

RÜCKSTREUELEKTRONEN- MIKROSKOPIE

**METHODE - ANWENDUNGEN -
BEISPIELE**

Robert
Sturm



Die Rückstreuелеktronenmikroskopie hat insbesondere in den vergangenen Jahrzehnten eine breite Verwendung in den Naturwissenschaften gefunden. In den Material- und Erdwissenschaften konnten mithilfe dieser Untersuchungsmethode zahlreiche offene Fragen beantwortet werden. Deshalb zählt die besondere Form der Elektronenmikroskopie in den genannten Disziplinen mittlerweile zum methodischen Standardrepertoire.

Die Besonderheit der Rückstreuелеktronenmikroskopie (engl. Backscattered Electron Microscopy) liegt im Wesentlichen darin, dass die an der Probe reflektierten Elektronen nicht nur ein detailliertes Bild von der Objektoberfläche liefern, sondern auch Auskunft über die chemische Zusammensetzung des Untersuchungsgegenstandes geben. Zumeist dient das Rückstreuелеktronenbild (Rückstreuелеktronenkontrast) zur qualitativen Analyse der Probenoberfläche, wobei weiterführende chemische Messung unter Zuhilfenahme verschiedener Verfahren (wellenlängendispersives System, energiedispersives System) erfolgen. Für eine möglichst effiziente Kombination von Bildgebung auf der einen Seite und chemischer Analyse auf der anderen erweist sich vielfach die Elektronenstrahlmikrosonde als Gerät der Wahl.

In der vorliegenden Monografie soll ein kurzer Einblick in die Funktionsweise der Rückstreuелеktronenmikroskopie gewährt werden, ehe das Hauptaugenmerk auf verschiedene Anwendungsbereiche des Verfahrens in den Material- und Erdwissenschaften gelenkt wird. So gelingt es

mit der Methode etwa, das Wachstum magmatischer Kristalle einer detaillierten Untersuchung zuzuführen. Die Monografie richtet sich vor allem an jenen Kreis an Lesern und Leserinnen, welche die Rückstreuелеktronenmikroskopie für künftige Forschungen zu nutzen gedenken.

Robert Sturm, Herbst 2021

Inhalt



1. **Einleitung**

- 1.1 Rasterelektronenmikroskopie – Überblick
- 1.2 Kurze Geschichte der Rasterelektronenmikroskopie
- 1.3 Funktion des Rasterelektronenmikroskops
- 1.4 Signalarten
- 1.5 Sekundär- und Rückstreuелеlektronenkontrast

2. **Methoden**

- 2.1 Von der Probe zum fertigen BSE-Bild
- 2.2 Präparation von Proben für den Rückstreuелеlektronenkontrast
- 2.3 Erzeugung von BSE-Bildern an der Elektronenstrahlmikrosonde

3. **Anwendungen**

- 3.1 Metamorphe Mineralumwandlungsprozesse im BSE-Bild
- 3.2 Typen der Zonierung bei akzessorischem Zirkon
- 3.3 Zerstörung der internen Kristallstruktur am Beispiel von Zirkon
- 3.4 Wachstumsverläufe bei Kristallen von akzessorischem Zirkon

4. **Resümee**

4.1 Rolle der Rückstreuелеlektronenmikroskopie in den Naturwissenschaften

4.2 Beitrag der Rückstreuелеlektronenmikroskopie zum wissenschaftlichen Fortschritt

4.3 Zukünftige Forschungsfelder

Literatur

Bildnachweis

1.1 Rasterelektronenmikroskopie - Überblick

Die Rasterelektronenmikroskopie (REM) wird im Englischen als Scanning Electron Microscopy (SEM) bezeichnet und ist im Allgemeinen durch die Verwendung eines Elektronenstrahls charakterisiert, welcher das vergrößert abzubildende Objekt abrastert. Durch die Interaktion der Elektronen mit dem Untersuchungsgegenstand wird die Erzeugung eines Bildes der betreffenden Objektoberfläche ermöglicht, wobei sich die entsprechenden Abbildungen durch eine außergewöhnlich hohe Schärfentiefe auszeichnen [1].

Das Rasterelektronenmikroskop besitzt ein etwa 100- bis 1000-fach höheres Auflösungsvermögen als das Lichtmikroskop, wodurch dem Nutzer ein detaillierter Einblick in den Mikro- und Nanokosmos gewährt wird. Neuere Geräte erlauben auch eine Durchführung der rasternden Abbildung im Transmissionsmodus (Scanning Transmission Electron Microscopy oder STEM), was jedoch den Einsatz wesentlich höherer Beschleunigungsspannungen des Elektronenstrahls zur Voraussetzung hat [1-3].

1.2 Kurze Geschichte der Rasterelektronenmikroskopie

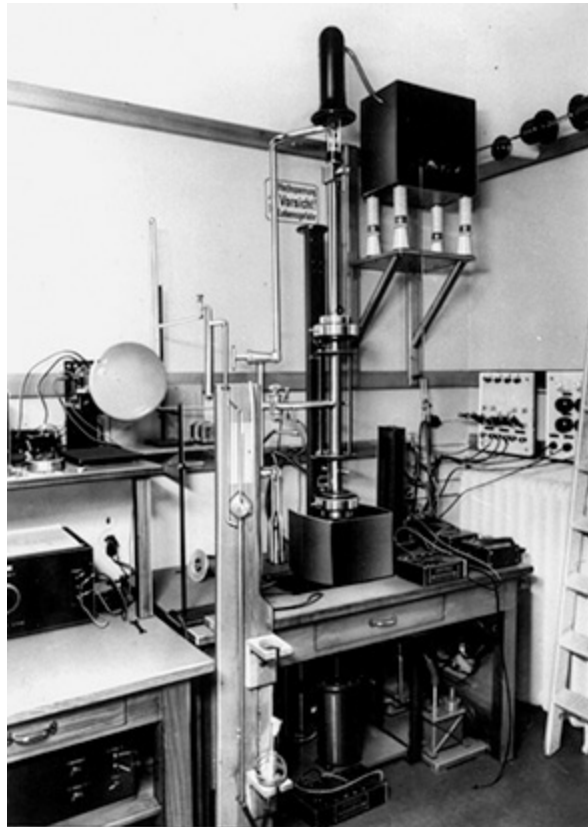
Die technischen Grundlagen für die Rasterelektronenmikroskopie gelangten bereits in den 1920er Jahren zur umfangreichen Erforschung. Im Jahr 1925 gelang Hans Busch die gezielte Ablenkung von Elektronen mithilfe eines Magnetfeldes, was die Konstruktion spezieller Elektronenlinsen zur Folge hatte. Diese sind in Hinblick auf ihre Funktion als Analogon zu den Glaslinsen bei Lichtstrahlen zu verstehen. Im Jahr 1931 erfolgte durch Ernst Ruska und Max Knoll die Konstruktion des ersten Elektronenmikroskops, welches jedoch noch auf dem Durchstrahlungs- oder Transmissionsprinzip beruhte. Dementsprechend lieferte es keine Darstellung der Objektoberfläche, sondern zum Teil noch schwer interpretierbare Bilder vom Objektinneren. Das Gerät verfügte zudem über ein sehr stark eingeschränktes Auflösungsvermögen, was auf zahlreiche technische Einschränkungen zurückgeführt werden konnte. Im Jahr 1933 gelang Ernst Ruska der Bau eines weiteren Elektronenmikroskops, welches sich durch ein Auflösungsvermögen von 50 nm auszeichnete und damit die Durchlichtmikroskopie in Bezug auf die Objektvergrößerung deutlich in den Schatten zu stellen vermochte [1-4].

Die Konstruktion des ersten Rasterelektronenmikroskops erfolgte im Jahr 1937 durch den deutschen Ingenieur Manfred von Ardenne (Abb. 1). Das Gerät zeichnete sich einerseits durch seine hohe Auflösung und andererseits durch seine Fähigkeit der Abtastung sehr kleiner Raster (Seitenlänge: 10 μm) aus. Diese beiden Eigenschaften ließen sich durch die zweistufige Verkleinerung und Feinfokussierung des Elektronenstrahls erreichen. Schlussendlich betrug der Sondendurchmesser (Durchmesser des Elektronenstrahls) lediglich noch 10 nm, womit eine technische Revolution in der Elektronenmikroskopie eingeläutet worden war. Das auf Manfred von Ardenne zurückzuführende Abtastprinzip ermöglichte freilich nicht nur die gezielte Untersuchung der

Objektoberfläche, sondern darüber hinaus auch noch die Eliminierung des chromatischen Fehlers, welcher eine besondere Problematik der Elektronenmikroskopie darstellt [4-7].

Abbildung

1



Erstes hochauflösendes Rasterelektronenmikroskop von Manfred von Ardenne (Baujahr 1937).