelle in einer Ausarbeitung eines vielleicht maßstabsspezifischen Gesamtmodells, würde den Vergleich von Untersuchungen deutlich vereinfachen. Für ein besseres Verständnis der Hohlraumvernetzung und von Strukturen würde sich auch die Untersuchung von dreidimensionalen Bruchstücken von Gesteinsproben unter dem Elektronenmikroskop anbieten. Weiters bleibt eine fortführende Untersuchung mikrotektonischer und sedimentologischer Prozesse, die zur Bildung der einzelnen Störungsgesteine, ihrer Klüfte, Hohlräume und charakteristischer Strukturen führen, unerlässlich um Störungszonen und ihre hydrogeologischen Eigenschaften besser verstehen zu können.



**Abb.75 a:**  $\mu\text{CT}$ -Bild eines Ausschnittes der Probe A1/1. Klüfte und Hohlräume sind deutlich erkennbar. **b:** Der Ausschnitt einer Kluft aus Bild a zeigt bereits die Schwierigkeit einer scharfen Abgrenzung der Kluft vom umgebenden Gestein. **c:** Ein noch größerer Bildausschnitt zeigt die Pixel ( $25\mu\text{m}$ ) mit verschiedenen Grauwerten. Eine genaue Definition der Kluftweite ist schwierig. **d:** einzelne Pixelzeile aus Bild c.

## 8. Literaturverzeichnis

### **Adams, A. E., MacKenzie, W. S., 1998.**

A colour atlas of carbonate sediments and rocks under the microscope. London, Manson Publishing Ltd., 180 pp.

### **Bauer, H., 2010.**

Deformationsprozesse und hydrogeologische Eigenschaften von Störungszonen in Karbonatgesteinen. Magisterarbeit. Universität Wien. 102 pp.

### **Billi, A., 2010.**

Microtectonics of low-P low-T carbonate fault rocks. *Journal of Structural Geology* 32, 1392-1402.

### **Bryda, G., 2001.**

Geologische Kartierung im Hochschwabgebiet – Entscheidungshilfe zur Abgrenzung von Quelleinzugsgebieten. In: Mandl, G. W., Geologische Bundesanstalt Arbeitstagung 2001, Wien (Geol. B.-A.), 220-23.

### **Cockell, C. S. and Herrera, A., 2007.**

Why are some microorganisms boring? *Cell Press. Trends in Microbiology*, Vol.16 No,3, 101-106.

### **Decker, K., Peresson, H. & Faupl, P., 1994.**

Die miozäne Tektonik der östlichen Kalkalpen: Kinetik, Paläospannung und Deformationsaufteilung während der „lateralen Extrusion“ der Zentralalpen. *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, 137/1, 5-18.

### **Decker, K., 2000.**

Tektonik/Strukturgeologische Grundlagen. In: Mandl, et al., Karstwasserdynamik und Karstwasserschutz Hochschwab – Geologische Karte. Folgeprojekt Hochschwab West & Süd WA4A/ F1998 & StA028n. – Unveröffentl. Endbericht, Wien (Geol. B.-A.), 49- 74.

### **Decker, K. & Reiter, F., 2001.**

Strukturgeologische Methoden zur Charakterisierung von Karstwasserwegen im Hochschwabmassiv. In: Mandl, G.W., Geologische Bundesanstalt Arbeitstagung 2001, Wien (Geol. B.-A.), 206-212.

### **Decker, K., 2007.**

Dolomite fracture and fault analysis, outcrop study Steinbruch Gaaden. Unpublished report to OMV Austria, Vienna, 72 pp.

### **Dickson, J.A.D., 1966.**

Carbonate identification and genesis as revealed by staining. *Journal of Sedimental Petrology*, 36, 491-505.

### **Evamy, B.D. & Shearman, D.J., 1962.**

The application of chemical staining techniques to the study of diagenesis in limestones. *Proc. Geol. Soc. London* 1599, 102.

### **Faupl, P. 2003.**

Historische Geologie (2. Auflage). *Facultas UTB*, Wien, 271 pp.

### **Gorbushina, A. A., 2007.**

Life on the rocks. Minireview. *Environmental Microbiology* 9(7), 1613-1631.

### **Han, R., Shimamoto, T., Ando, J., Ree, J., 2011.**

Granular nanoparticles lubricate faults during seismic slip. *Geology*; v. 39; no.6, 599-602

### **Ketcham, R.A., W.D. Carlson., 2001.**

Acquisition, optimization and interpretation of X-ray computed tomographic imagery: applications to the geosciences. *Computers & Geosciences* 27, 381-400.

**Lein, R., 1987.**

Evolution of the Northern Calcareous Alps during Triassic times. In: Flügel, H. W. & Faupl, R. (eds.): Geodynamics of the Eastern Alps. Deuticke, Wien, 85-102.

**Linzer, H-G., Ratschbacher, L., Frisch, W., 1995.**

Transpressional Collision Structures in the upper crust: the fold-thrust belt of the Northern Calcareous Alps. Tectonophysics, 242, 41-61.

**Linzer, H-G., Moser, F., Nemes, F., Ratschbacher, L., Sperner, B., 1997.**

Build-up and dismembering of the eastern Northern Calcareous Alps. Tectonophysics, 272, 97-124.

**Mandl, G., 1988.**

Mechanics of Tectonic Faulting. Developments in Structural Geology. Elsevier, Amsterdam Vol. 1, 407 pp.

**Mandl, G. W., 2001.**

Zum tektonischen Bauplan der östlichen Kalkhochalpen. In: Mandl, G. W., Geologische Bundesanstalt Arbeitstagung 2001, Wien (Geol. B.-A.), 123-131.

**Mort, K., Woodcock, N.H., 2008.**

Quantifying fault breccia geometry: dent fault, NW England. Journal of Structural Geology 30, 701-709.

**Möbus, G., 1997.**

Geologie der Alpen. Sven von Loga Verlag, Köln. 340pp.

**Niemeijer, A. R. and Spiers, C. J., 2007.**

A microphysical model for strong velocity weakening in phyllosilicate-bearing fault gouges. Journal of Geophysical Research, Vol. 112, B10405, 1-12.

**Peresson, H., Decker, K. 1997.**

The Tertiary dynamics of the northern Eastern Alps (Austria): changing paleostress in a collisional plate boundary. Tectonophysics, 272, 125-157.

**Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H., Merle, O., 1991.**

Lateral extrusion in the eastern Alps, part II: structural analysis. Tectonics, 10, 257-271.

**Sanderson, D. J. and Marchini, W. R. D., 1984.**

Transpression. Journal of Structural Geology, Vol. 6, No. 5, 449-458.

**Schneider, R., Schogler, M. und Lein, R., 2001.**

Paläomagnetische Ergebnisse aus den östlichen Kalkhochalpen. In: Mandl, G. W., Geologische Bundesanstalt Arbeitstagung 2001, Wien (Geol. B.-A.), 202-205.

**Schröckenfuchs, T., 2010.**

Die Kinematik der Freiner Störung. Bachelorarbeit. Universität Wien, 39 pp.

**Sibson, R., 1977.**

Fault rocks and fault mechanisms. Journal of the Geological Society, London 133, 191-213.

**Sibson, R., 1986.**

Brecciation processes in fault zones: inferences from earthquake rupturing. Pure and Applied Geophysics 124, 159-175.

**Strele, K., 1992.**

Geologische Untersuchungen an der Roßkogel-Deckscholle und der Proles-Decke im Bereich des Hinteralmplateaus/Mürztaler Alpen/Steiermark. Diplomarbeit. Universität Wien. 124 pp.

**Tollmann, A., 1976a.**

Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums.

Deuticke, Wien, 580 pp.

**Tollmann, A., 1976a.**

Der Bau der nördlichen Kalkalpen.

Deuticke, Wien, 449 pp.

**Tollmann, A., 1985.**

Geologie von Österreich. Bd. 2, Franz Deuticke, Wien,  
214 - 228.

**Tucker, M. E., 1985.**

Einführung in die Sedimentpetrologie.

Enke Ferdinand Verlag, 265 pp.

**Woodcock, N. H. , Mort, K., 2008.**

Classification of fault breccias and related fault rocks.

Geological Magazine 145(3), 435-440. Geology of the  
Earthquake Source: A Volume in Honour of Rick Sibson.

Geological Society, London, Special Publications, 359,  
267-285.



6,7 4,8  
 5,5 6,6  
 3,9 4,8  
 5,4 5,5  
 3,8 4,1  
 2,7 3,5  
 3,7 6,3  
 3,0 6,3  
 4,6 3,3  
 2,2 5,4  
 4,3 5,3  
 4,6

# Abstract

## Zusammenfassung

### **Kapitel 9 | Anhang** Tabellen, Zusammenfassung Abstract, Lebenslauf

F8/1	8,3	1059,2	-	-
F15/3	4,3	6920,2	691,9	691,8
F15/5	5,1	2174,3	2173,5	-
F15/6	6,6	9656,6	965,3	965,1
F15/7	5,7	644,96	644,5	644,4
F15/8		4727,3	471,9	-
F15/9		1605,6	1604,7	1604,6

DS = Dünnschliffe

HS	Geologische Bezeichnung	Tektonische Bezeichnung	% Poros.	mD Perm.	GPS	geographische Lage	Anatomie Störungszone	Formation	Alter	DS
F6/1	Dolomit	Kataklasit 2	4,8	11.1 7.1	688.135 289.771	Frein/Schwarzleiten	fault core	Steinalm	Anis	1
F6/2	Dolomit	Dilation Breccia Kataklasit 1-2	6,6		688.135 289.771	Frein/Schwarzleiten	fault core	Steinalm	Anis	
F6/3	Dolomit	Kataklasit1-2 FF4	4,8		688.135 289.771	Frein/Schwarzleiten	fault core	Steinalm	Anis	1
F6/4	Dolomit	Kataklasit 2	5,5		688.135 289.771	Frein/Schwarzleiten	fault core	Steinalm	Anis	1
F7/1	Dolomit	Kataklasit 3	4,1		688.322 289.747	Frein/Schwarzleiten	fault core	Steinalm Hallstatt	Anis Ladin	2
F7/2	Dolomit	Kataklasit 2-3	3,5		688.322 289.747	Frein/Schwarzleiten	fault core	Steinalm Hallstatt	Anis Ladin	1
F7/3.3	Dolomit	Kataklasit 2-3	6,3	5,4	688.322 289.747	Frein/Schwarzleiten	fault core	Steinalm Hallstatt	Anis Ladin	3
F7/3.4	Dolomit	Kataklasit 2-3	6,3		688.322 289.747	Frein/Schwarzleiten	fault core	Steinalm Hallstatt	Anis Ladin	2
F8/1	Kalk	Drucklösungs- breccie	3,3		689.406 289.666	Frein/Schwarzleiten	fault core	Wetterstein	Ladin	1
F15/1	Dolomit	Dilation Breccia	5,4		692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	
F15/2	Dolomit	Kataklasit 2	5,3	10,6	692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	
F15/3	Dolomit	Kataklasit3 auf Kataklasit 2	4,6	7,8	692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	
F15/4	Dolomit	Kataklasit 1-2	8,3		692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	1
F15/5	Dolomit	Kataklasit 2-3	4,3	3,1	692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	2
F15/6	Dolomit	Kataklasit3 auf Kataklasit 2	5,1	4,8	692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	
F15/7	Dolomit	Kataklasit3 auf Kataklasit 2	5,1	7,4	692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	
F15/8	Dolomit	Kataklasit3 auf Kataklasit 2	6,6		692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	
F15/9	Dolomit	Kataklasit3 auf Kataklasit 2	5,7	4,1	692.139 289.902	Frein/Steinalpl	fault core	Wetterstein	Ladin	
A1/1	Dolomit	FF4	4,9*	13,3	669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	2
A1/2	Dolomit	FF2	2,7 (3,5)	8.2 5	669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	2
A1/3	Dolomit	FF2	2,1		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	2
A1/4	Dolomit	FF3	1,5*		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	
A1/5	Dolomit	FF2	1,4*		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	1
A1/6	Dolomit	FF3	1,7*		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	
A1/7	Dolomit	FF4	5,3*		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	2

\* die gelb markierten Daten wurden aus der Arbeit von *Bauer, 2010* übernommen

A1/8	Dolomit	Zerrspalte	2,0*		669.209 280.980	Kastenriegel	fault core	Wetterstein	Ladin	2
A1/9	Dolomit	Kataklasit 1	(7,7) unter 100cm <sup>3</sup>		669.209 280.980	Kastenriegel	fault core	Wetterstein	Ladin	
A1/10	Dolomit	FF2	1,3*		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	2
A1/11	Dolomit	Dilation Breccia	6,1*		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	2
A1/12	Dolomit	Zerrspalte	2,3*		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	
A1/13	Dolomit	FF4	2,8*		669.209 280.980	Kastenriegel	damage zone	Wetterstein	Ladin	1
A2/1	Dolomit	Dilation Breccia	5,7	7,2	669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	fault core	Wetterstein	Ladin	1
A2/2	Dolomit	Dilation Breccia	4,8		669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	fault core	Wetterstein	Ladin	
A2/3	Dolomit	Kataklasit 2	6,7		669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	fault core	Wetterstein	Ladin	1
A2/4	Dolomit	Dilation Breccia	5,5	9.7 6.3	669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	fault core	Wetterstein	Ladin	1
A2/5	Dolomit	Kataklasit 1-2	3,9		669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	fault core	Wetterstein	Ladin	1
A2/10	Dolomit	Kataklasit 2	5,4	5,1	669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	fault core	Wetterstein	Ladin	
A2/11	Dolomit	FF2	3,8		669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	damage zone	Wetterstein	Ladin	
A2/12	Dolomit	FF3	2,7		669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	damage zone	Wetterstein	Ladin	
A2/13	Dolomit	FF3	3,7		669.982 283.065	Zeller Staritzen Saugraben	damage zone	Wetterstein	Ladin	
A4/1	Kalk	Kataklasit 2	3,0*		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	fault core	Wetterstein	Ladin	
A4/2	Kalk	Dilation Breccia	4,6*		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	fault core	Wetterstein	Ladin	2
A4/3	Kalk	Kataklasit 1	2,2*		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	fault core	Wetterstein	Ladin	
A4/4	Kalk	FF4	4,3*		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	fault core	Wetterstein	Ladin	
A4/5	Kalk	Kataklasit 2	3,8		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	fault core	Wetterstein	Ladin	3
A4/6	Kalk	Dilation Breccia	6,5		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring		Wetterstein	Ladin	
A4/7	Kalk	FF3	3,9*		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	fault core	Wetterstein	Ladin	
A4/8	Kalk	FF4	3,3*		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	fault core	Wetterstein	Ladin	1
A4/9	Kalk	FF4	4,8		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	damage zone 2m nördlich fault	Wetterstein	Ladin	
A4/10	Kalk	FF3	1,8		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	damage zone 6m südlich fault core	Wetterstein	Ladin	
A4/11	Kalk	FF2	2,2		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	damage zone 100m südl fault	Wetterstein	Ladin	
A4/12	Kalk	FF2	1,7		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	damage zone 100m südl fault	Wetterstein	Ladin	

\* die gelb markierten Daten wurden aus der Arbeit von Bauer, 2010 übernommen

A4/13	Kalk	FF2	1,1		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	damage zone 100m südl fault	Wetterstein	Ladin	
A4/14	Kalk	FF2-3	2,3		664.220 278.550	Weichselboden Unterer Ring	damage zone 100m südl fault	Wetterstein	Ladin	
A5/1	Kalk	Kataklasit 1	3,6*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	1
A5/2	Kalk	Protokataklasit	2,5*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	2
A5/3	Kalk	Kataklasit 2	1,4*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	
A5/4	Kalk	Kataklasit 1?	3,0*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	2
A5/5	Kalk	Kataklasit 2	4,0*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	4
A5/6	Kalk	Kataklasit 2	4,8*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	
A5/7	Kalk	Kataklasit 2	2,0*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	
A5/8	Kalk	Kataklasit 1	2,7*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	
A5/9	Kalk	Dilation Breccie	3,6*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	
A5/10	Kalk	Kataklasit 1	Ab- sandung	*	653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	
A5/11	Kalk	Kataklasit 1	2,5*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	fault core	Wetterstein	Ladin	1
A5/12	Kalk	FF3	2,3*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	damage zone	Wetterstein	Ladin	3
A5/13	Kalk	FF4	3,2*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	damage zone	Wetterstein	Ladin	1
A5/15	Kalk	FF2	1,0*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	damage zone	Wetterstein	Ladin	2
A5/16	Kalk	FF4	2,1*		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	damage zone	Wetterstein	Ladin	2
A5/18	Kalk	Drucklösungs- breccie	2,1		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	nicht anstehend	Wetterstein	Ladin	
A5/19	Kalk	Drucklösungs- breccie	(3,9) Ab- sandung		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	nicht anstehend	Wetterstein	Ladin	
A5/20	Kalk	Drucklösungs- breccie	1,5		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	nicht anstehend	Wetterstein	Ladin	
A5/21	Kalk	FF 2	1,2		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	damage zone	Wetterstein	Ladin	
A5/22	Kalk	FF3	2,7		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	damage zone	Wetterstein	Ladin	
A5/23	Kalk	Drucklösungs- breccie	(4,3) Ab- sandung		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	nicht anstehend	Wetterstein	Ladin	
A5/24	Kalk	Drucklösungs- breccie	1,4		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	nicht anstehend	Wetterstein	Ladin	
A5/FU	Kalk	Drucklösungs- breccie	1,0		653.400 277.300	Griesgassl/Brunntal	nicht anstehend	Wetterstein	Ladin	2

61

\* die gelb markierten Daten wurden aus der Arbeit von *Bauer, 2010* übernommen

## Zusammenfassung

Diese Masterarbeit beschäftigt sich mit einer umfassenden Charakterisierung spröder, karbonatischer Störungsgesteine aus dem Umfeld des Hochschwabmassivs in den nördlichen Kalkalpen, sowie mit der Bewertung deren Reservoireigenschaften.

Alle beprobten Störungsgesteine sind dem Störungssystem der sinistral streichenden Salzach-Ennstal-Mariazell-Puchberg Störung (Linzer et al, 1995) zuzuordnen.

Für die Bewertung der Reservoireigenschaften wurden Porositätsmessungen nach der ÖNORM EN 1936, Heliumporosität sowie Permeabilitätsmessungen mit einem Minipermeameter durchgeführt. Den zuvor im Gelände klassifizierten Störungsgesteinen wurden Porositäten und Permeabilitäten zugeordnet, die eine Einschätzung der Durchlässigkeit der verschiedenen Zonen (Störungskern, Störungsrand) innerhalb einer Störung zulassen. Weiters werden die Vor- und Nachteile der Messmethoden besprochen und Vorschläge für eine weiterführende Untersuchung der Reservoireigenschaften von Störungszonen in den Kalkalpen gemacht.

Um vorliegende Porositäten und Permeabilitäten erklären zu können, wurden die Gesteine im Lichtmikroskop, sowie Elektronenmikroskop und mit Kathodenlumineszenz untersucht. Die Erforschung der Proben durch die unterschiedliche Methodik, ergab eine sich gut ergän-

zende, umfassende Charakterisierung der Prozesse, die zum Zerbrechen (Kataklyse) des Ausgangsgesteins führen sowie einer Analyse der teilweisen Zementierung der so entstandenen Hohlräume. Zudem wurden die Charakteristika der interpartikulären Porosität - vor allem in der Matrix der Kataklysite - sowie die Kluftporosität in geklüfteten Karbonaten des Störungsrandes analysiert.

Es konnte gezeigt werden, dass im Gelände gleich klassifizierte Störungsgesteine oft einen anderen mikroskopischen Aufbau zeigen, der stets die Differenzen in den Porositätswerten erklären konnte. Die Studie ergab somit, dass eine Störungsgesteinsklassifizierung, die im Gelände durchgeführt wird, nicht unbedingt auf Mikrostrukturen der Kataklysite und damit auf deren Eigenschaften in Bezug auf Porosität und Permeabilität anwendbar ist. Aus diesem Grund werden drei unterschiedliche mikrostrukturelle Typen von Störungsgesteinen festgelegt.

Für die Charakterisierung der Feinkluftsysteme in den Gesteinen des Störungsrandes wurde Mikro-Computertomographie als eine Methode zur Bestimmung der Kluftgeometrien und Kluftöffnungsweiten getestet. Die Untersuchungen ergaben, dass sich die Methode gut für eine Visualisierung des 3D Charakters eines Gesteins eignet, jedoch keine einfachen Berechnungen der Kluftöffnung und der Porosität zulässt.

## Summary

This Master Thesis provides an integrated characterization of brittle calcareous fault rocks from the area north of the Hochschwab Massif in the Northern Calcareous Alps, Austria. The Thesis further includes an assessment of the reservoir properties of these fault rocks, which derive from fault zones belonging to the the sinistral Salzachtal-Ennstal-Mariazell-Puchberg strike-slip fault system (*Linzner et al, 1995*).

Assessments of the reservoir characteristics comprise porosity measurements according to ÖNORM EN 1936, Helium-porosity-measurements and permeability-measurements with a minipermeameter. The classification of fault rocks distinguishes between different types of cataclasite from the fault core and rocks associated with the damage zone (dilation breccias and microfractured rocks). Measurements of porosity and permeability values from the different rock types are used for a tentative hydrogeological characterization of fault core and the damage zones in both, dolomite and limestone host rocks. Finally, a discussion of the advantages and disadvantages of the applied analytical methods is used to suggest further investigations.

In order to explain the observed differences in porosity and permeability the fault rocks were examined under the microscope, the electron microscope and the cathodoluminescence. The combination of these different methods complements to an integrated description and

characterisation of the rocks. It further allows an interpretation of the processes leading to grain size reduction by faulting (cataclasis) and the partial cementation of the newly formed voids. The results characterise both, the inter-particle porosity in the matrix of cataclastic fault rock and fracture porosity carried by joints/microfractures in the rocks of the fault damage zones.

It could be shown that classification of cataclasites in the field is not always fitting to the microscopically observed structure of the rocks. This appears remarkable with respect to the fact that differences in the microstructure could readily explain the distinct porosity values, which were obtained from macroscopically very similar rocks. The study therefore shows, that macroscopic classification of fault rock in the field does not necessarily reflect micro-structural differences and distinct properties with respect to porosity/permeability. Three micro-structural groups of fault rocks have been defined accordingly.

The approach for characterising jointed and micro-fractured rocks of the fault damage zones includes micro-computer tomography. The method was tested to map micro-fracture networks in 3D. Results show that the method provides good insights into the 3D-geometry of microstructures. However, it does not allow for an easy determination of the opening width of micro-fractures and fracture porosity.

# Curriculum Vitae

## Persönliche Informationen

Name | Theresa-Christina Schröckenfuchs  
Familienstatus | unverheiratet, keine Kinder  
Staatsbürgerschaft | Österreich  
Geburtsdatum | 20. Juni 1988  
Geburtsort | Wien

## Universität und Ausbildung

- 2010/10 - heute Master Studium: Geologie an der Universität Wien  
Titel der Masterarbeit: "Mikrotektonische Analyse und Reservoireigenschaften von karbonatischen Störungsgesteinen"  
Betreuer: Dr. Kurt Decker  
Die Masterarbeit wurde als Teil eines Projektes für die Wiener Wasserwerke verfasst
- 2006/10 - 2010/10 Bachelor Studium: Erdwissenschaften an der Universität Wien
- 2006/09 - 2008/09 Kolleg für "Graphik- und Kommunikations- Design" an der "Höheren Graphischen Bundes-, Lehr- und Versuchsanstalt", Leyserstraße 6, 1140 Wien  
Titel der Diplomarbeit: "Graphische Illustration und Symbolik in der Geologie"  
Abgeschlossen mit Auszeichnung

## Bildung

- 1998/09 - 2006/06 humanistisches Gymnasium (Piaristengymnasium, BG8, 1080 Wien)  
1994/09 - 1998/06 Piaristenvolksschule Maria Treu, 1080 Wien

## Arbeitserfahrung

- 2011/03 - 2011/10 Angestellt an der Universität Wien im Rahmen des Projekts „KATER-Karst Water“
- 2007/01 - heute Freiberufliche Arbeit als Graphik Designerin für das Internationale Kammermusik Festival Allegro Vivo und diverse private Firmen.
- 2008/09 - 2011/02 Anstellung als Graphik Designerin bei FAME Investments AG, 1010 Wien
- 2010/03 - 2010/07 Tutor für „Geologische Kartierung“ an der Universität Wien

## Stipendien

Leistungsstipendien der Universität Wien für die Jahre 2008/2009 und 2010/2011

## IT-Kenntnisse

ArcGIS, Gocad, MathLab, Mathematica, Tectonics FP, ImageJ, CorelDraw, MS Office, Photoshop, Indesign, Illustrator, Flash, Freehand; Mac OS X; Windows 7; Windows XP

## Fremdsprachenkenntnisse

Englisch (fließend), Russisch (Grundkenntnisse)