

Modellierung von Mikrostrukturen: Faserwachstum in Druckschattenhöfen

Von Daniel Köhn und Cees W. Passchier

Strukturgeologen erforschen, wie Gesteine in der Erde ihre Form ändern. Gesteine können brechen, wobei Erdbeben entstehen, aber auch langsam fließen, wie Eis in einem Gletscher. Dabei wird die ursprüngliche sedimentäre oder vulkanische Schichtung zu so genannten Deformationsstrukturen verformt. Typische Fließgeschwindigkeiten sind sehr langsam, Millimeter pro Jahr in einem Kubikmeter Gestein, aber über Millionen von Jahren durchaus in der Lage, große Formänderungen zu erzeugen und spektakuläre Strukturen zu bilden (Abb. 1). Die Falte in Abb. 1 ist in 700 Millionen Jahre alten Sedimenten entstanden und bildete sich vor 500 Millionen Jahren. Strukturgeologen untersuchen moderne Gebirgsbildungsprozesse und die dabei entstehenden Strukturen, wie beispielsweise die Falte in Abb. 1. Auch wird versucht, Gebirgsbildungsprozesse in der Vergangenheit nachzuvollziehen, was viel schwieriger ist, weil viele Spuren des Geschehenen ausgelöscht sind. Der Geologe arbeitet auf sehr verschiedenen Größenskalen, von Mikrometern bis hin zu Kilometern. Da man Großstrukturen wie die Falte in Abb. 1 nicht einfach im Labor untersuchen kann, nimmt man Proben, die Mikrostrukturen enthalten. Unter Mikrostrukturen verstehen wir Strukturen, die eine Größe von Mikrometern bis Millimetern haben. Mikrostrukturen, die sich während der Deformation eines Gesteins bilden, enthalten Information über die Deformationsprozesse und ihre Geschichte und erlauben es, die Bedingungen der Gebirgsbildung der Vergangenheit zu rekonstruieren. Eine wichtige Aufgabe des Strukturgeologen besteht darin, die Entstehung von Mikrostrukturen zu erforschen und herauszufinden, welche Information über Gebirgsbildungsprozesse in Mikrostrukturen gespeichert werden.

Faserige Druckschattenhöfe bilden eine besondere Art von Mikrostrukturen, da die Fasern progressiv während der Deformation des Gesteins wachsen und so einen längeren Zeitraum der Deformation speichern können (Abb. 2). Mit Fasern sind in diesem Fall Kristalle von Kalzit oder Quarz gemeint, die entgegen ihrer natürlichen Kristallform in die Länge wachsen. Ähnliche Fasern wachsen in Wasserleitungen und auf feuchten Kellerwänden. Im Gestein findet das Wachstum von Fasern am Rand eines harten Kristalls (zum Beispiel Pyrit) statt. Unter hoher Temperatur und Druck in einer Tiefe von 10 bis 15 Kilometern fließt Schiefer langsam, wobei sich eine Schieferung bildet. Der Schiefer wird bei der Deformation einfacher deformiert als der harte Pyrit, so dass der Schiefer vom Pyrit weggezogen wird und an der Seite kleine

Öffnungen entstehen, so genannte „Druckschatten“ in denen die faserigen Kristalle wachsen. Die Geometrie der Fasern in den Druckschattenhöfen kann relativ komplex werden mit Fasern, die gebogen sind und in verschiedene Richtungen wachsen. Um zu verstehen, wie diese komplexen Fasergeometrien entstehen und welchen Teil der Deformationsgeschichte sie speichern, haben wir ein numerisches Model entwickelt, um das Faserwachstum zu simulieren.

Mikrostrukturen enthalten wichtige Informationen, um den Prozess einer Gebirgsbildung nachzuvollziehen.



Abb. 1: Falte in Sedimenten in Namibia, die 700 Millionen Jahre alt sind. Der Geländewagen zeigt die Größe der Falte.

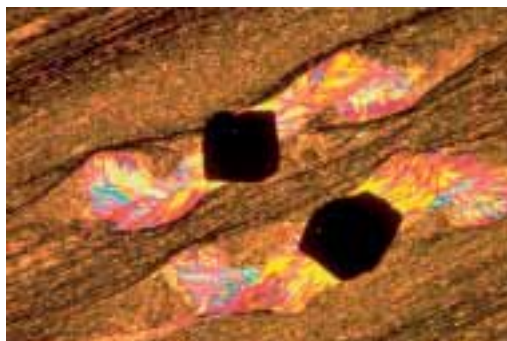


Abb. 2: Faserige Druckschatten um Pyrite in einer Scherzone aus den nördlichen Pyrenäen in Lourdes, Frankreich. Dünnschliffbild mit gekreuzten Polarisatoren und einer Breite von 0,5 Zentimetern.

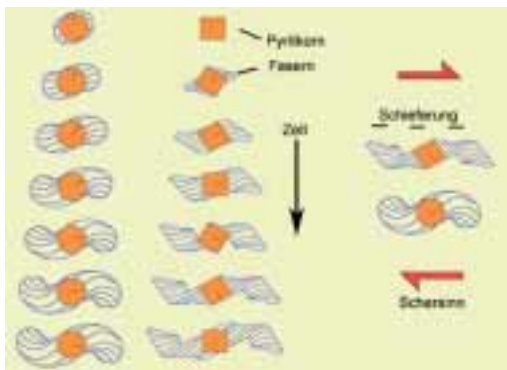


Abb. 3: Schematische Darstellung von Faserwachstum in Druckschattenhöfen um Pyrite. Die Deformation enthält eine Rotation im Uhrzeigersinn, deswegen sind die Druckschattenhöfe und die Fasern gebogen.

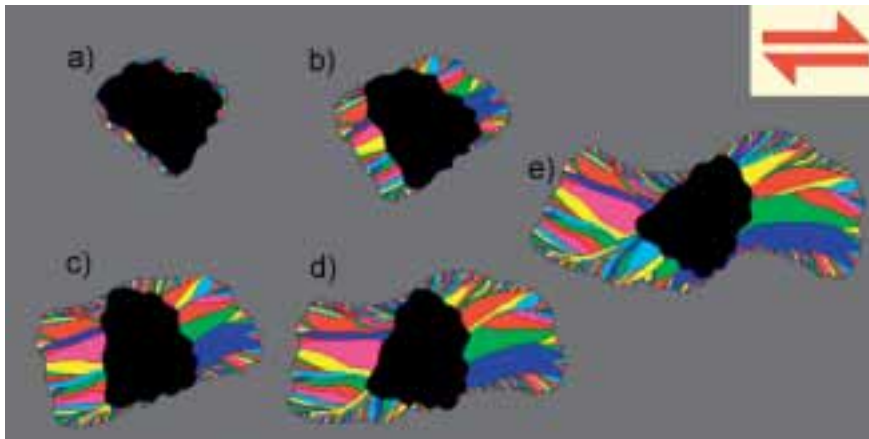


Abb. 4: Simulation des Faserwachstums in Druckschattenhöfen mit dem Programm „Fringe Growth“. Nicht alle Fasern wachsen in der Öffnungsrichtung zwischen Pyrit (schwarz) und Druckschattenhof (bunt).

Abb. 2 zeigt faserige Druckschattenhöfe um zwei Pyrite aus einer stark deformierten Zone in den nördlichen Pyrenäen bei Lourdes, Frankreich. Die Bildbreite entspricht etwa einem halben Zentimeter und das Bild zeigt eine Gesteinsscheibe, die so dünn ist, dass das Gestein durchsichtig wird. Solche „Dünnschliffe“ werden mit polarisiertem Licht unter dem Mikroskop analysiert. Die Matrix der Druckschattenhöfe besteht aus einem Schiefer, die Spaltungsflächen der Schieferung sind als dunkle Streifung zu erkennen, die um die Druckschattenhöfe laufen. Die Druckschattenhöfe sind gebogen, was anzeigt, dass die Deformation eine Rotation im Uhrzeigersinn beinhaltet. Dabei wurde die obere Bildhälfte relativ zur unteren parallel zur Schieferung nach rechts oben bewegt. Die Fasern wachsen gegen den Pyrit, so dass die äußeren Bereiche der Druckschatten die ältesten Kristalle beinhalten. Die Druckschatten selbst bewegen sich während der Deformation vom Pyrit weg und rotieren im Uhrzeigersinn. Dieses Phänomen wird in Abb. 3 veranschaulicht, welche die Entwicklung von faserigen Druckschatten um ein rundes und ein viereckiges Objekt zeigt. Die entstehende Geometrie kann sehr kompliziert sein, ist aber abhängig von der genauen Relativbewegung von Pyrit und umgebendem Schiefer. Es ist darum zu erwarten, dass ein Teil der Fasern die Information über diese Bewegung zwischen Druckschatten und Pyrit speichert. Strukturgeologen können aus diesen Geometrien die Bewegungsart und Geschichte des umgebenden Gesteins rekonstruieren.

Die wachsenden Fasern folgen der progressiven Öffnung der Druckschatten. Die gezeigte Deformation beinhaltet ebenfalls eine Rotation im Uhrzeigersinn (rote Pfeile in Abb. 3), wobei die Schieferung horizontal liegt und die obere Bildhälfte sich relativ zur unteren nach rechts bewegt. Aufgrund dieser Rotation werden die Druckschatten vom Pyrit weggezogen und rotieren, so dass sie eine Biegung in Richtung der Rotation aufweisen. Die Fasern, welche die Bewegung zwischen Pyrit und Druckschatten nachbilden, zeigen ebenfalls eine Biegung in Richtung der Rotation.

Um das Wachstum der Fasern genau zu simulieren, wurde das Programm „Fringe Growth“ entwickelt. In dem Programm wird der Druckschattenhof vom Pyrit weggezogen und in dem entstandenen Freiraum wachsen Fasern gegen den Pyrit. Abb. 4 zeigt das Beispiel einer Simulation in fünf Zeitschritten. Der Pyrit ist in Schwarz dargestellt und die wachsenden Fasern in bunten Farben. Die modellierte Deformation enthält wie in den vorherigen Beispielen eine Rotation im Uhrzeigersinn (rote Pfeile). Bei dem progressiven Wachsen des Druckschattenhofs kann man nun erkennen, dass sich verschiedene Fasertypen bilden: Fasern, die der Bewegungsrichtung zwischen Pyrit und Druckschattenhof folgen, und Fasern, die dies nicht tun. Sieht man sich die natürlichen Beispiele in Abb. 2 an, zeigt sich dasselbe Phänomen. Die meisten Fasern folgen der Öffnungsrichtung, aber einzelne Fasern wachsen schräg zur Öffnungsrichtung. Eine genaue Studie der Simulation in Abb. 4 kann diese zwei Fasertypen erklären. Der Pyrit in Abb. 4 hat eine relativ raue Oberfläche. Fasern, die der Öffnungsrichtung folgen, sitzen an Vorsprüngen auf dem Pyrit fest. Im Gegensatz dazu wachsen Fasern, die nicht der Öffnungsrichtung folgen, zwischen diesen Vorsprüngen oder am Rand des Druckschattens. So bekommen wir innerhalb eines Druckschattens Fasern, die wir für Deformationsanalysen verwenden können und solche, die uns keine Information geben.

Aufgrund der Ergebnisse der Simulationen haben wir ein Modell entwickelt, wie Fasern in Druckschattenhöfen für Deformationsanalysen verwendet werden können.^{1,2} Faserige Druckschattenhöfe speichern Information über die progressive Deformation und die enthaltene Rotation. Mit dieser Information kann man zum Beispiel bestimmen, wie, in welcher Folge und wie schnell die große Falte von Abb. 1 entstanden ist. Diese Information kann bei Rekonstruktionen von Gebirgsbildungen in der geologischen Vergangenheit verwendet werden. Somit sind diese Mikrostrukturen exzellente Werkzeuge für den Feldgeologen.

■ Summary

Microstructures are used by Structural Geologists to unravel large-scale tectonic events. A very interesting kind of microstructure are fibrous strain fringes. These structures record parts of the deformation history of a rock, since they grow while the rock is being deformed. We developed a computer program to investigate fibre growth and the development of strain fringes in detail. We observe that not all fibres track the opening path between the fringes and the central object. Tracking fibres are locked to asperities on the central object while others grow perpendicular to flat faces. Based on the computer simulations we developed a new method for the use of fibrous strain fringes as microtectonic tools for large scale tectonic analysis.

Literatur

- 1) Koehn, D., Aerden, D.G.A.M., Bons, P.D., Passchier, C.W., (2001). Computer experiments to investigate complex fibre patterns in natural antitaxial strain fringes. *Journal of Metamorphic Geology*, 19, 217-232.
- 2) Passchier, C.W., Trouw, R.A.J., (2005) *Microtectonics*. Springer, 366 pp.



Dr. Daniel Köhn



**Univ.-Prof. Dr.
Cees W. Passchier**

DANIEL KÖHN wurde 1969 in Karlsruhe geboren. Er studierte Geologie an den Universitäten Karlsruhe und Cork (Irland) und promovierte 2000 bei Prof. Cees W. Passchier in Mainz. 2001 war Daniel Köhn als Research Fellow am Center for Advanced Studies der Norwegischen Akademie of Science and Letters tätig und von 2001 bis 2002 an der Universität von Oslo. Seit 2002 arbeitet er als Assistent in der Tektonophysik unter Prof. Cees W. Passchier.

CEES W. PASSCHIER wurde 1954 in den Niederlanden geboren. Er studierte Geologie an der Leiden State Universität und promovierte 1982 an der Universität von Amsterdam. Von 1982 bis 1984 arbeitete Cees Passchier an der Universität von Swansea in Wales und die folgenden neun Jahre als Lecturer an der Universität von Utrecht. Seit 1993 ist er Professor an der Universität Mainz und Leiter der Tektonophysik.

■ Kontakt:

Dr. Daniel Köhn

Tectonophysik
Institut für Geowissenschaften
Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Johann-Joachim-Becher-Weg 21
55128 Mainz
Tel. +49 (0) 6131 39-24531
Fax +49 (0) 6131 39-23863
E-Mail : koehn@mail.uni-mainz.de
<http://www.staff.uni-mainz.de/koehn/>

Anzeige



**FERNWÄRME
FÜR MAINZ**
Heizkraftwerk GmbH Mainz

Günstig, komfortabel und
umweltfreundlich. Das ist Fernwärme.

Die richtige Alternative bei den
heutigen Energiepreisen.

Heizkraftwerk GmbH Mainz

Gaßnerallee 33

55120 Mainz

Telefon 06131/976-13470

www.fernwaerme-fuer-mainz.de