

Die EBSD-Kamera als Multi-Array-Image-Detektor

Robert Schwarzer

Kappstr. 65, D-71083 Herrenberg

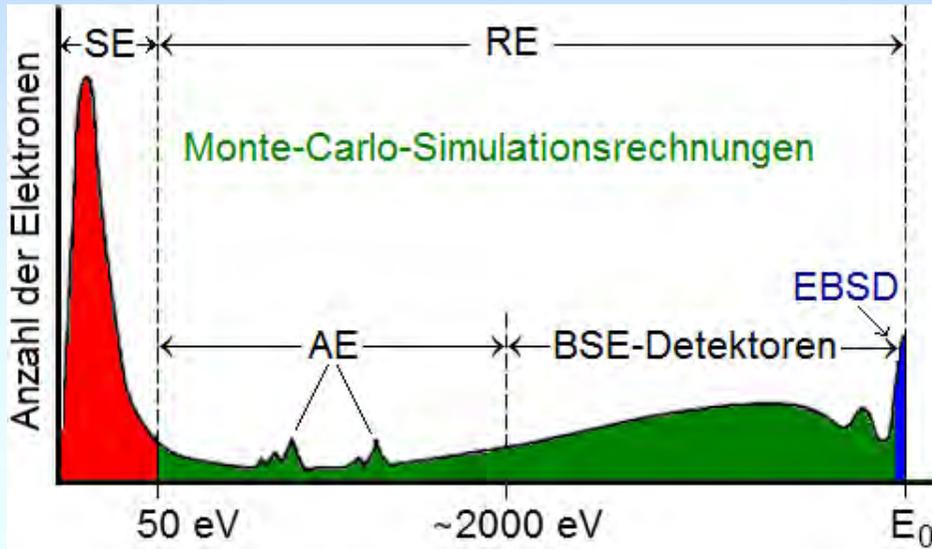
E-mail: post@robert-schwarzer.de

Jarle Hjelen

NTNU Trondheim, Norwegen

E-mail: jarle.hjelen@ntnu.no

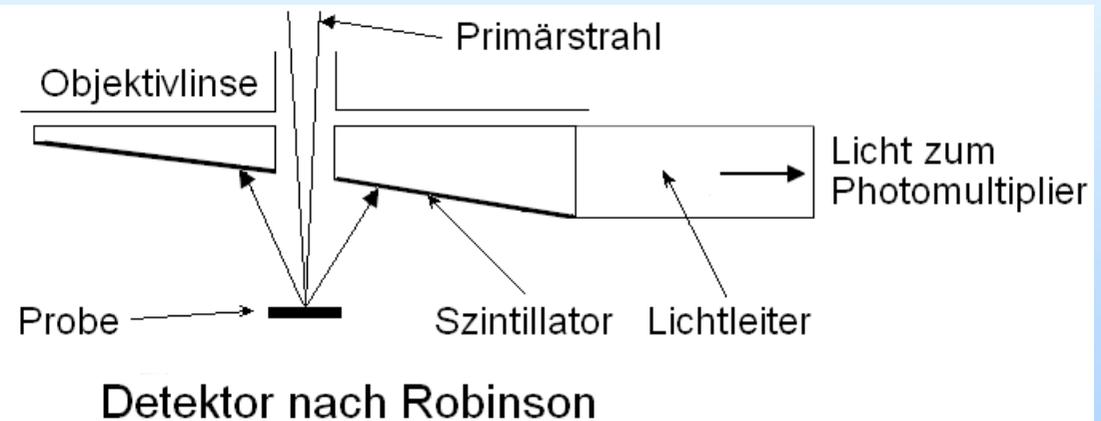
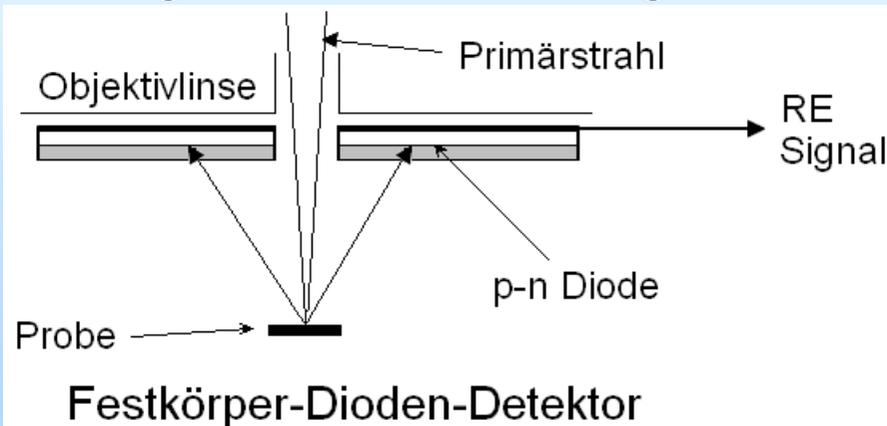
Sekundär- und Rückstreuelektronen



Ein Elektronenstrahl hoher Energie löst aus der Probenoberfläche

- Sekundärelektronen (SE),
- Rückstreuelektronen (RE, BSE),
- Auger-Elektronen (AE),
- Röntgenstrahlung und
- Kathodolumineszenz (Licht) aus.

Diese Signale werden mit speziellen Detektoren registriert und zur synchronen Steuerung der Helligkeit des Monitors verwendet, um Gefügebilder zu erzeugen.



Sekundär- und Rückstreuielektronen

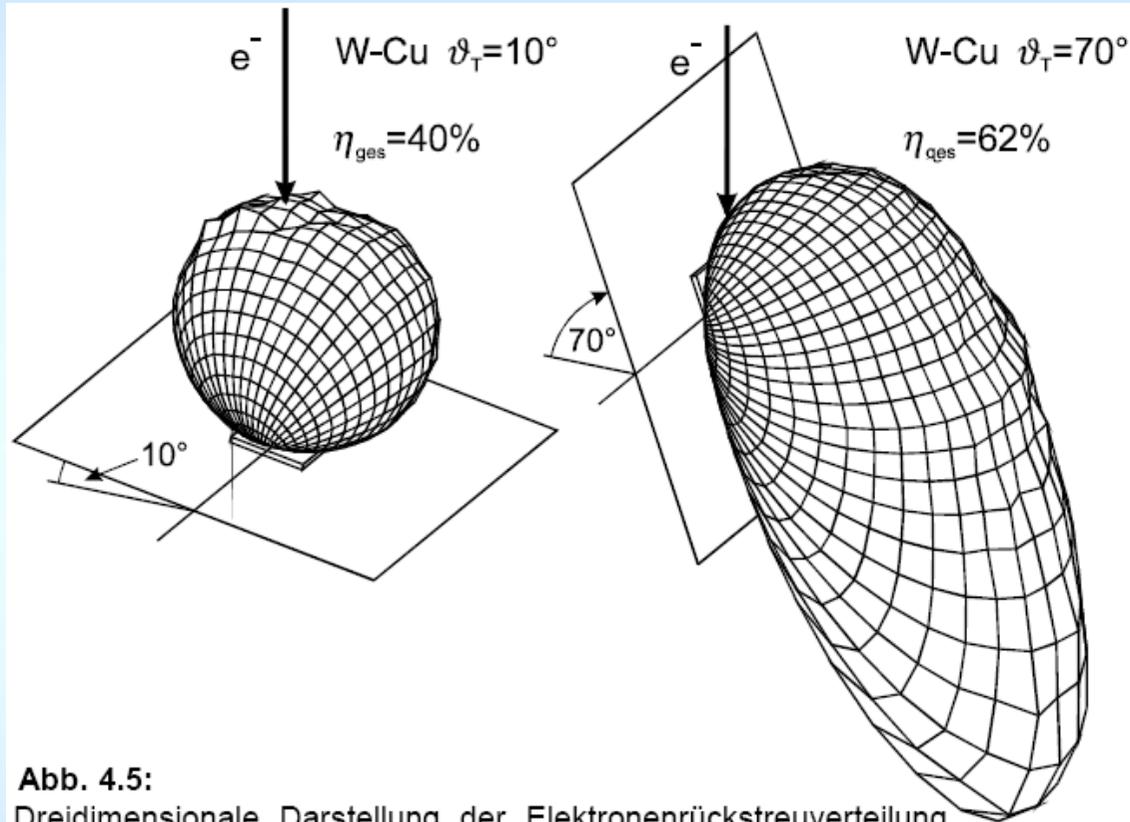


Abb. 4.5:
Dreidimensionale Darstellung der Elektronenrückstreuverteilung an einer Wolfram-Kupfer-Probe für verschiedene Einfallswinkel ϑ_T

Dirk Berger: *Hochaufgelöste Elektronenstreuexperimente für Anwendungen in der Elektronenmikroskopie und der Monte-Carlo-Simulation der Elektronenstreuung*.
Diss. D83, TU Berlin 2000

Ist die Probe stark gekippt, dann sind die RE-Detektoren oben am Polschuh ineffektiv.

Abhilfe:

- Abbildung mit SE
- Probe horizontal stellen
- spezielle Detektoren mit angepasster Position
- EBSD-Kamera als Multi-Array-Detektor verwenden

Konventionelle RE-Detektoren im REM



Halbleiter-Dioden als RE-Detektoren

- nehmen viel Platz in der Probenkammer weg.
- sind zerbrechlich und eine teure Angelegenheit.
- Die optimale Einstellung von Bildhelligkeit, Kontrast und Probenstrom kann ziemlich knifflig und zeitraubend sein.

- Die Signalhöhen hängen stark vom Abnahmewinkel ab. Diese Einstellungen sind meist nur für eine Art Bildkontrast (Topographie oder Material) optimal (– falls die Elektronik überhaupt für mehrere Signalkanäle ausgelegt ist).
- Die gleichzeitige Aufnahme von Gefügebildern mit unterschiedlichen Kontrasten ist nur ausnahmsweise möglich ==> Zeitverlust.
- Die Signalintensität hängt vom Abstand des Messortes vom Detektor ab. Daher muss beim Abrastern der Verstärker dynamisch abgeglichen werden.
- Die analogen Signale eignen sich schlecht für die Bildverarbeitung.

Der EBSD-Detektor als Multi-Array-RE-Detektor

Das *Kikuchi-Diagramm* gibt bereits die *Winkelverteilung der RE* als Projektion auf den zweidimensionalen Leuchtschirm wieder.

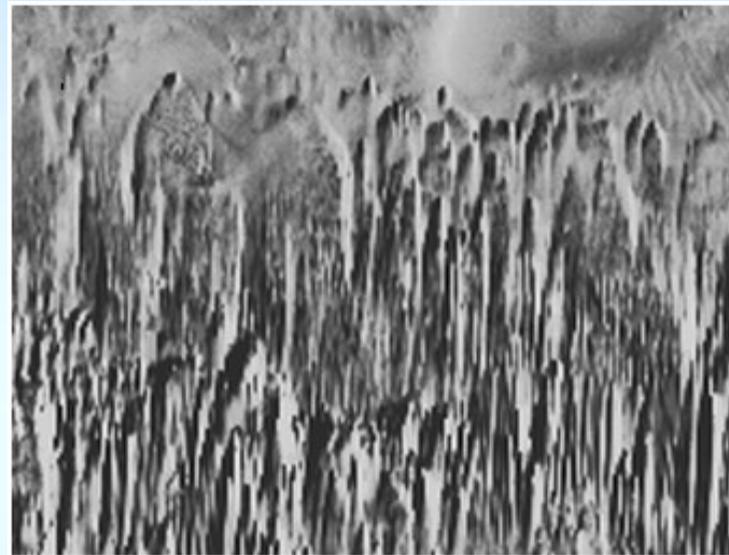
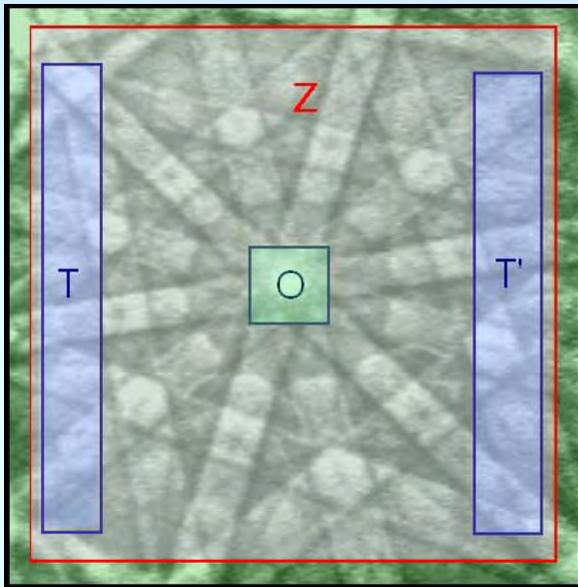
Die in ein Raumwinkelelement emittierte RE-Intensität kann daher gemessen werden, indem die Intensität in einem entsprechenden Segment des Leuchtschirms integriert wird.

Erfolgt die Messung für alle Diagramme einer Sequenz, dann kann ein *RE-Bild des Gefüges* punktweise konstruiert werden:

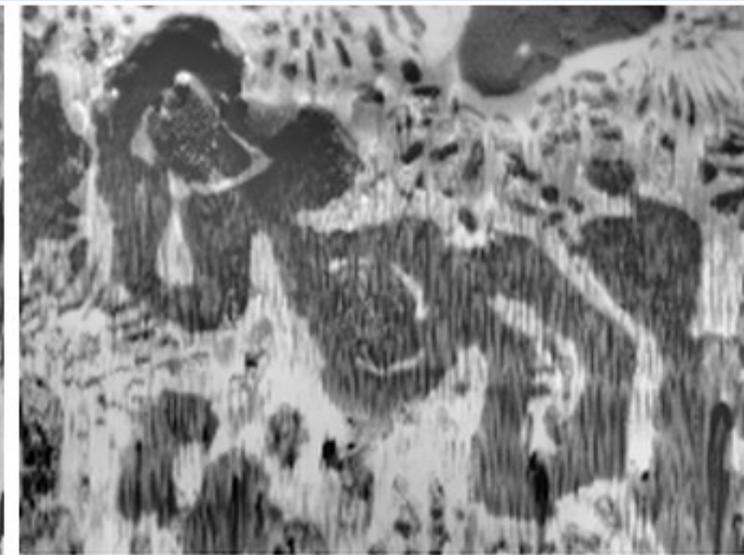
- + Die Signale für das *Gefügebild* und für das *Orientierungsmapping* stammen aus derselben Quelle, dem Kikuchi-Diagramm.
Daher haben beide Abbildungen dieselbe *hohe Ortsauflösung*.
- + Die RE-Gefügebilder und die Orientierungsmaps sind *deckungsgleich*.
- + Es können *mehrere Messfenster* gesetzt werden.

==> Multi-Array-Detektor mit mehreren Messkanälen

EBSD-Detektor ersetzt BSE- und FSE-Detektoren



a. T C

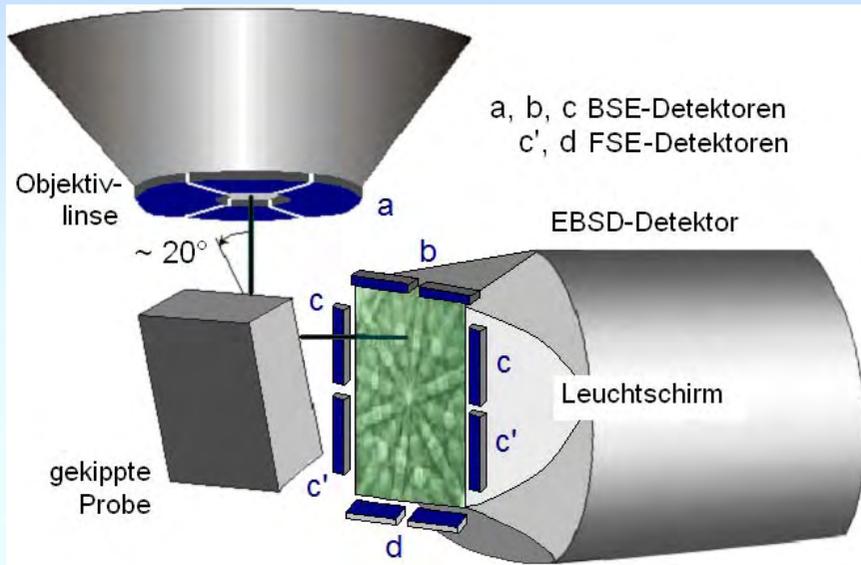


b. Z C

Links: Vier Messbereiche auf einem Cd-Diagramm. Z markiert den Bereich für die Konstruktion von Materialkontrast-, T und T' für Reliefkontrast- und O für Orientierungskontrast-Bilder.

Rechts: (a) Reliefkontrast- und (b) Materialkontrast-Bild einer Silberlotnaht nach zu starkem Ionenbeschuss.

Der EBSD-Detektor als Multi-Array-RE-Detektor

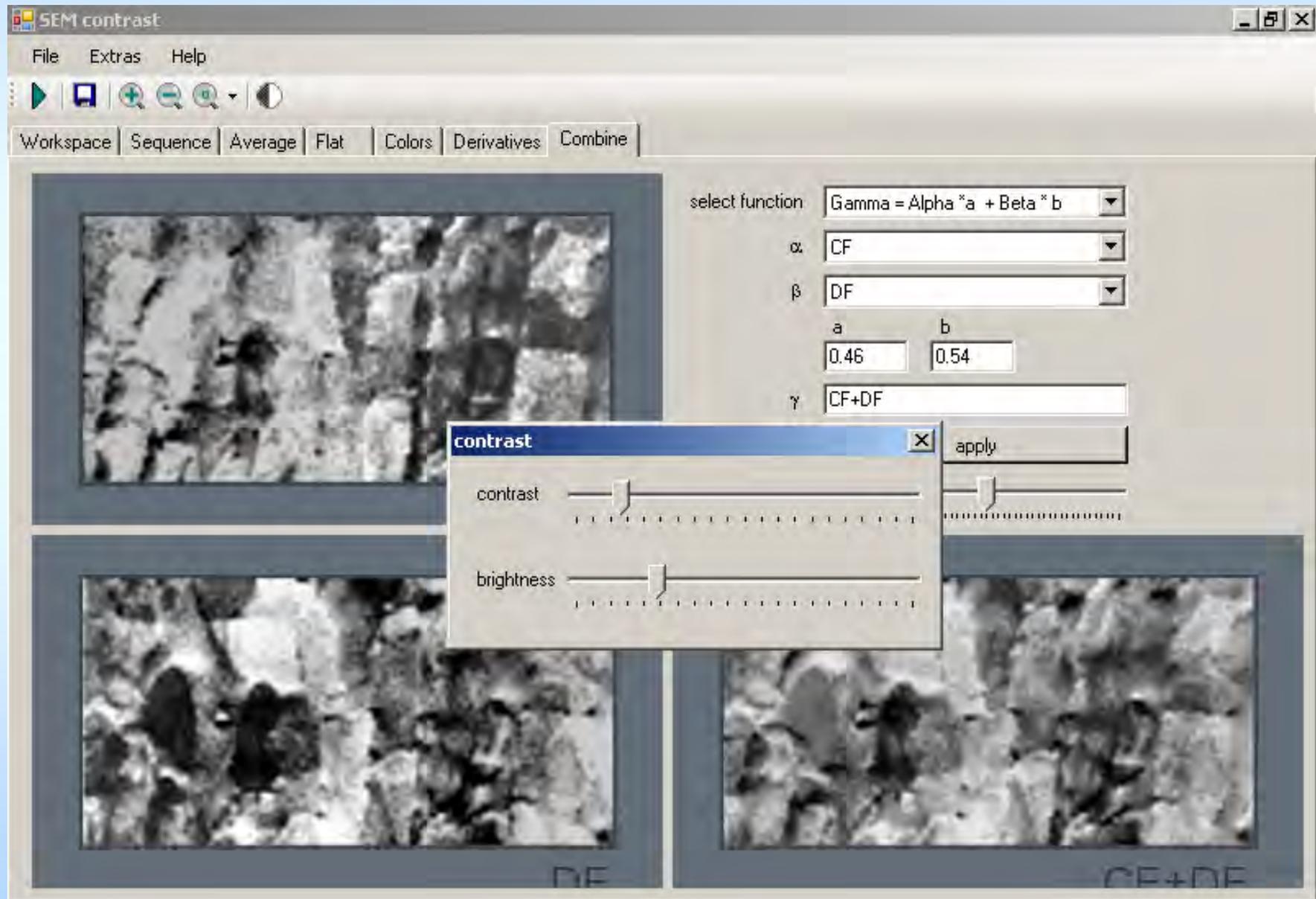


Das Auslesen der RE-Intensitäten erfolgt so schnell, dass simultan zur Patternaufnahme und Indizierung ohne merklichen Zeitverlust die Gefügebilder konstruiert werden können.

Pattern-Streaming und off-line Auswertung hat den großen Vorteil, dass die Messfenster wiederholt sooft in der Größe und Position gesetzt werden können, bis die interessierenden Gefügedetails optimal dargestellt werden.

Die Bildsignale liegen bereits in digitaler Form vor. Sie können daher einfach bearbeitet werden.

Mischen der Signale und Anpassen des Kontrastes in den Bildern



Der EBSD-Detektor als Multi-Array-RE-Detektor

Die Konstruktion von Gefügeabbildungen aus der Intensitätsverteilung von Rückstreu-Kikuchi-Diagrammen ist fast schon ein alter Hut:

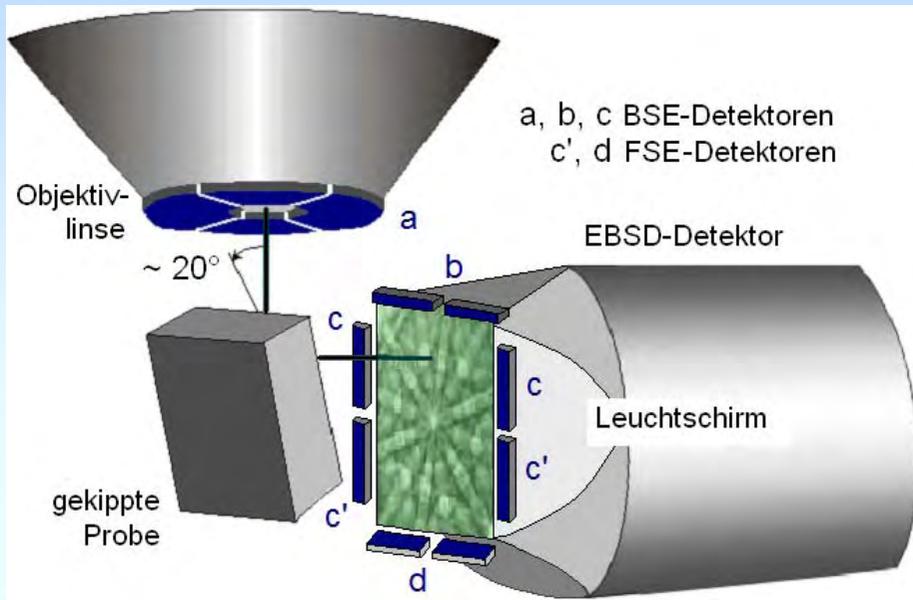
- + X Tao und A Eades: Another way to implement diffraction contrast in SEM. *Microscopy Today* **11** (2003), March/April 2003, 36, 38
- seit 2010 implementiert in unserem (kommerziellen) FastEBSD-System
- R Schwarzer und J Sukkau: Gefügeabbildung im Relief- und Materialkontrast mit dem EBSD-Detektor. *Vortrag AK EBSD-Treffen, Halle 2011*
- R Schwarzer, J Sukkau, und J Hjelen: Imaging of topography and phase distributions with an EBSD detector in the SEM. *Microscopy Conference Kiel 2011*, Poster LBP M.P007. Download <http://www.ebsd.de>
- R Schwarzer: Orientierungsmikroskopie mit dem analytischen REM. *Praktische Metallographie* **51** (2014) 160-179

Jetzt auch im EDAX-TSL System: Application note: EDAX introduces new pattern region of interest analysis system PRIAS. *EDAXinsight* **12** (2014) 4-5

+ Der nachfolgende Vortrag von René de Kloe mit beeindruckenden Anwendungen +

Daher gehe ich nicht noch einmal auf die Anwendung für EBSD⁹ ein.

Neue Anwendungen für EBSD-Detektoren im REM ohne EBSD

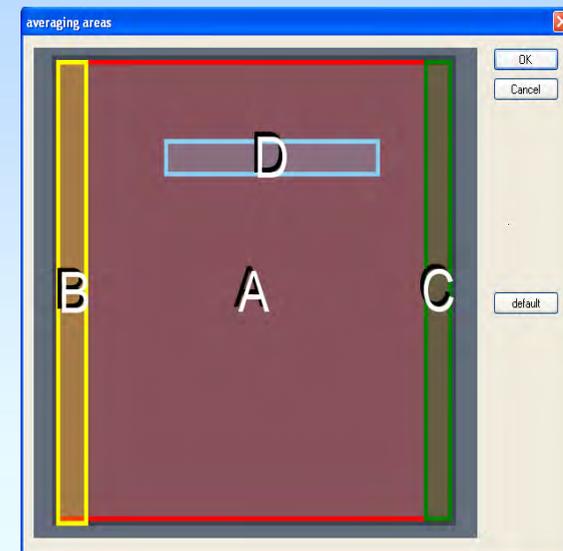
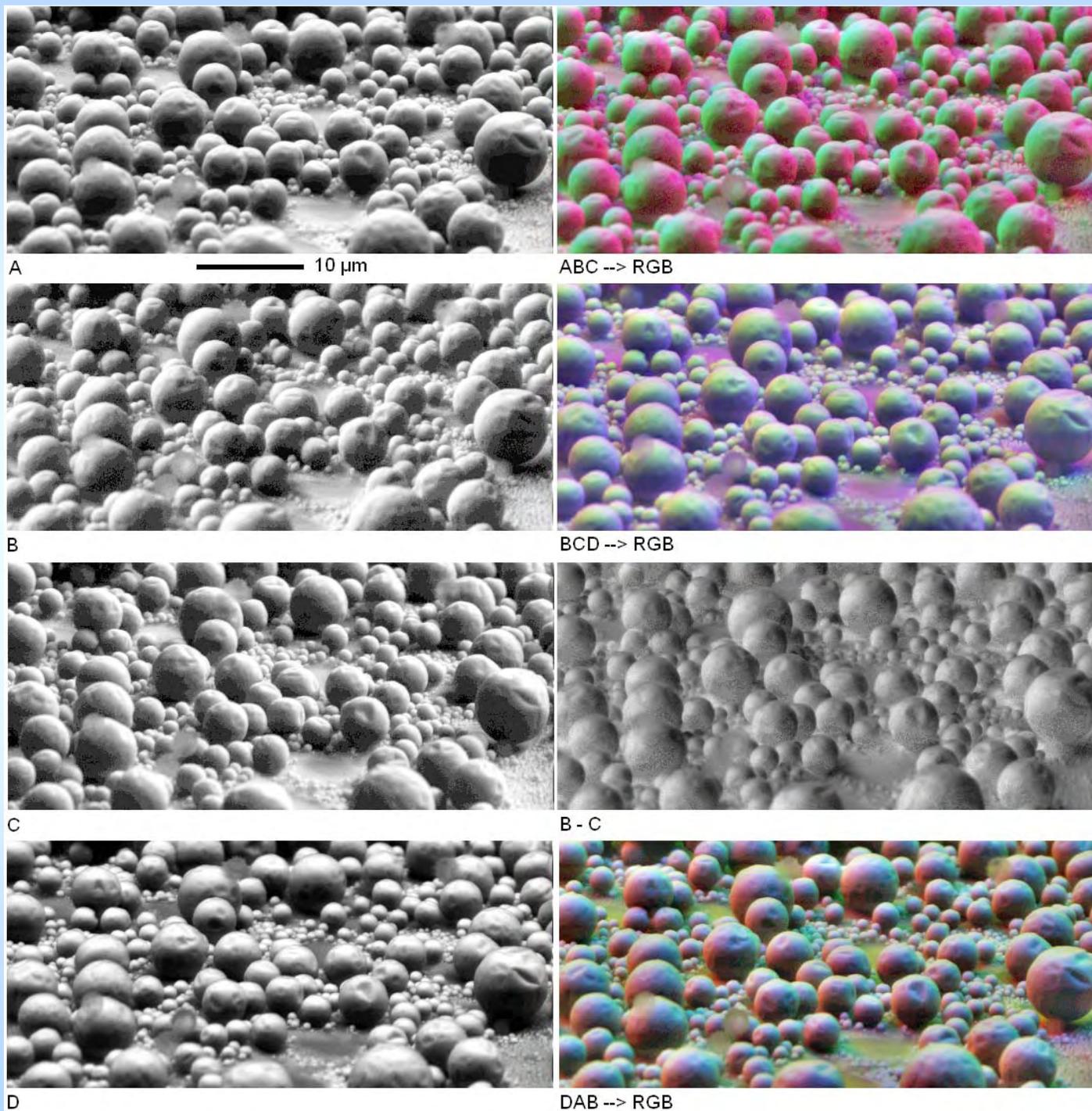


Die „Diagramme“ brauchen nicht indiziert zu werden:

→ Abbildung teilkristalliner, nichtkristalliner oder organischer Proben.

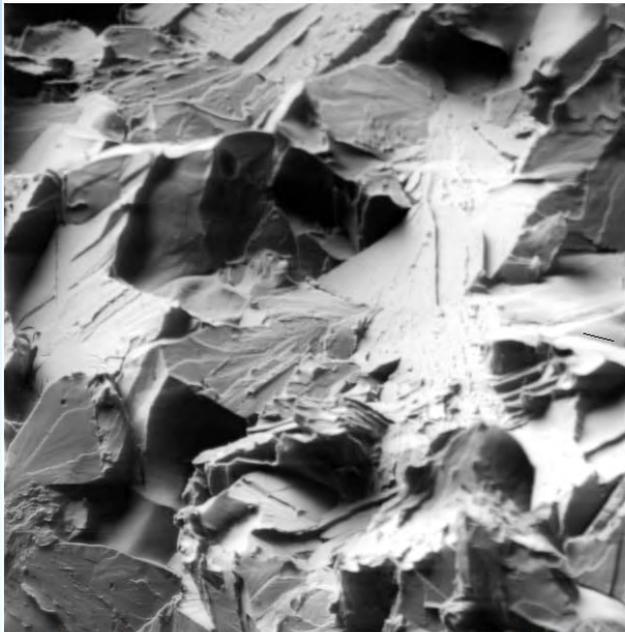
- + Topographiekontrast (+ Besputtern mit Schwermetall (Au))
- + Materialkontrast: wenn $\Delta Z_{\text{mittel}} \geq 1 \rightarrow$ Unterschiede im RE-Koeffizienten – Intensität, Richtungsverteilung, Energie
- + Höhenmessung und kleine Stufen auf stark gekippten Proben
- + Abbildung von Blochwänden (Magnetfelder, Ferroelektrika)
- + Versetzungsanalyse mittels Channeling-Kontrast unter hoher Auflösung (FE REM und Präzisions-Probenstischgoniometer)
(Hinweis auf nachfolgenden Vortrag von Stefan Zaeferrer).¹⁰

Topographiekontrast mit dem EBSD-Multi-Array-Detektor



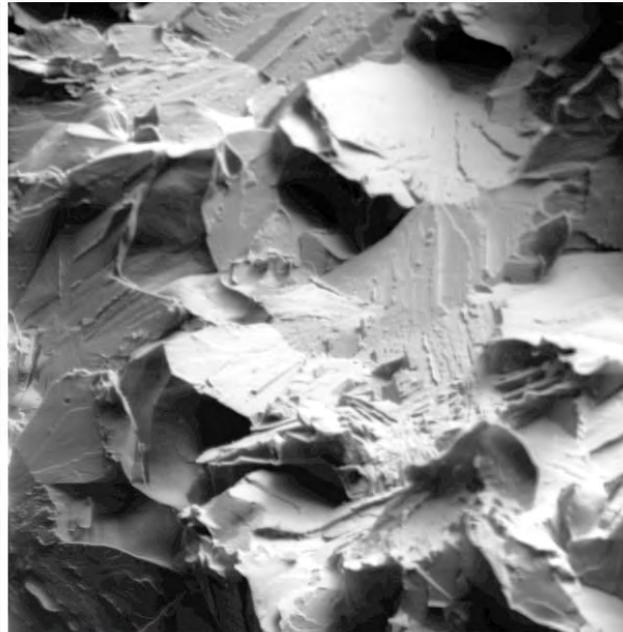
Zinnoxid-Kugeln
U = 20 kV,
Probe 70° gekippt.

Abbildung einer rauen Topographie

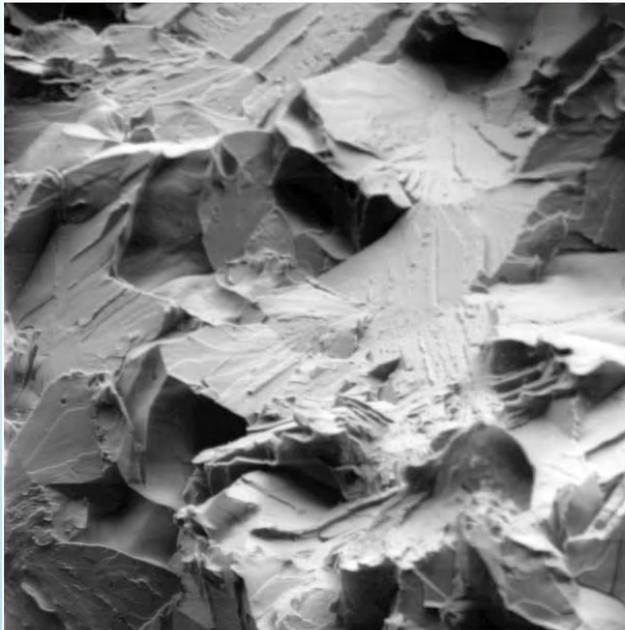


a. left

— 20 μm



b. right



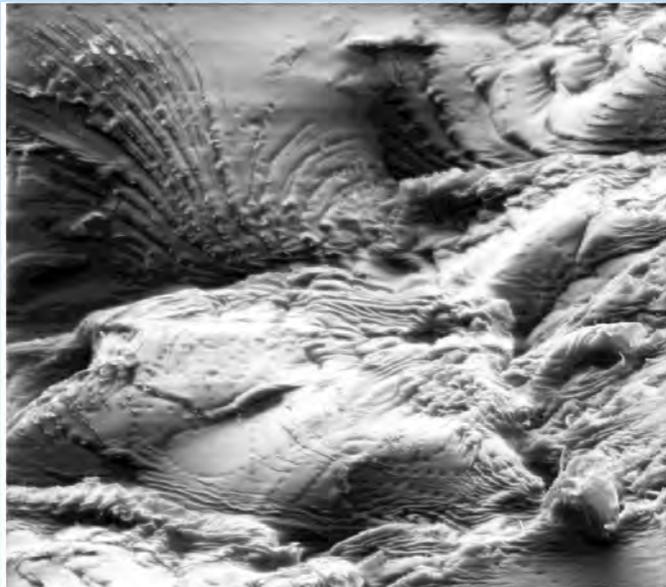
c. left+right = integral



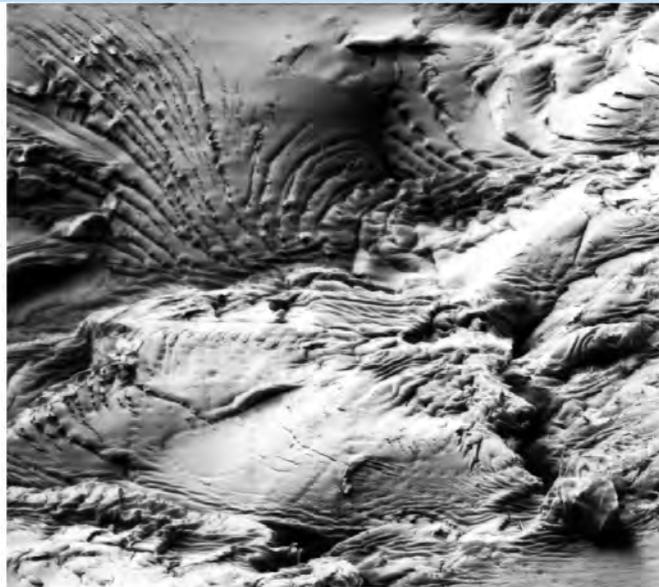
d. left - right

Bruchfläche in Stahl
 $U = 20 \text{ kV}$
Probe 70° gekippt

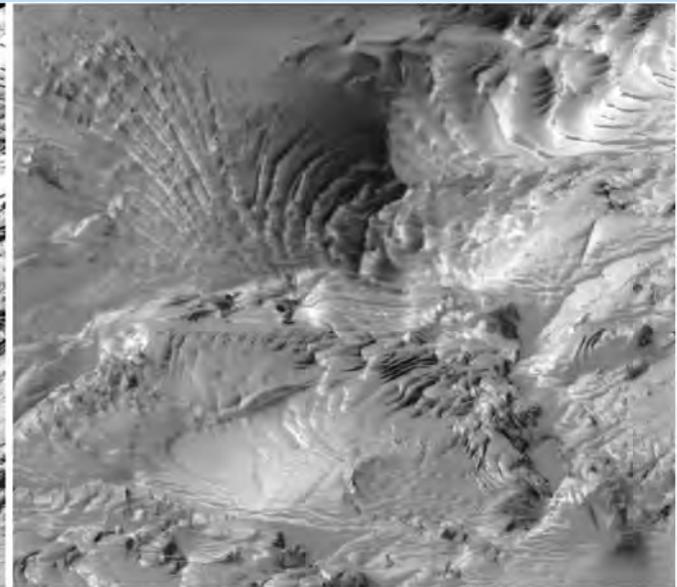
Abbildung einer rauen Topographie



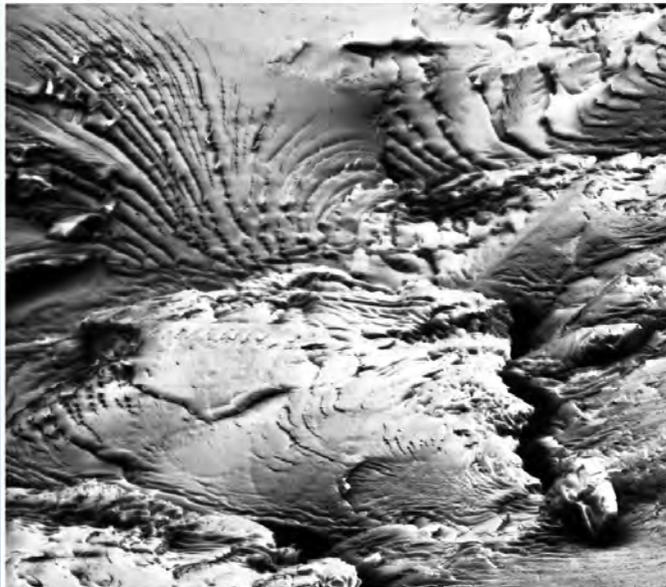
a. BSE



c. left

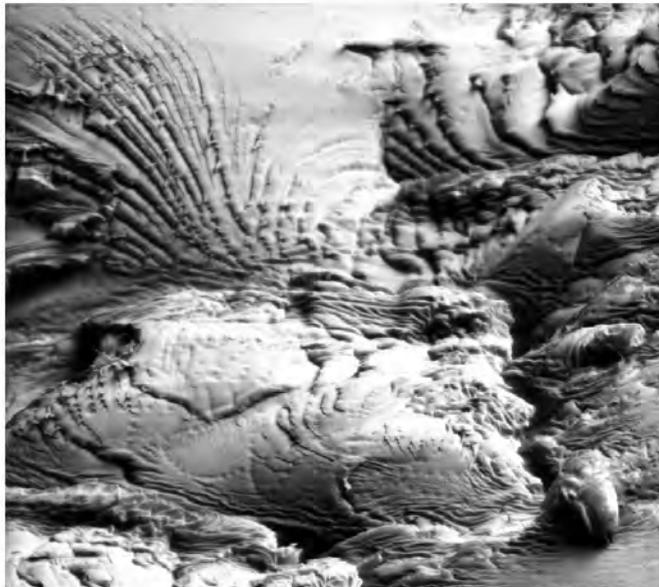


e. left - right

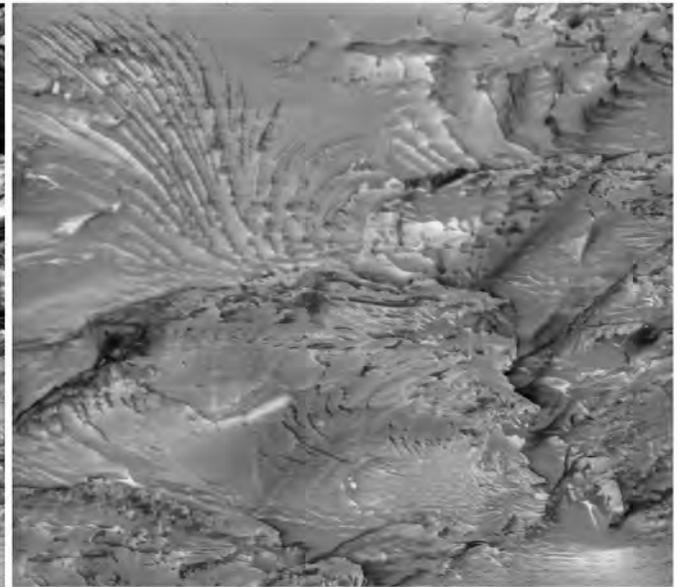


b. FSE

— 20 μm



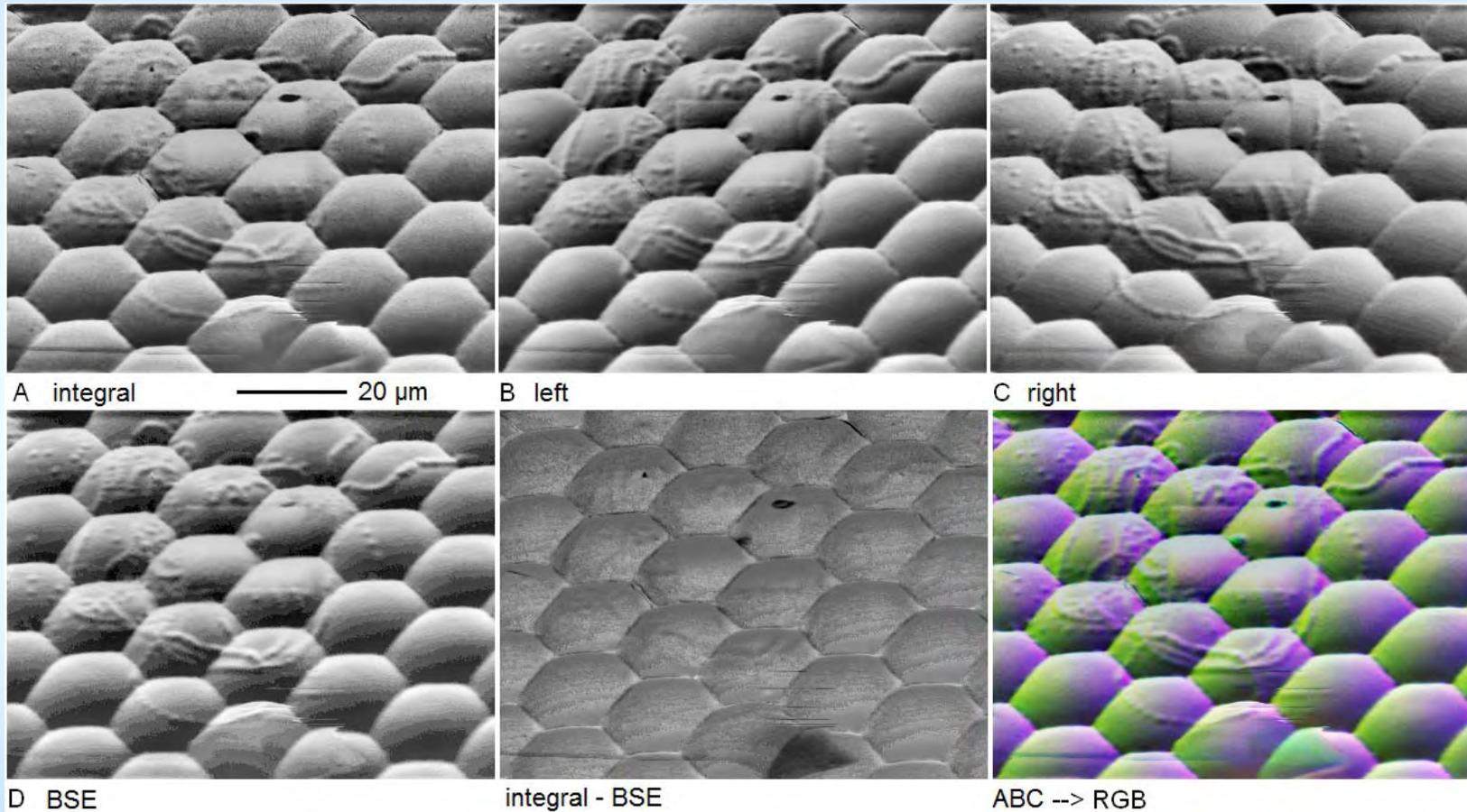
d. right



f. FSE - BSE

Bruchfläche in Hartplastik (dünn mit Gold besputtert, $U = 20 \text{ kV}$)¹³

Abbildung einer nichtkristallinen Probe mit dem Multi-Array-EBSD-Detektor



*Hinweis:
D = BSE ist oben
im Bild, weil von
unten nach oben
gerastert wurde.*

Fliegenauge bei 10 kV,
Probe mit Gold besputtert, 70° gekippt.

Zusammenfassung

FastEBSD mit getrennter Aufnahme (“pattern streaming”) und Auswertung der Diagramme hat viele Vorteile gegenüber dem konventionellen on-line EBSD. Es wird bald auch die Standard-Messstrategie in kommerziellen Systemen werden.

- + Auswertung der Originaldaten jederzeit zuverlässig möglich.
- + Sehr hohe Geschwindigkeit der Aufnahme und Auswertung.

Der EBSD-Detektor kann Si-Dioden-Detektoren ersetzen:

- + Digitale Bildverarbeitung statt teurer analoger Hardware.
- + Der freie Raum vor der Probe wird nicht beschnitten.
- + Keine zusätzliche Messzeit am REM erforderlich.
- + Die Diagramme müssen für Material- und Topographie-Kontrast-Gefügebilder nicht indiziert werden.
- + Die selbe hohe Ortsauflösung und derselbe Probenbereich wie im Orientierungs-Map.

Besuchen Sie doch mal meine Webseiten

www.ebsd.info www.ebsd.de
www.crystaltexture.com

Danke für Ihre Aufmerksamkeit.