



# Rasterelektronenmikroskop

Duale Hochschule Baden-Württemberg Heidenheim

## Anwendungsbereiche

- Qualitätssicherung
- Metallverarbeitende Industrie
- Elektro- und Halbleiterindustrie
- Forschung in Biologie u. Chemie
- Forensik und Kriminalistik
- Mineralogie
- Mess- und Prüftechnik
- Werkstoffindustrie
- Materialwissenschaften
- Nanotechologie
- Medizin

## Untersuchungsobjekte

- Metallische, mineralische und biologische Proben
- Schweißnähte, Zugproben und gesinterte Bauteile
- Magnetische Proben
- Papier, Fasern sowie Faserverbundwerkstoffe
- Nichtvakuumstabile Klein- und Kleinstlebewesen
- Mikrochips, Platinen und Solarzellen
- Schmuckgegenstände
- Lacksplitter und Pulverreste
- Mikroben, Gewebe und Zellstrukturen

## Besondere Merkmale

- Detektion von Oberflächen
- Auswertung der Topographie von Materialproben
- Umfassende Schadensanalyse
- Detektion nanoskaliger Strukturen
- Untersuchung metallischer, mineralischer und biologischer Proben
- Professionelle Dokumentation der Ergebnisse
- Analyse chemischer Stoffzusammensetzungen
- Messen unter Normaldruck und unter Hochvakuum
- Untersuchung von Beschichtungsfehlern
- Zerstörungsfreie Messmethode
- Einfache und schnelle Probenpräparation
- Kundenspezifische Analysen
- Präzise Ergebnisse durch aktive Schwingungsdämpfung des Systems
- Intuitive Bedienung
- Einfaches Handling der Proben durch einen integrierten Objektmanipulator
- Navigation mit Kamera u. Sensoren
- Höchste Reinheit durch integrierte Stickstoffbelüftung

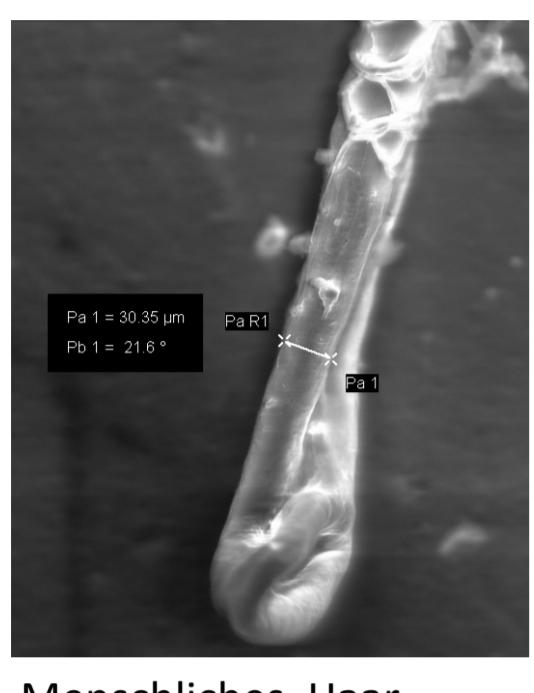
## Technische Daten

Feldemissionsrasterelektronenmikroskop  
Carl Zeiss Microscopy Sigma VP

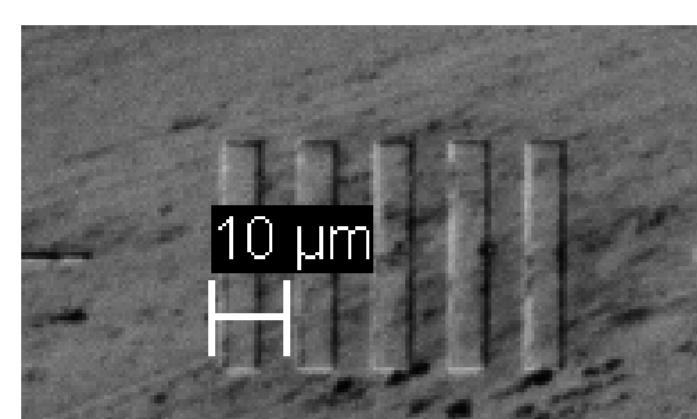
- Vergrößerung: Bis zu 1.000.000-fach
- Probengröße: Bis zu 250 mm Ø und 145 mm Höhe
- Bewegungsbereich: x: 125 mm    y: 125mm  
Neigung: -10° bis 90°; Rotation: 360°
- Bildgröße: Max. 3024 x 2304 Pixel
- Scan-Geschwindigkeit: 10 Bilder/1 Sek. bis 1 Bild/21 Min.
- Druckbereiche: Hochvakuum  
Druckvariabel von 2 Pa bis 133 Pa
- Detektion: Sekundärelektronen SE  
Rückstreu elektronen BSE  
Charakteristische Röntgenstrahlung
- Spannungsbereich: 0,1 kV bis 30 kV
- Spannungsbereich: 0,1 kV bis 30 kV

# Messung

- Integrierte Softwaremesswerkzeuge
- Einfaches Messkonzept
- Präzise Messungen bei höchster Auflösung und maximaler Vergrößerung
- Bestimmen von Materialphasen
- Ermittlung von Rauigkeitskennzahlen



Menschliches Haar



Kalibrierter Standard (700x vergrößert)

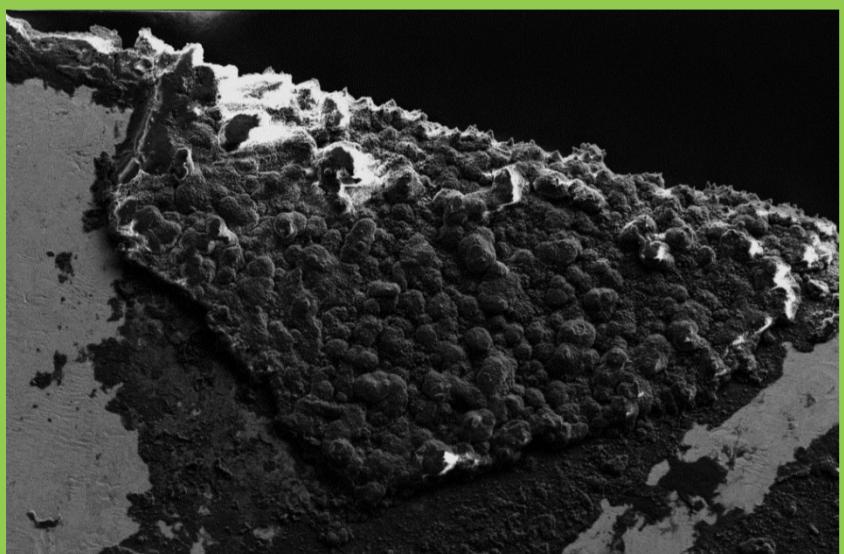
## Anwendung REM



## Ablauf

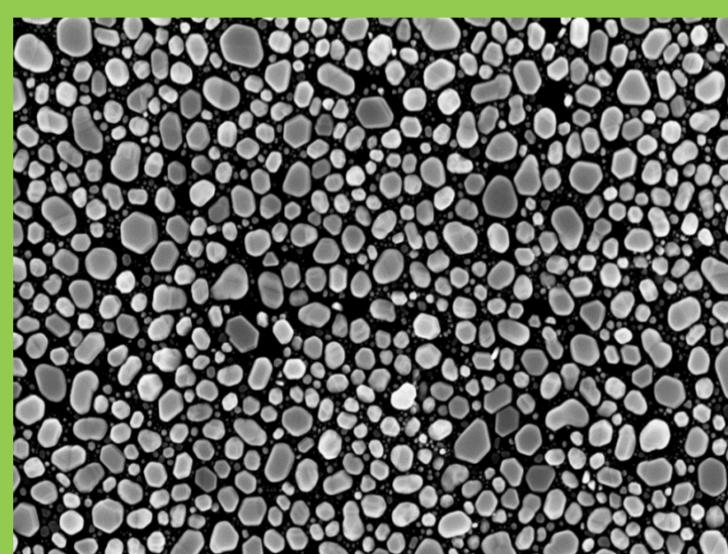
# Visualisierung

## Darstellung der Topographie



gebrauchte Rasierklinge (250x vergrößert)

## Detailansichten



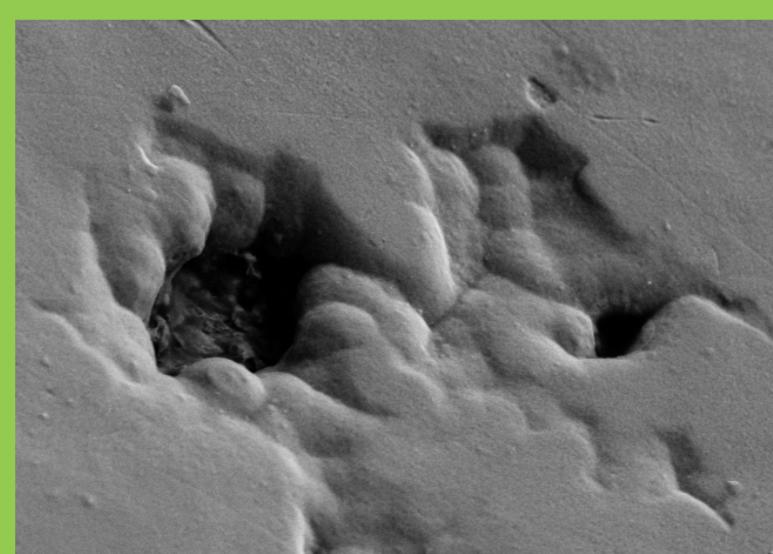
Gold auf Kohle (100.000x vergrößert)

## Hochauflösende Bilder



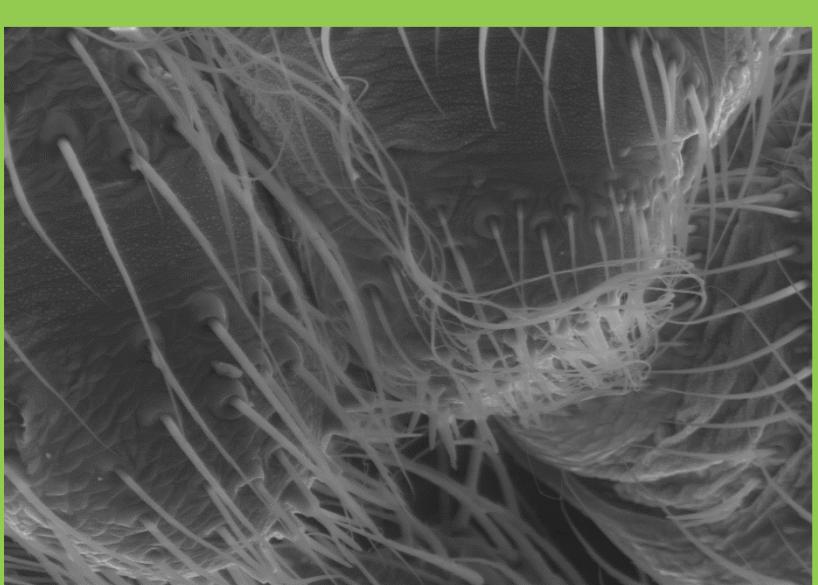
Schraube (125x vergrößert)

## Fehleridentifikation



Mikroriss (3.000x vergrößert)

## Visualisierung faszinierender Welten



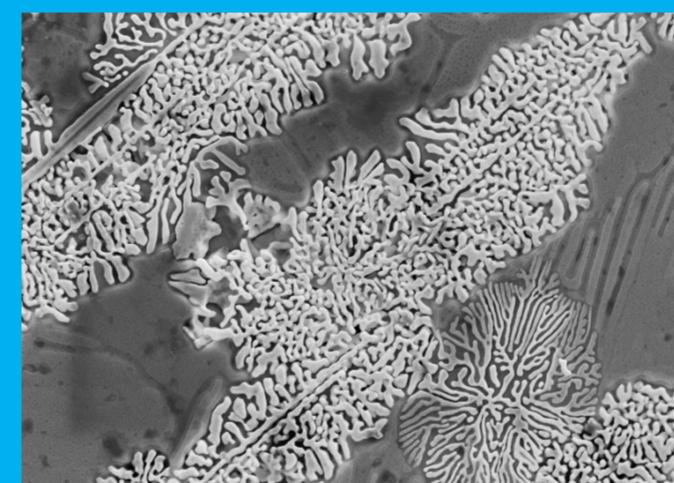
Oberfläche einer Spinne (1.000x vergrößert)



Fliege (150x vergrößert)

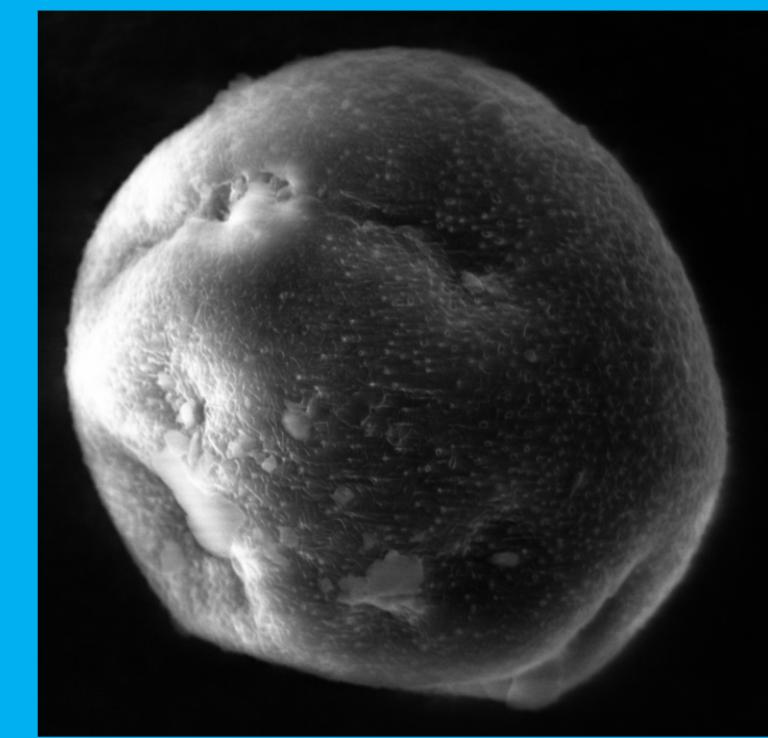
# Analyse

## Materialcharakteristika



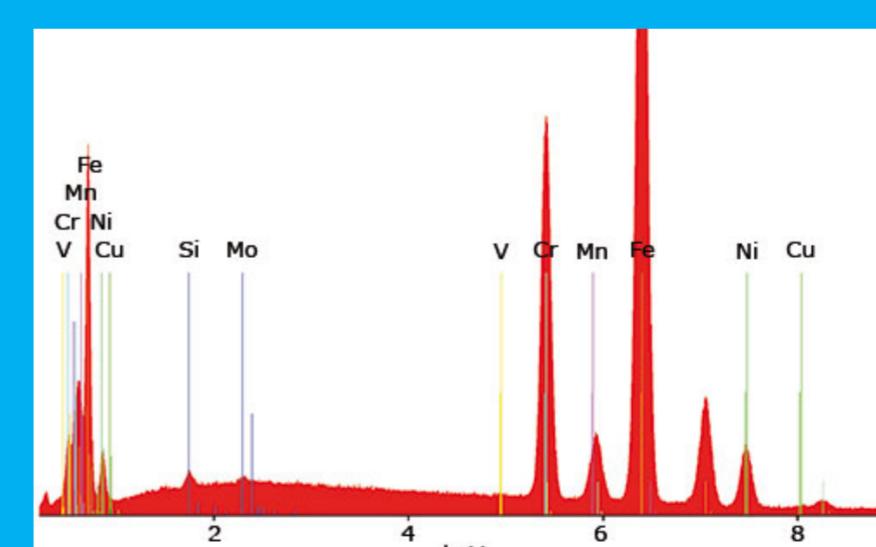
Aluminium-Wolfram-Dendriten

Analyse nichtvakuumstabiler Proben im druckvariablen Modus



Blütenpollen (4.000x vergrößert)

## Spektralanalyse



Spektralanalyse einer Edelstahlprobe

## Darstellung der chemischen Stoffzusammensetzung

Results		Primary energy	20.0 keV
Element	Series	Tilt angle	0,0°
Si	K series	35377	0,47 0,47 0,91 0,05
V	K series	11238	0,17 0,17 0,18 0,03
Cr	K series	1063909	17,41 17,39 18,44 0,49
Mn	K series	37807	0,82 0,82 0,83 0,05
Fe	K series	2608967	72,53 72,46 71,54 1,94
Co *	K series	17773	0,14 0,14 0,13 0,01
Ni	K series	195094	8,13 8,12 7,63 0,24
Cu	K series	5802	0,29 0,29 0,26 0,03
Mo	L series	7408	0,14 0,14 0,08 0,03
	Total	100,10	100,00 100,00

Stoffbestandteile von Edelstahl

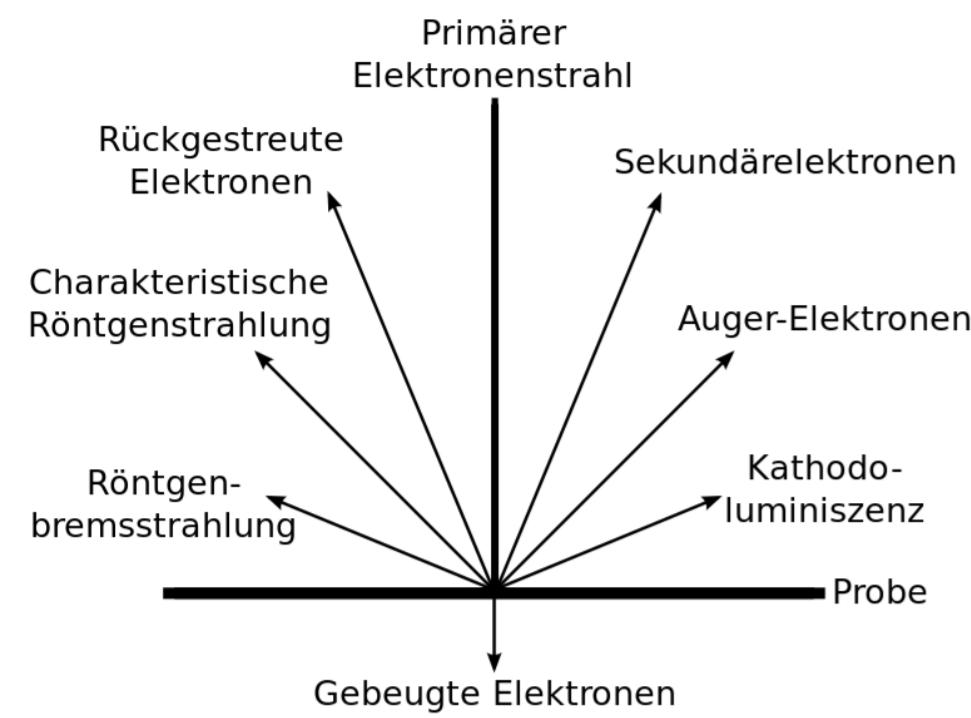
## Darstellung von Materialkontrasten



Verschiedene Phasen einer metallischen Probe

# Signalarten

Beim Auftreffen des primären Elektronenstrahles auf die Probe kommt es zu Wechselwirkungen der Materie:

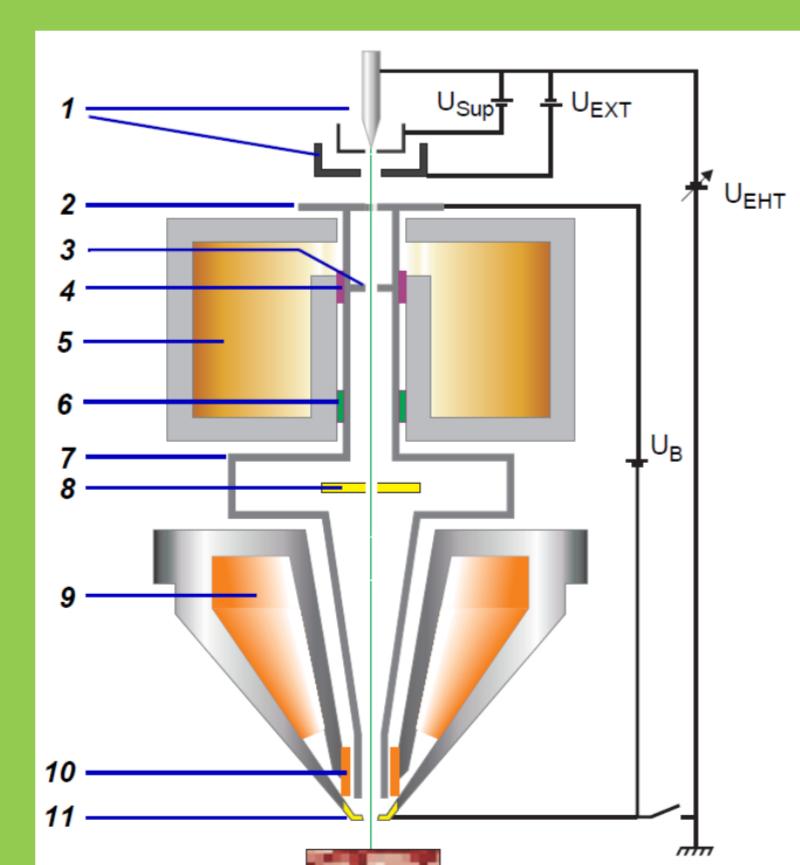


- **Sekundärelektronen SE:** Ionisation von Elektronen der äußeren Atomhülle.
- **Augerelektronen AE:** Strahlungslose Emission von Elektronen der äußeren Atomhülle aufgrund von Stoßprozessen im Atominneren.
- **Gebeugte Elektronen:** Elektronen, die eine Probe durchdringen.
- **Rückstreu elektronen BSE:** Von der Probenoberfläche abgelenkte Elektronen.
- **Charakteristische Röntgenstrahlung:** Strahlungsübergang bei der Emission von Elektronen der äußeren Atomhülle aufgrund von Stoßprozessen im Atominneren.

# Technologie REM

## Funktionsweise

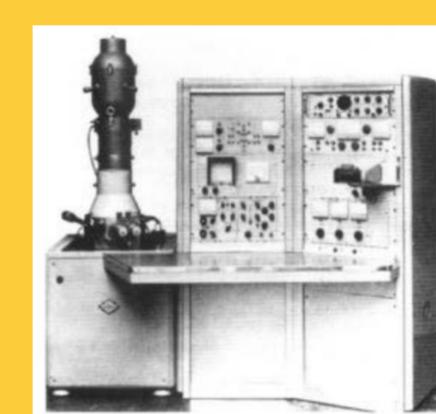
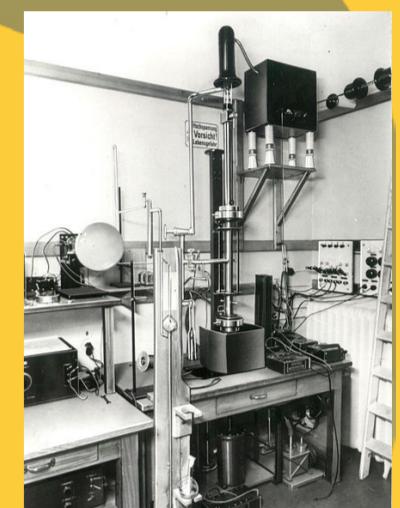
- Der **Schottky-Feldemitter (1)** emittiert Elektronen und beschleunigt sie zur **Anodenblende (2)**.
- Mit der **Mehrlochblende (3)** kann die Tiefenwirkung des Bildes beeinflusst werden, wobei die Blende zunächst **justiert** werden muss (4).
- Die **Kondensorlinse (5)** verdichtet die Elektronen und stellt den Strahldurchmesser ein.
- Der **Stigmator (6)** kompensiert Astigmatismus und stellt einen rotationssymmetrischen Strahl ein.
- Um den Energieverlust des Strahles zu kompensieren ist in der Optik ein **Strahlverstärker (7)** integriert, der mechanisch mit der Anode verbunden ist.
- Ein in die Elektronenoptik integrierter **In-Lens-Detektor (8)** lässt die Elektronen passieren.
- Die **elektromagnetische Linse (9)** fokussiert den Strahl.
- Der Primärelektronenstrahl wird mit **Ablenkspulen (10)** zeilenweise über die Probe geführt (gerastert).
- Von der Probe emittierte Elektronen werden von Detektoren ausgewertet.



## Historie

1925 Entdeckung, dass Magnetfeld eine Elektronenlinse darstellt.

1937 Manfred von Ardenne baut das erste REM.



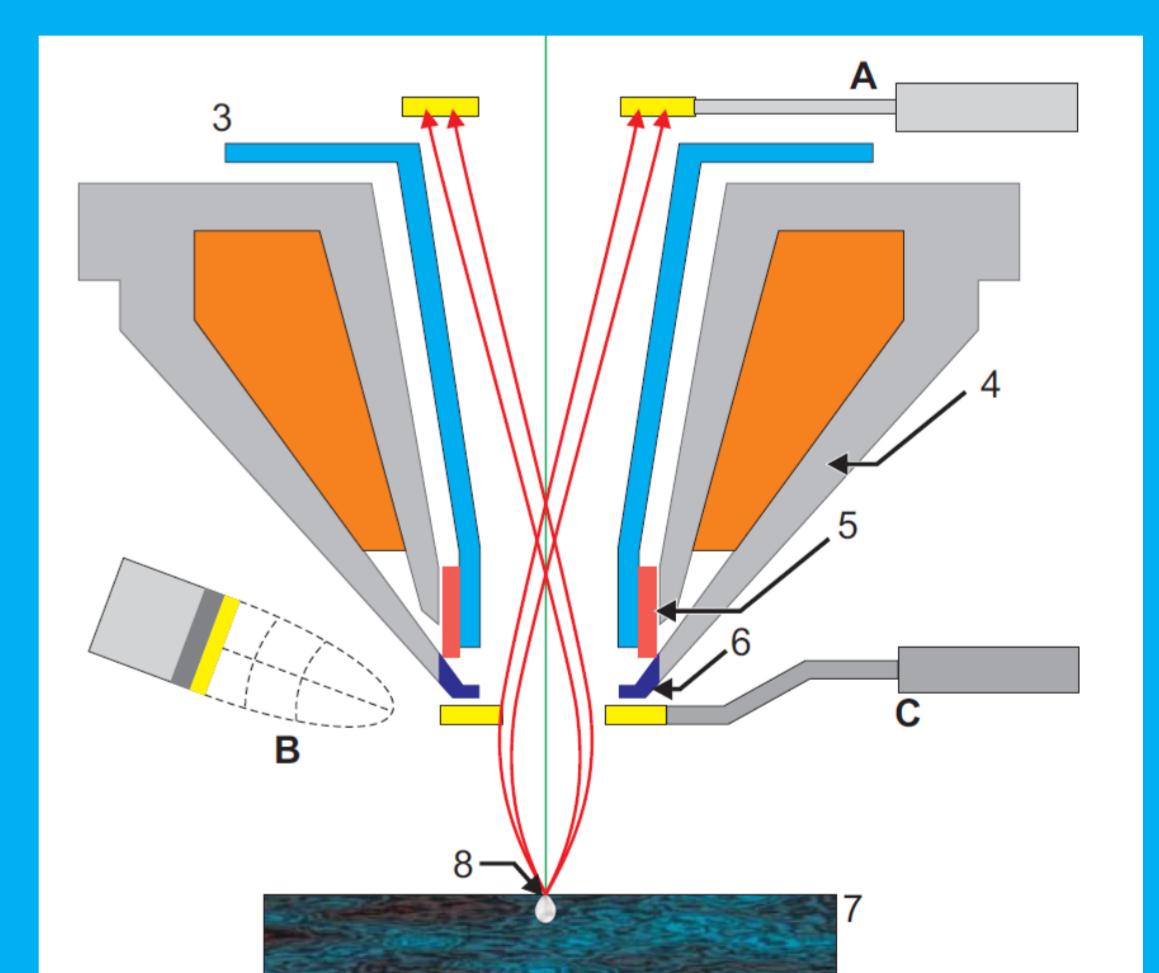
1965 Vermarktung des ersten kommerziellen REM „Stereoscan“ durch Cambridge Scientific Instruments Company in den USA.

## Detektoren

**A In-Lens-Detektor:** Liefert Informationen über die Oberfläche von Proben bei hohen Vergrößerungen. Detektiert nur SE.

**B ET-SE-Detektor:** Gibt ein Bild der Topographie einer Probe. Detektiert Sekundärelektronen und rückgestreute Elektronen.

**C BSE-Detektor:** Zeigt unterschiedliche Phasen einer Probe als Kontraste an. Detektiert nur rückgestreute Elektronen.



**VPSE G3-Detektor (o. Abb.):** Wertet die Oberfläche von nichtvakuumstabilen Proben im VP-Modus aus.

**EDX-Detektor (o. Abb.):** Detektiert charakteristische Röntgenstrahlen.

- Die Signale verschiedener Detektoren können gemischt werden. Dadurch können die Vorteile und Möglichkeiten zweier Detektoren genutzt werden.