

## REM-Analysen, Untersuchungen mittels EDX und WDX und elektronenmikroskopische Mikroanalytik

### Methodenbeschreibung zu REM-Analysen

Das Bild zeigt unser Feldemissions-Rasterelektronenmikroskop (FE-REM) mit diversen Detektoren, zum Beispiel EDX, SE und BSE. Werkstoffanalysen, Untersuchung von Bruchflächen und Aufnahmen mit höchsten Vergrößerungen sind möglich.

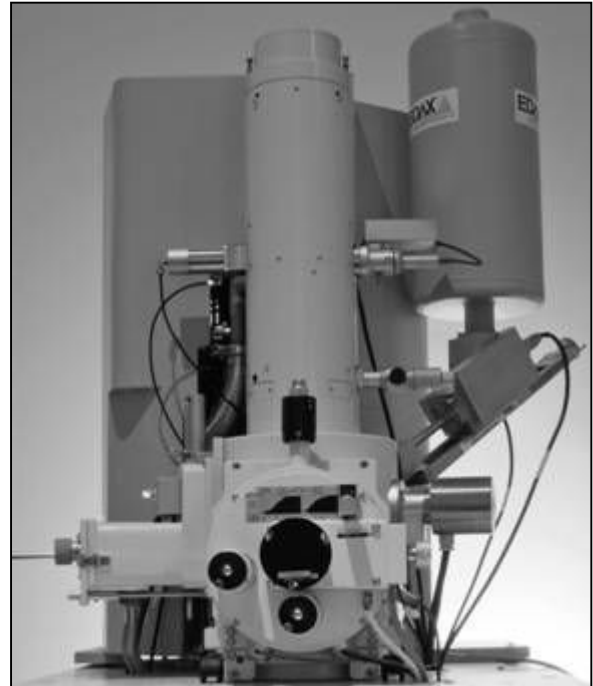
Mithilfe eines Rasterelektronenmikroskopes (REM bzw. SEM) lassen sich eine Vielzahl von Anwendungsfällen lösen.

Grundsätzlich gilt dabei, dass die Verwendung eines REM Bedingungen an die Probe stellt und die Ergebnisse interpretiert werden müssen. Das REM ist

lediglich ein Werkzeug und liefert an sich nur Rohdaten. Das ist auch der Grund, weshalb ein Rasterelektronenmikroskop derart vielfältig verwendet werden kann.

Ein großer Vorteil bei der elektronenmikroskopischen Mikroanalyse ist dabei die gleichzeitige Untersuchung der Materialbeschaffenheit (Topographie, Fraktographie) und der Materialzusammensetzung. Es ist beispielsweise möglich, Fehlstellen oder Artefakte optisch zu untersuchen und im gleichen Arbeitsgang deren Zusammensetzung zu analysieren. Insbesondere bei kleinsten Partikeln, Korrosionsstellen oder Belegungen ist dies von großem Interesse.

Weiterhin stehen uns je nach Fragestellung und Probenbeschaffenheit diverse Arten von Rasterelektronenmikroskopen zur Verfügung. Wir selbst betreiben ein hochauflösendes Feldemissions-REM und eine Elektronenstrahl-Mikrosonde (ESMA). Darüber hinaus sind auch kristallografische Messungen mittels REM-EBSD möglich. Ein Großkammer-REM ist ideal für besonders große Proben, die nicht zerstört werden dürfen. Für Fragestellungen, bei denen das Probenmaterial nicht vakuumstabil oder organisch ist, haben wir Zugriff auf ein Niederdruck-REM.



**REM-Analysen, Untersuchungen mittels EDX und WDX  
und elektronenmikroskopische Mikroanalytik**

---

**Prinzip der Rasterelektronenmikroskopie (REM)**

Die Vielseitigkeit dieser mikroskopischen Methode liegt in der Verwendung von Elektronen zur Bild- und Informationsgebung. Je nach Elektronenmikroskop werden Elektronen auf unterschiedliche Weise und mit unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen erzeugt und auf die Materialoberfläche geschossen.

- Die Elektronenerzeugung findet in der Elektronenkathode statt. Der Elektronenstrom entspricht der Menge der emittierten Elektronen. Pauschal lässt sich sagen, dass hohe Ströme Elementanalysen wie EDX und WDX begünstigen, geringe Ströme begünstigen allerdings eine bessere Auflösung und damit die Bildgebung. Je nach Fragestellung und Möglichkeit muss ein Optimum zwischen beiden Seiten gefunden werden.
- Zwischen der Kathode und der Anode werden die Elektronen beschleunigt. Erst durch die Beschleunigung der Elektronen erhalten diese eine entsprechende Energie, um mit dem Material in Wechselwirkung zu treten und detektierbare Effekte auszulösen.
- Die beschleunigten Elektronen werden durch ein Linsen- und Blendensystem geführt. Auf diese Weise werden die Elektronen gebündelt und fokussiert. Der Elektronenstrahl wird hier auch abgelenkt und kann so über die Oberfläche rastern.

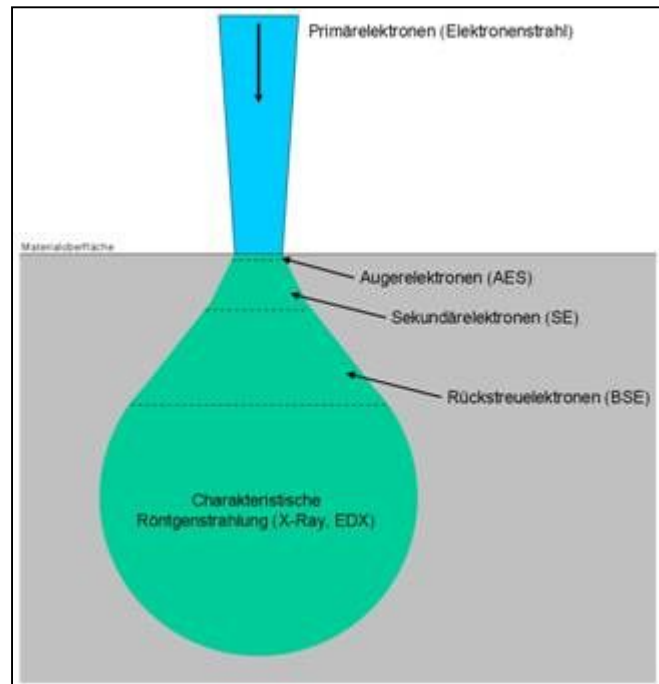
## Prinzip der Rasterelektronenmikroskopie (REM)

### Die Wechselwirkung von Elektronen und Probenmaterial

Treffen die beschleunigten und fokussierten Elektronen auf der Materialoberfläche auf, treten sie in Wechselwirkung mit dem Probenmaterial. Es kommt zu diversen Wechselwirkungsprozessen, die man detektieren und nutzen kann.

In der Grafik sind einige der vielen Wechselwirkungsprozesse schematisch dargestellt. Dabei handelt es sich um die gängigsten Möglichkeiten, Informationen des Werkstoffs zu generieren:

- Augerelektronen
- Sekundärelektronen
- Rückstreuelektronen und
- charakteristische Röntgenstrahlung.



Durch den gerasterten Elektronenstrahl lassen sich Punkt für Punkt Informationen vom Probenmaterial gewinnen und später als Bild zusammenfügen (Bildgebung). Weiterhin kann man das Material auch punktuell, linienförmig oder flächig untersuchen, ohne daraus ein Bild zu erstellen (Informationsgebung).

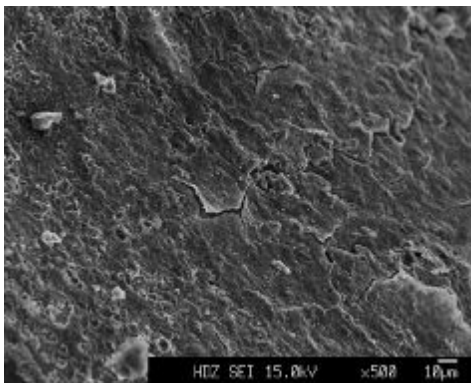
Da bei jedem Punkt stets Wechselwirkungen vonstatten gehen, kann man bei einer REM-Analyse simultan Informationen gewinnen und Bilder erstellen beziehungsweise aus der Bildgebung heraus Informationen des Materials abrufen. Inhomogene Materialien lassen sich hierdurch so einfach wie bei keinem anderen Verfahren analysieren. Beispiele sind:

- Bruchflächen lassen sich bildlich darstellen und Einschlüsse chemisch analysieren.
- Partikel lassen sich in deren Größe und Zusammensetzung untersuchen.
- Gefüge lassen sich identifizieren und Erstarrungsgefüge bildlich ohne Ätzung darstellen.

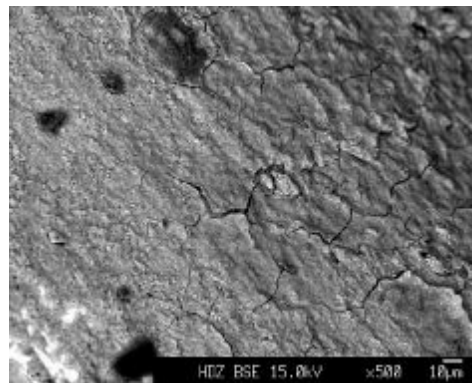
## Fallbeispiele

Aufgrund der Vielseitigkeit des Rasterelektronenmikroskops haben wir verschiedenste Untersuchungen durchführen können. Einige Beispiele aus den vergangenen Jahren zeigen wir Ihnen hier. Diese Beispiele zeigen die Möglichkeiten einer REM-Analysen nur exemplarisch.

### Ablagerungen auf einem Edelstahlrohr

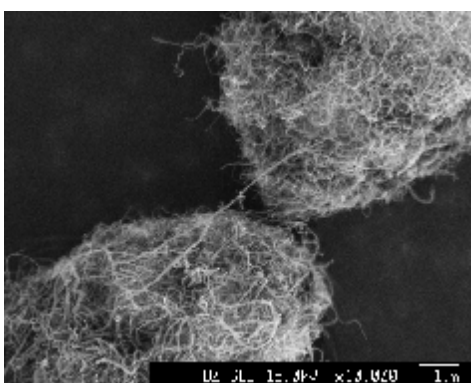


REM-Aufnahme im Topographiekontrast (SE) zeigt rissige Ablagerungen auf der Oberfläche

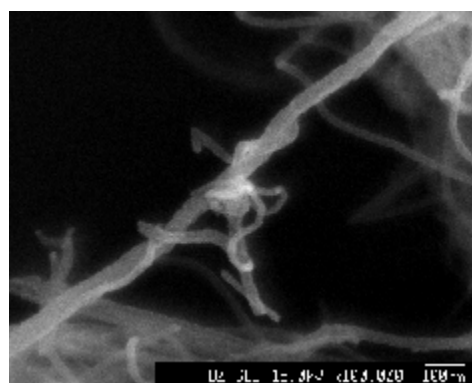


REM-Aufnahme im Materialkontrast (BSE) deutet auf flächige Belegung hin

### Hochauflösung von Kohlenstoff-Nanoröhrchen



REM-Aufnahme im Topographiekontrast (SE) zeigt bei 10.000facher Vergrößerung Ansammlungen von Kohlenstoff-Nanoröhrchen (Carbon Nanotubes)



REM-Aufnahme im Topographiekontrast (SE) mit Hochauflösung eines Kohlenstoff-Nanoröhrchens (Carbon Nanotube)

**REM-Analysen, Untersuchungen mittels EDX und WDX  
und elektronenmikroskopische Mikroanalytik**

---

**Anforderungen an das Probenmaterial**

Die Vielzahl von unterschiedlichen Elektronenmikroskopen erlaubt es, diverse Materialien untersuchen zu können. Bezogen auf ein Rasterelektronenmikroskop (REM) und die Elektronenstrahl-Mikrosonde (ESMA) stellen wir folgende Anforderungen an das Probenmaterial.

In aller Regel wird ein Hochvakuum (HV) oder Ultrahochvakuum (UHV) eingesetzt. Proben, die mittels REM oder ESMA untersucht werden sollen, müssen daher **vakuumstabil** sein. Flüssigkeiten und flüchtige Stoffe können wir daher nicht untersuchen. Die Proben sollten außerdem möglichst nicht oder nur **gering ausgasen**. Bei unbekanntem Verhalten werden die Proben vor einer Untersuchung in einem Grob- oder Feinvakuum ausgegast (Exsikkator).

Stäube, Mehle, feine Späne und ähnlich lose Partikel werden in der Regel auf einem geeigneten Klebepad aufgebracht. Dies verhindert ein Verrutschen oder ein Verlust der Probe in der REM-Kammer.

Proben, die dem Beschuss mit Elektronen standhalten und **elektrisch leitfähig** sind, können ohne weitere Präparation untersucht werden. Für alle anderen Materialien, beispielsweise Kunststoffe oder Fasern, empfehlen wir eine vorherige Beschichtung. Wir dampfen dabei z.B. eine dünne Goldschicht auf die Probe, was eine bessere elektrische Leitfähigkeit ermöglicht und das Probenmaterial schont. Außerdem können wir Strom und Spannung variieren und zusätzliche Vorteile ausschöpfen.

Für eine Analyse mittels Elektronenstrahl-Mikrosonde (ESMA) sind planare Oberflächen unverzichtbar. Hier müssen der Großteil der Proben als Quer- oder Längsschliff präpariert werden. Mitunter können aber auch annähernd plane Proben direkt untersucht werden.

Die Proben können innerhalb der Probenkammer, also für die Untersuchung gedreht, gekippt und verfahren werden.

---

**Anforderungen an das Probenmaterial**

***Maximalgrößen und -gewichte***

Für die Größenverhältnisse und die Masse der zu untersuchenden Probe gelten folgende Bedingungen.

REM

- Runde oder zylindrische Proben sollten maximal 70mm im Durchmesser sein. Maximale Höhe ist hier 32 mm, wenn man alle Detektoren verwenden möchte.
- Eckige oder unförmige Proben sollten ein Kantenmaß von höchstens 70mm x 70 mm aufweisen. Die maximale Höhe beträgt hier ebenfalls 32 mm, wenn man alle Detektoren verwenden möchte.
- Das Maximalgewicht liegt bei ca. 750g.

ESMA

- Sollen mehrere Proben eingeschleust und untersucht werden, liegt die jeweilige Probengröße bei maximal 22 mm im Durchmesser und 15 mm in der Höhe.
- Einzelne Proben dürfen maximal 70 mm x 70 mm breit und tief und maximal 15 mm hoch sein.
- Das Höchstgewicht aller Proben darf dabei 400g nicht übersteigen.

**REM-Analysen, Untersuchungen mittels EDX und WDX  
und elektronenmikroskopische Mikroanalytik**

---

**Was kann untersucht werden**

Im Bezug auf unser Feldemissions-REM und Mikrosonde können wir u.a. folgende Probenarten untersuchen:

- Metalle (Eisen- und NE-Erzeugnisse), Halbmetalle
- Korrosionsstellen, korrodierte und oxidierte Oberflächen
- Kunststoffe und Elastomere (nach vorheriger Präparation)
- Schliffe und Schliffabbilder, Querschnitte und FIB-Schnitte
- Metallische Pulver, pulvermetallurgische Ausgangsstoffe und pulvermetallurgische Produkte
- Späne und Bohrspäne
- Abrieb
- Schwebeteilchen bzw. Niederschlag oder Rückhaltesubstanzen
- Filtersatz
- metallische, halbmetallische, anorganische und teilweise organische Granulate
- Mehle und Stäube
- kleinere und mittlere metallische Bauteile, teilweise ohne weitere Präparation
- Lackproben, Lacke, Beschichtungen
- Werkzeuge und Halbzeuge
- Gesteinsproben (nach vorheriger Präparation)
- Keramiken (nach vorheriger Präparation)
- Ausmauerungen, Tiegelmateriale, Feuerfestmateriale (teilweise nach vorheriger Präparation)
- Trockenreste

**REM-Analysen, Untersuchungen mittels EDX und WDX  
und elektronenmikroskopische Mikroanalytik**

---

***Welche Kosten und Preise entstehen bei einer REM-Untersuchung?***

Die Kosten für elektronenmikroskopische Untersuchungen variieren je nach Gerät, Probenumfang und Fragestellung. Einige Leistungen bieten wir als Standard-Untersuchung an, während andere Anfragen individuelle Lösungen bedürfen. Da wir aber viele Gerätschaften im eigenen Labor betreiben, können wir stets schnelle und adäquate Dienstleistungen anbieten.

Konkret heißt das: Wir führen Untersuchungen mit unserem hauseigenen hochauflösenden FE-REM bereits ab 125 Euro durch. Messungen mit unserer Mikrosonde (ESMA/EPMA) sind mit einem höheren Aufwand verbunden, weshalb hier Messungen meist ab 500 Euro kosten.

Gern unterbreiten wir Ihnen ein unverbindliches Angebot zu Ihren Fragestellungen.



**HDZ Prüf- und Analyzelabor Aachen**

Georg Frhr. von Richthofen, M.Sc.  
Eberburgweg 4, 52076 Aachen

Tel.: +49(0)241/4121-0731

Web: [Labor.HDZ-Gruppe.de](http://Labor.HDZ-Gruppe.de)

Mail: [pa@HDZ-Gruppe.de](mailto:pa@HDZ-Gruppe.de)