

---

---

PPBphys2

---

---

# Rasterelektronen- mikroskop

---

---

Manuel Lippert - Paul Schwanitz

---

## Informationen

Versuchstag  
Versuchsort

13.09.2021  
NWII | 2.1.00.267

Betreuer  
Teilnehmer

Inga Elvers  
Paul Schwanitz (Paul.Schwanitz@uni-bayreuth.de)

Gruppen Nr.  
Teilnehmer

11  
Manuel Lippert (Manuel.Lippert@uni-bayreuth.de)



Gruppe 11

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	<b>5</b>
<b>2 Theoretischer Hintergrund</b>	<b>6</b>
2.1 Arten und Vergleich der Mikroskope . . . . .	6
2.2 Aufbau eines Raster-Elektronenmikroskops . . . . .	7
2.3 Wechselwirkung der Elektronen mit Materie . . . . .	9
2.4 Detektoren . . . . .	11
2.5 Linsenfehler . . . . .	15
2.6 Kontraste . . . . .	17
<b>3 Messprotokoll</b>	<b>18</b>
<b>4 Auswertung und Diskussion</b>	<b>20</b>
4.1 Kupfermünze . . . . .	20
4.2 Fliege . . . . .	28
4.3 Zinnschraube . . . . .	30
4.4 Gebrochene Schraube . . . . .	32
4.5 Chip Wafer . . . . .	39
<b>5 Fazit</b>	<b>40</b>
<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>41</b>

# 1 Einleitung

Wann, wenn, wieviel, wieviel entwickelt sich einleitendes Sitzung  
auf und es kann entwickelt? (ext. Vr am mit)

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Arten und Vergleich der Mikroskope werden

#### Raster-Elektronenmikroskop (REM)

Bei einem REM wird durch einen Elektronenstrahl die zu untersuchende Probe zeilenförmig abgerastert. Dabei wird die Topografie (Oberfläche), die Kristallstruktur und Materialunterschiede der Probe auf einen Bildschirm mittels Sekundärelektronen (SE, inelastische Stoße) und Rückstoßelektronen (RE, elastische Stoße) mit entsprechenden Detektoren angebildet. Weiterhin lässt ein REM eine Röntgenanalyse zu, wodurch auch eine Elementanalyse der Probe möglich ist. [5]

- Auflösung: ~ 10 nm

Das Auflösungsvermögen ist dabei von dem Strahlendurchmesser und dem Abbildungsmaßstab abhängig und beträgt zwischen 1 nm ~ 2 nm in günstigen Verhältnissen.

- Eindringtiefe: ~ 1 µm

- Probe: Vakuumstabil und trocken mit leitender Oberflächenschicht

Das REM und seine Funktionsweise wird in weiteren Kapitel noch genauer betrachtet.

#### Transmission-Elektronenmikroskop (TEM)

Bei einem TEM werden dünne Probe wird mit Elektronen durchstrahlt, welche durch die Streuung ihre Bewegungsrichtung ändern und ihre Energie durch inelastische Stoße verlieren. Die Elektronen, welche das Material durch elastische Stoße unter Erhaltung des Eintrittswinkels verlassen, werden in der hinteren Brennebene fokussiert. Die gestreuten Elektronen werden mit einer Blende abgeschirmt. Entweder wird dann das Zwischenbild (vergrößertes Lichtbild) oder das Elektronenbeugungsbild (Fokusebene) betrachtet.

- Auflösung: einige nm bis µm → Auflösungsgrenze?  
Dabei hängt die Auflösung von der Beschleunigungsspannung (80 ~ 400 kV) und der Materialdicke ab.
- Probe: Ultradünnen Schnitte notwendig (10–100 nm) [3]

## 2.2 Aufbau eines Raster-Elektronenmikroskops

### 2 Theoretischer Hintergrund

#### Lichtmikroskop (LM)

Beim LM werden stark vergrößerte Bilder von kleinen Strukturen oder Objekten mit Hilfe von Licht und optischen Systemen aus Linsen erzeugt.

- Auflösung:  $0.2 \mu\text{m} \sim 0.3 \mu\text{m}$   
→ Erheblich bessere Auflösung
- (REM, TEM) benötigt Vakuum im Gang des Elektronenstrahls und elektromagnetische Linsen, während eine LM „nur“ Glaslinsen benötigt → Höherer technischer Aufwand [6]

#### (REM, TEM) vs LM

VS: ca. 4000

der Bildschirm

- 1 + Licht mit viel größerer Wellenlänge (380 nm) als Elektronen (Welle-Teilchen-Dualismus) (5 nm)  
- (REM, TEM) benötigt Vakuum im Gang des Elektronenstrahls und elektromagnetische Linsen, während eine LM „nur“ Glaslinsen benötigt → Höherer technischer Aufwand [6]

#### REM vs TEM

- 1 + Probenpräparation einfacher, da keine ultradünnen Schnitte der Probe erzeugt werden müssen  
+ 3D-Abbildung der Oberfläche des Objekts ⇒ leicht verständliche Bilder  
- geringere Vergrößerung und Auflösung  
- Keine Aussage über innere Struktur der Probe [6]

#### 2.2 Aufbau eines Raster-Elektronenmikroskops

In einer Mikroskopsäule wird der Durchmesser des Elektronenstrahls durch die Kondensorlinsen und der Aparaturblende ( $50 \text{ mm}$ ) elektronenoptisch verkleinert. Der Elektronenstrahl selbst entsteht durch eine thermische Wolfrankathode erzeugte Elektronenwolke, welche durch die Anode nach unten beschleunigt und durch die Kondensorlinsen (Elektronenlinse) fokussiert wird. Die Stigmatorspulen verhindern dabei, dass ein *axialer Astigmatismus* in der Abbildung auftritt. Ablenkspulen sorgen dann für zeilenförmigen Abrasterring der Probe durch den Elektronenstrahl [5] Aufbau ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Die verschiedenen Elektronen werden dann von einem Everhart-Thornley-Detektor und Halbleiterdetektor registriert und die entstehende Röntgenstrahlung von einem EDX-Detektor. Dabei dienen die registrierten Elektronen als Signal zur Helligkeitsmodulation des Bildes. [5]

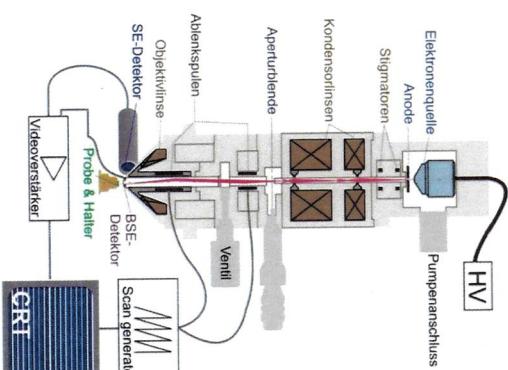
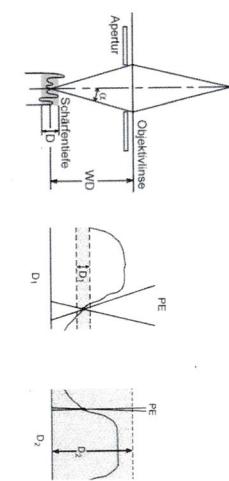


Abbildung 2.1: Aufbau Raster-Elektronenmikroskop

#### Schärfentiefe



Die Schärfentiefe eines REM hängt von der Größe der Apertur und dem Arbeitsabstand der Probe durch den Elektronenstrahl [5] Aufbau ist in Abbildung 2.1 dargestellt. Die verschiedenen Elektronen werden dann von einem Everhart-Thornley-Detektor und Halbleiterdetektor registriert und die entstehende Röntgenstrahlung von einem EDX-Detektor. Dabei dienen die registrierten Elektronen als Signal zur Helligkeitsmodulation der Probe noch Schärfe aufgelöst werden kann.

imaktive Spurze ! → Ausführlicher!  
Vorschlag: Zoll von oben nach unten  
Beschreiben: El.quelle → System → Probe → Det.  
El.quelle → System → Probe → Det.

8 klein!  
+ Verb?

## 2.3 Wechselwirkung der Elektronen mit Materie

## 2 Theoretischer Hintergrund

längt ist??  
dient geht

### 2.3 Wechselwirkung der Elektronen mit Materie

Durch Wechselwirkung des Primärelektronenstrahls (PE) mit der Materie entstehen unterschiedliche Signale, welche in Abbildung 2.3 dargestellt sind.

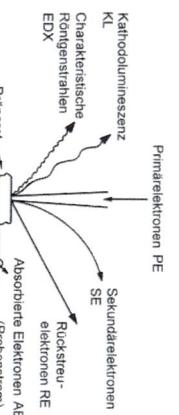
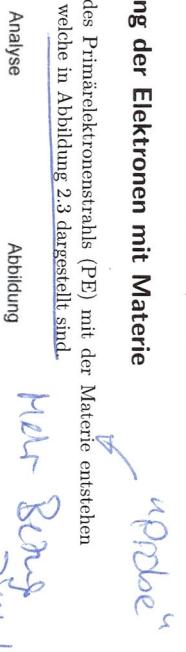


Abbildung 2.3: Signale eines REMs

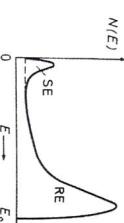
Das Volumen, in dem die Elektronen des Primärelektronenstrahls wechselwirken, heißt Streubirne oder Elektronendiffusionswolke, wobei die Reichweite vom wählten Probenmaterial und der Anregungsspannung abhängt.

- SE1: Aus PE im Material erzeugte SEs
- SE2: Aus RE im Material erzeugte SEs
- SE3: Aus RE außerhalb des Materials erzeugte SEs

Bis zu einer Reichweite von  $R = 500 \text{ nm}$  entsteht eine Wechselwirkung des PE-Strahls mit der Probe, wobei Elektronen aus der Atomhülle geschlagen werden. Dabei fallen Elektronen aus höheren Zuständen nach und es entsteht dabei Röntgenstrahlung, wobei diese Strahlung charakteristisch für das jeweilige Element ist. Die emittierende Strahlung kann dann noch ein Elektron aus einer höheren Schale herausstoßen, was als Auger-Elektron registriert wird. Bei Kernen mit kleiner Ordnungszahl ( $Z < 20$ ) dominiert die Emission von Auger-Elektronen, bei höheren Ordnungszahlen überwiegt die Emission von charakteristischer Röntgenstrahlung.

weißt us jndje u  
us jndje u  
SE - RE - SE  
SE - RE - SE

Tipps:  
Kontraste separiert  
diskutieren!  
woraus wir schau  
beweisen??



- SEs werden dann in Gruppen unterteilt:
- SE1: Aus PE im Material erzeugte SEs
  - SE2: Aus RE im Material erzeugte SEs
  - SE3: Aus RE außerhalb des Materials erzeugte SEs

Durch Eindringen des PE entstehen durch unelastische Streuung langsame Sekundärelektronen (SE) mit Energie  $< 50 \text{ eV}$  mit wahrscheinlichster Energie  $\langle E \rangle = 1 - 5 \text{ eV}$ , welche aus der  $t = 1-10 \text{ nm}$  stammen und zur Hochauflösung des REM führen. [5] Somit tragen SE maßgeblich zu den sogenannten Toptographiekontrast bei. [7]

Elektronen, welche elastisch an Atomkerne gestreut werden und diesen unter großen Winkel verlassen, werden als Rückstoelektronen (RE). REs haben dabei eine Energie

two sind die?

9

10

entw. zwischen?!

~~kurze Einleitung? 2.4 Detektoren~~

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.4 Detektoren

#### Everheart-Thornley-Detektor

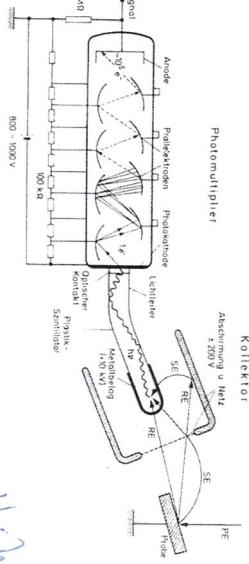


Abbildung 2.6: Everheart-Thornley-Detektor

Der Everheart-Thornley-Detektor ist eine Kombination aus Szintillatorkristall und Photomultipliern (siehe Abb. 2.6), welcher zur Detektierung von SEs und REs dient. Die ausgelösten SEs werden dabei von einem Netz des Kollektors mit positiver Spannung angesaugt (mit negativer Spannung können SEs zurückgehalten werden  $\Rightarrow$  nur REs im Signal). Schnelle REs, welche einen wesentlich höheren Energie wie SEs haben, passieren das Netz in beiden Fällen. Zwischen Netz und einer 50 nm dicken leitenden Metallschicht auf der Oberfläche des Plastik-Szintillators liegt eine Spannung von 10 kV, welche die Elektronen zum Szintillatorkristall beschleunigt. Dabei entstehen im Szintillatorkristall eine große Anzahl von Elektron-Loch-Paaren, welche proportional zur Spannung zwischen Probe und Kollektor und der Neigung der Probe zum Kollektor ist. Die Rekombination dieser Paare erzeugt Lichtquanten, wobei ein großer Teil strahlungsgleich rekombiniert. Dabei werden die erzeugten Lichtquanten durch Totalreflexion in Richtung des Photomultipliern abgelenkt. Auf der Photokathode wird dann durch das Quant ein Elektron ausgelöst, wobei diese durch eine Prallelektrode auf 100 eV beschleunigt und Spannungsimpulse induzieren, welche wiederum elektronisch verstärkt werden können. Dabei führt jedes einfallende SE mindestens zu einem Spannungsimpuls. Die Spannungsimpulse sorgen dann für einen Steuerung der Bildschirmhelligkeit. [5]

„Kompo“ und „Röntgen“ gewortet

Wolfram

Kann nicht werden vorbereitet!

#### Halbleiterdetektor

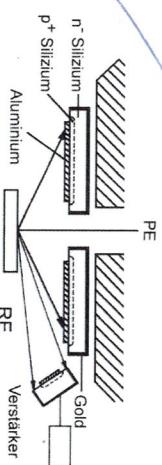


Abbildung 2.7: Halbleiterdetektor

Halbleiterdetektoren sind im Grunde Dioden, welche in Sperrrichtung betrieben werden. Dafür eignen sich diese Detektoren besonders gut für die Untersuchung von REs. Durch das Aluminium wird verhindert, dass Lichtquanten mitdetektiert werden. Auch werden langsame SEs von der Al-Schicht absorbiert. Die REs erzeugen im Leiter Elektron-Loch-Paare, welche dann über den p-n-Übergang diffundieren können, wobei es dort zu Rekombinationen in der jeweiligen Schicht kommt oder getrennt werden. Durch die Trennung der Elektron-Loch-Paare fließt durch den Leiter ein Strom, welcher weiter verstärkt wird und wiederum zur Helligkeitsmodulation dient. Durch seine flache Bauform kann der Halbleiterdetektor nahe an der Probe angebracht werden und füllt zum Gegenstand vor (2.4) einen großen Raumwinkel aus. [5]

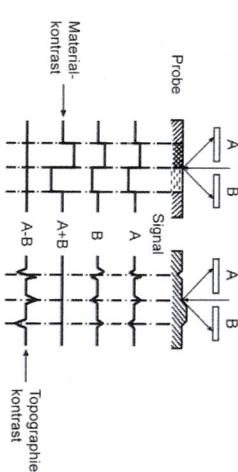


Abbildung 2.8: Compo- und Topo-Modus

Der Halbleiterdetektor kann dabei in verschiedenen Modi betrieben werden (siehe Abb. 2.8). Den Compo- (Materialkontrast) und den Topo-Modus (Topographiekontrast). Weiterhin kann das verwendete Elektronenmikroskop in Praktikum den sogenannten Shadow-Mode, welcher es ermöglicht Compo- und Topo-Modus gleichzeitig zu betrachten. Möglich gemacht wird dies mit Hilfe eines dritten Detektors, welcher leicht schräg angewinkelt ist (siehe Abb. 2.7).

Compo  $\Rightarrow$  Composicion (eng.: Zusammensetzung)

# Was - XRD - Detektor

## 2.4 Detektoren

### 2 Theoretischer Hintergrund

entweder oder wir verwenden Spannungsquelle und verarbeiten die Signale mit einem Doppelkathoden-Multiplier!

Der SDD nimmt dabei das klassische Röntgenspektrum (Bremspektrum, etc.) auf, wobei dabei die  $K_{\alpha}$  für die praktische Analyse am wichtigsten ist, da diese am wahrscheinlichsten entsteht. Die Aufnahme der Spektrallinien kann dabei über wellenlängendiffusiv oder energiedispersiv aufgenommen werden. Dabei wird bei einem wellenlängendiffusiven Spektrometer (WDS) jeweils auf eine Spektrallinie (mittl. Hilfe eines Analytorkristall) direkt eingestellt, wodurch eine genaue Bestimmung der Intensität möglich ist. Bei einem energiedispersiven Spektrometer (EDS) wird simultan das gesamte Röntgenspektrum erfasst wird, was eine gute Übersicht über die auftretenden Linien gibt. Wichtig zu erwähnen ist, dass ein EDS auch bei rauhen Oberflächen ohne Intensitätsabnahme verwendet werden kann, wobei die Messung nur qualitativ ist. Auch ist zu beachten, dass bei einem EDS Überlappungen auftreten können. [5]

**Si(Li)-Detektor und SDD-Detektor**

Bei einem Si-Detektor handelt es sich im Grunde um eine in Sperrrichtung betriebenen Silizium-Diode. Dabei wird bei einer angelegten Sperrspannung eine ladungsträgerfreie Zone (intrinsische Zone) erzeugt. Durch die eintreffenden Röntgenquanten werden Elektron-Loch-Paare erzeugt, die durch die angelegte Sperrspannung zu den Elektroden getrennt werden und dabei einen Spannungsimpuls verursachen. Für höhere Effizienz wird die Si-Diode mit Lithium dottiert, womit der Si(Li)-Detektor entsteht. Das Lithium fungiert als Donator und erzeugt mit den p-leitenden Charakter des Siliziums einen p-i-n-Übergang. Um das Driften der Lithium-Ionen zu verhindern, muss der Si(Li)-Detektor permanent gekühlt werden. [5]

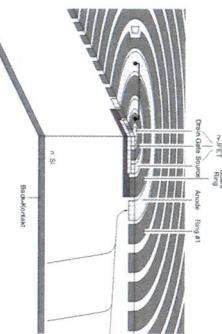


Abbildung 2.9: SDD-Detektor

Ein Silizium Drift Detektor (SDD) besteht nur aus einem Silizium-Wafer, der mit ringförmigen Elektroden auf der oberen Seite besitzt. Hierbei weist die angelegte Spannung einen Gradienten auf, welcher von Innen nach Außen zunimmt. Als Signalverstärker fungiert ein Feldeffekt Transistor (FET) im Zentrum des Wafers. Der SDD besitzt dabei keine klassische Diodenstruktur und besteht dabei aus zwei gegenüberliegenden p+-dottierten Schichten mit n- dotierter Rückseite als Sammellektrode. Bei Sperrspannung entsteht auch wieder eine ladungsträgerfreie Zone und ein Potenzialminimum im Zentrum des Wafers, wobei somit ein Spannungsgradient erzeugt wird, der die Elektronen (aus Elektron-Loch-Paar erzeugt durch Röntgenquant) zur Anode leitet und die Löcher zu den Driftringen (siehe Abb. 2.10).

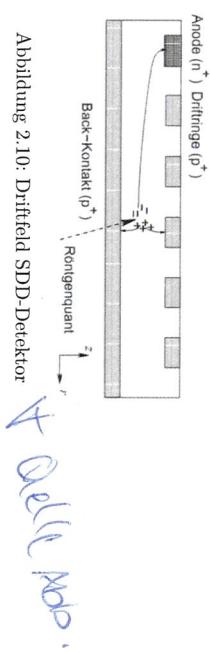


Abbildung 2.10: Driftfeld SDD-Detektor

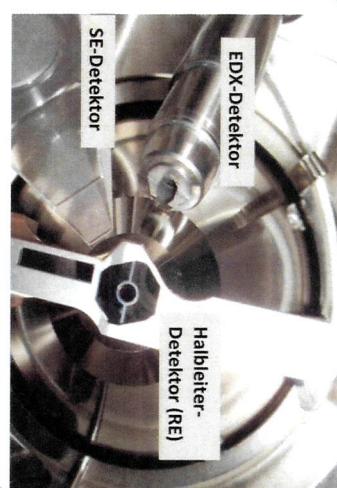


Abbildung 2.11: Detektoren bei Jeol JSM 6510

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.5 Linsenfehler

Bei einem Elektronenmikroskop können auch aufgrund des Welle-Teilchen-Dualismus des Elektrons die bekannten Fehler aus der Optik auftreten. Dabei entstehen folgende Linsenfehler:

#### 1) Öffnungsfehler:

Starke Ablenkung und geringere Brennweite bei Strahlen, die in einem großen Abstand von der Achse einfallen. Dabei tritt statt des Brennpunkts ein Kreis mit kleinen Durchmesser auf und der Fehler nimmt mit wachsendem Arbeitsabstand zu (siehe Abb. 2.12a).

#### 2) Farbfehler (Chromatische Fehler):

Brennweitendifferenz bei verschiedenen Wellenlängen, wobei dabei ein Zerstreuungskreis entsteht. Durch Stabilisierung der Beschleunigungsspannung und Linsenströme muss dieser Fehler nicht berücksichtigt werden (siehe Abb. 2.12b).

#### 3) Axialer Astigmatismus:

Durch Fehler in den Elektronenlinsen und der Apparaturblende kann die Brennweite zweier aufeinander senkrecht stehenden ebenen Elektronenbindeln eine unterschiedliche Größe haben (siehe Abb. 2.12c). Dabei kann der Astigmatismus als Wirkung einer überlagerten Zylinderlinse aufgefasst werden, welcher durch eine zusätzliche senkrechte Zylinderlinse (Stigmator siehe Kapitel 2.2) korrigiert werden kann.

#### 4) Beugungsfehler:

Aufgrund Apparaturbegrenzung ist der Fokus nicht scharf, wodurch an einem Punkt neben dem Fokus Interferenzen entstehen und damit ein Beugungsbild (siehe Abb. 2.12d).

#### 5) Zusätzliche Fehler:

Koma-, Verzeichnung- oder nichtaxiale Farbfehler werden durch kleine Aperturen und Zentrierung des Gerätes korrigiert. [5]

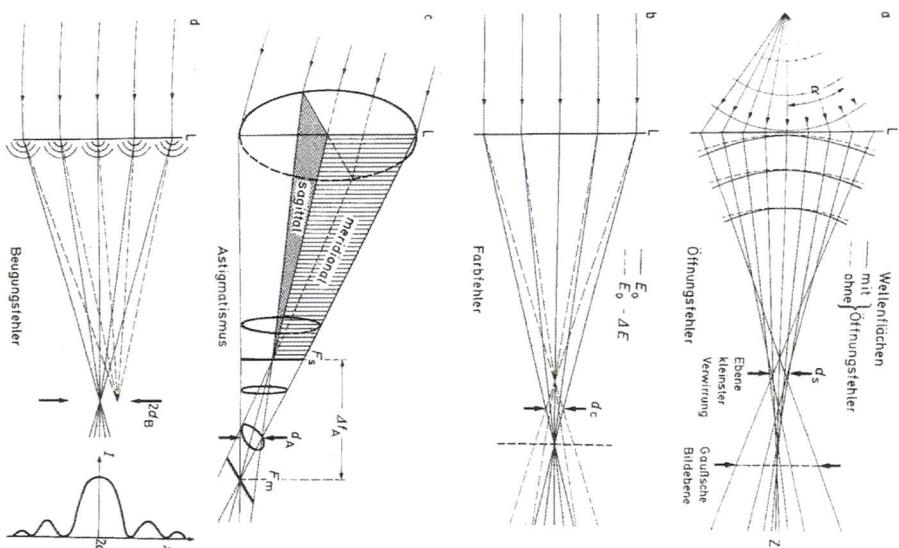


Abbildung 2.12: Linsenfehler



## Fliege

Untersuchung einer Fliege bei Beschleunigungsspannung 10 kV.

- 1) Abbildung gesamtes Objekts:  
Mehr Tiefenschärfe wird durch Vergrößerung des Arbeitsabstands erreicht. Datei:

*b\_Fliege\_0022.tif*

- 2) Segment Augen:

Datei: *b\_Fliege\_0023.tif* bis *b\_Fliege\_0026.tif*, *26-1.PNG*, *26-2.PNG* (Screenshots mit Maße)

- 3) Freie Bereichsauswahl:

Datei: *b\_Fliege\_0027.tif* bis *b\_Fliege\_0031.tif*

## Zinnstandard

Große Aufnahme eines kleinen Bereichs:

Datei: *c\_Zinn\_0032.tif*

- 1) Variation des Strahlendurchmessers bei 20kV:

Datei: *c\_Zinn\_0033.tif* bis *c\_Zinn\_0035.tif*

- 2) Variation der Beschleunigungsspannung bei SS30:

Datei: *c\_Zinn\_0035.tif* bis *c\_Zinn\_0037.tif*

- 3) Variation Arbeitsabstands bei 20kV und SS30:

Die Arbeitsabstände werden dabei auf dem erstellten Foto abgespeichert.

Messfehler Skala: Ablesefehler  $s_a = 0,05$  mm Restfehler wird mit Ablesefehler abgeschätzt.

Zwei Messreihen, da kurzzeitig Orientierung verloren wurde.

Datei: *c\_Zinn\_0038.tif* bis *c\_Zinn\_0046.tif*

## Schraube

Untersuchung von Bruchursache und Material der Schraube. Dabei nehmen wir Aufnahmen bei unterschiedlichen Modi auf zur Identifizierung der Bruchursache. Auffällig sind dabei drei Bereiche mit unterschiedlichen Materialien, welche mit dem EDX analysiert werden.

Datei: *d\_Schraube\_0039.tif* bis *d\_Schraube\_0055.tif*, *Dunkell*, *Dunkelg*, *Hell*, *Normal*  
+ *Dateiendung*

## Wunschprobe

Wahl fiel auf einen Microchip.

Datei: *e\_Chip\_0056.tif* bis *e\_Chip\_0063.tif*, *Chip + Dateiendung*

## 4 Auswertung und Diskussion

### 4.1 Kupfermünze (Pfennig)

Begonnen wurde der Versuch mit der Aufnahme einer Kupfermünze. In diese wurden zwei Löcher gebohrt, wobei eines mit einem anderen Material wieder gefüllt worden ist. Mithilfe dieser Probe sollten die Funktion des REM sowie verschiedene Einstellungsmöglichkeiten erkundet werden.

NEIN! Der  
wurde  
angebohrt  
nicht durch  
gebohrt!

*↓*  
*Wesentliches Bild des*  
*Pharis* *würde*  
*sich wie*  
*aussehen!*

#### 4.1 Kupferminze

#### 4 Auswertung und Diskussion

##### Aufnahmen bei verschiedenen Parametern

Als erstes wurde der Everhart-Thronley-Detektor im SE (und RE Modus) (SEI) verwendet und dabei die Beschleunigungsspannung variiert.

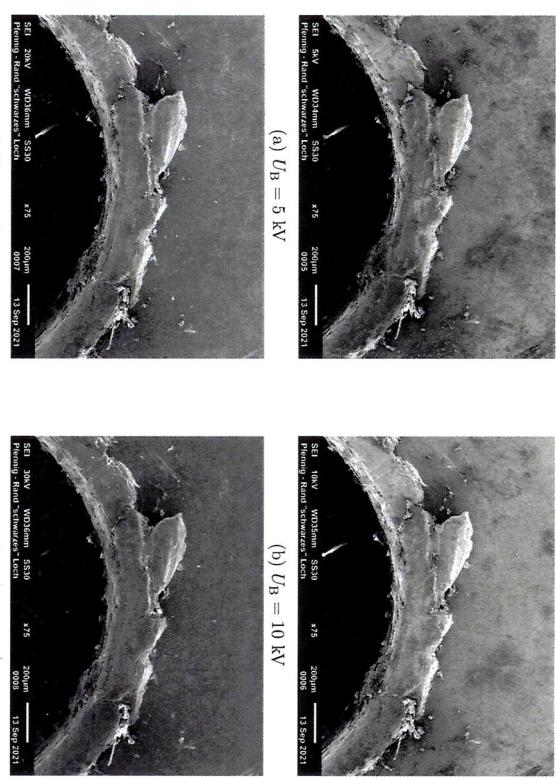


Abbildung 4.1: SEI bei unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen

Für niedrige Spannungen sind zunehmend Flecken auf der glatten Fläche zu erkennen, was möglicherweise durch Verunreinigungen auf der Probenoberfläche verursacht wird, welch bei niedrigerer Energie den Elektronen mehr ins Gewicht fallen. Elektronen mit niedriger Energie werden durch diese Rückstände weiter entschleunigt, weshalb dann dunkle Flecken zu erkennen sind.

*Was ist hier  
nur HV?  
Spann besser!  
↓ anwendung  
objektiv*

Wo ist Probenof besser  
Objektiv?

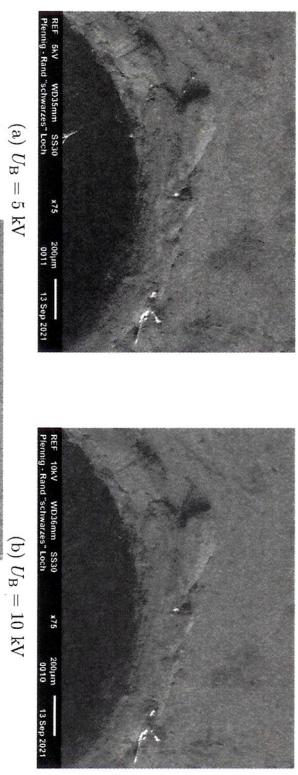


Abbildung 4.2: REF bei unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen

Genau wie oben sind bei niedriger Energie der Primärelektronen dunkle Flecken zu erkennen.

Weiterhin sind Abschattungskontraste der Bereiche, welche im Schatten des Everhart-Thronley-Detektors liegen, gut zu erkennen.

*Wo ist oben?  
Worauf weis' ich? SE-Betrieb (SEI)?  
Ausführlich!  
Angewandt:  
Schatten im Bild → ETD  
Wird anders sein!*



#### 4.1 Kupfermünze

Das gleiche wurde auch für den Halbleiterdetektor im Compo-Mode (BEC) gemacht.

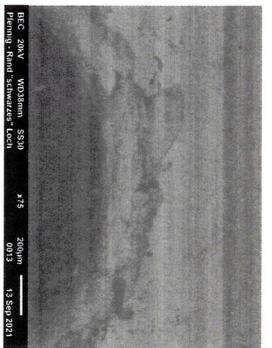
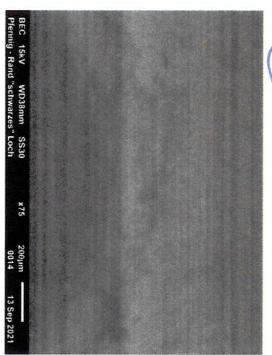


Abbildung 4.3: BEC bei unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen

Hier fällt sofort auf, dass die Bildqualität rapide mit der Beschleunigungsspannung abfällt. Also muss ein PE Strahl mit niedriger Energie weniger RückstreuElektronen erzeugen, welche den Halbleiterdetektor erreichen. Dies entspricht auch unseren Erwartungen.

~~Die Bilder nicht schlüssig und sollen Belebung der Erwähnung (Theorie)!~~

23

#### 4 Auswertung und Diskussion

Auch für den Halbleiterdetektor im Topo-Mode (BET) wurde die Beschleunigungsspannung variiert.

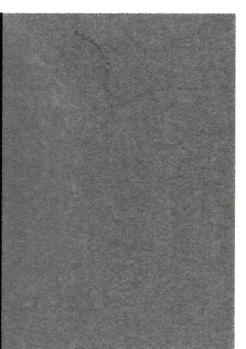


Abbildung 4.4: BET bei unterschiedlichen Beschleunigungsspannungen

Für die Bilder im BET Modus lassen sich wenig Aussagen machen, da die Bildqualität im Allgemeinen sehr schlecht ist. Es lassen sich nur Kanten erkennen, was im Topo-Modus keine Überraschung ist. Außerdem liegt die Vermutung nahe, dass die Einstellung des Fokus für  $U_B = 30 \text{ kV}$  nicht optimal gewählt wurde. Unsere Vermutung nach müssten die Kanten für größeren Energie beim PE Strahl besser zu erkennen sein.

Erwähnung!

24

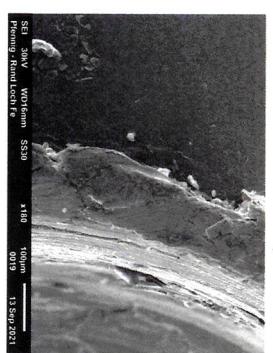
von wos?

#### 4.1 Kupfermünze

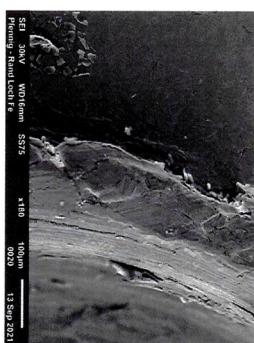
Außerdem wurde eine Stelle mit verschiedenen Strahl durchmessern abgetastet.



(a) SS 10



(b) SS 30



(c) SS 75

Abbildung 4.5: SEI bei unterschiedlichen Strahl durchmessern

Hier fällt auf, dass die Bilder mit abnehmenden SS körniger werden und somit auch weniger Details zu erkennen sind.

*Vossche  
auskunfts*

#### 4 Auswertung und Diskussion

##### EDX Analyse

Nun sollen das Röntgenspektrum der Münze, sowie des gefüllten Lochs mithilfe des EDX Detektors aufgezeichnet werden. Mit dessen Hilfe kann die Materialzusammensetzung ermittelt werden.

Zuerst wurde das Spektrum der Münze aufgenommen:

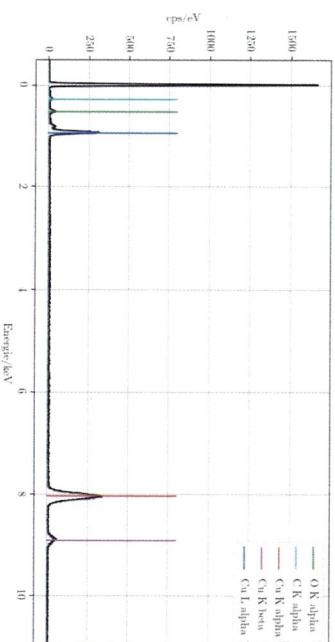


Abbildung 4.6: Röntgenspektrum der Kupfermünze *Voss* ?

Die EDX Analyse wird weitestgehend automatisch vom Computer übernommen. Nach Aktivierung der Messung wird ein Röntgenspektrum aufgezeichnet. Anhand der Peaks werden die enthaltenen Elemente bestimmt und anhand der Intensität dieser wird die Konzentration der jeweiligen Stoffe durch den PC ermittelt.

Element	OZ	Serie	um. C [Gew. %]	norm. C [Gew. %]	Atom. C [At. %]	Fehler (1 Sigma) [Gew. %]
C	-6	K	13,96	11,87	23,84	35,27
O	8	K	10,72	9,11	20,33	3,41
Cu	29	K	92,94	79,02	44,40	2,50

Tabelle 4.1: Ergebnisse der EDX-Analyse der Kupfermünze

Nach der Analyse geht klar hervor das Kupfer den größten Anteil ausmacht, was bei einer Kupfermünze alles andere als verwunderlich ist. Die übrigen Bestandteile, Kohlenstoff und Sauerstoff, sind wohl auf Organische Verunreinigungen zurück zu führen.



Anschließend wurde das Spektrum des Materials in einem der Löcher aufgenommen:

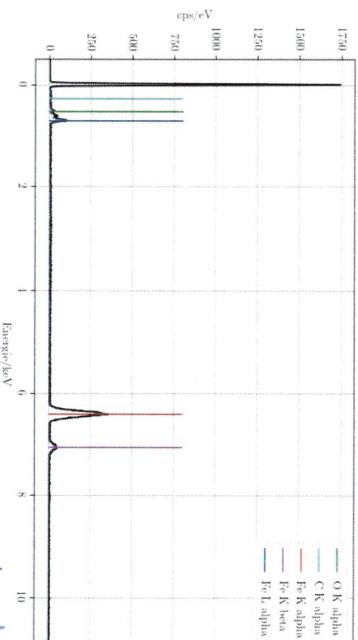


Abbildung 4.7: Röntgengespektrum des Fremdmaterials  
im Loch! im Lochrum!

Element	OZ	Serie	unn. C [Gew. %]	norm. C [Gew. %]	Atom. C [At. %]	Fehler (1 Sigma) [Gew. %]
C	6	K	7,06	7,57	23,84	4,17
O	8	K	7,52	8,06	19,05	2,83
Fe	26	K	78,68	84,36	57,11	2,19

Tabelle 4.2: Ergebnisse der EDX-Analyse des Fremdmaterials

Die Ergebnisse der Zweiten EDX Analyse sind hingegen wesentlich interessanter, wohin gegen Kohlenstoff und Sauerstoff wieder auf organische Kontamination hindeuteten haben wir so herausgefunden, dass das Loch mit Eisen gefüllt wurde.

#### 4.1 Kupferminze

in welcher ist weniger wie welche ist gleich?

#### 4 Auswertung und Diskussion

##### 4.2 Fliege

Als nächste Probe wurde eine Fliege eingelegt. Da es sich hierbei um organisches Material handelt, wurde sie mit Gold bedampft, um eine Untersuchung möglich zu machen. Weiterhin ist darauf zu achten, die Beschleunigungsspannung nicht zu groß (ca. 10 kV) einzustellen, da die Probe sonst beschädigt werden kann.

Zuerst wurde die Fliege im Ganzen aufgenommen. Um dabei eine hohe Tiefenschärfe zu erreichen wurde ein großer Arbeitsabstand eingestellt.



Abbildung 4.8: Gesamtaufnahme der Fliege

Trenn: Menge <=> Tiefen  
keine geschw. Beweg.!



## 4.2 Fliege

Als Nächstes wurde ein Segment des Facettenauges vermessen.

→ **BULL** besser.

## 4 Auswertung und Diskussion

### 4.3 Zinnstandart

In diesem Abschnitt sollen der Einfluss des Strahldurchmessers, der Beschleunigungsspannung und des Arbeitsabstands genauer beleuchtet werden.

Zuerst wird dazu der Strahldurchmesser variiert.

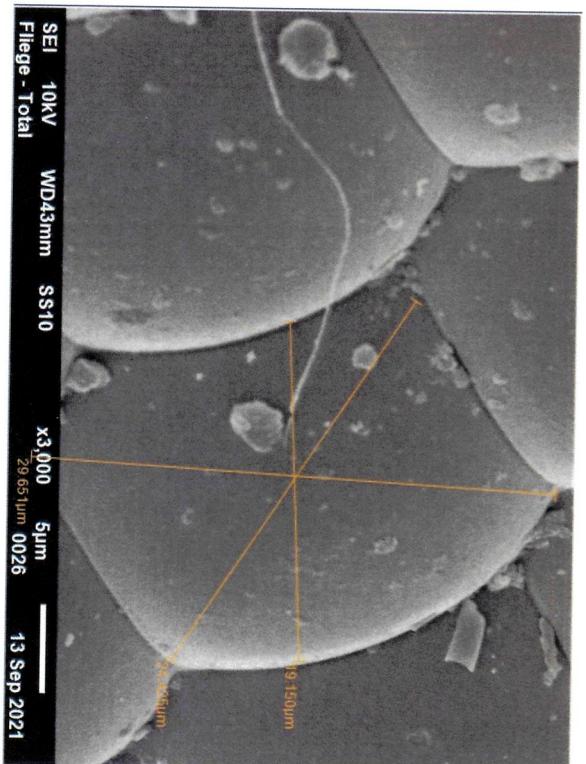


Abbildung 4.9: Segment eines Facettenauges der Fliege mit Bemaßung

Die Größe der Segmente beläuft sich auf ca. 20  $\mu\text{m}$ . → wie bestimmt

→ welche Messungen?

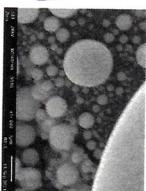
→ Statische?

→ weniger Verteilung

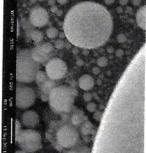
Um einen Rückschluss zu erhalten  
wurde es willkürlich gewählt

den gleichen Marsch

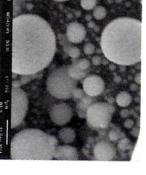
Versuch zu halten



(a) SS 10



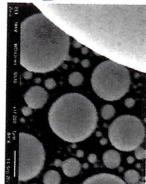
(b) SS 30



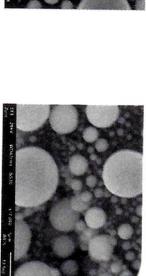
(c) SS 60

Abbildung 4.10: Zinstandart bei verschiedenen Strahldurchmessern

Es fällt auf, dass mit größerem SS die Schärfe und die Auflösung der Aufnahmen schlechter wurden.  
Außerdem wird auch die Beschleunigungsspannung variiert.



(a) 10 kV



(b) 20 kV



(c) 30 kV

Abbildung 4.11: Zinstandart bei verschiedenen Beschleunigungsspannungen

Es fällt auf, dass bei 20 kV sehr viele Kugeln im Hintergrund zu erkennen sind, wohingegen dies bei 30 kV fast gar nicht mehr der Fall ist. Es scheint nicht so als würde die Beschleunigungsspannung nur einen konkreten Unterschied bewirken, da keine klare Tendenz zu erkennen ist.

*Bleibt offen!*

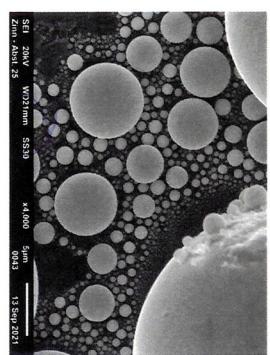


# Form: Einfluss d. Abstand untersucht!

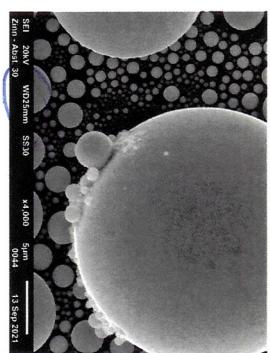
## 4.3 Zinnstandart

## 4 Auswertung und Diskussion

Zum Schluss wurde dann der Arbeitsabstand variiert.



(a) Arbeitsabstand 25 mm



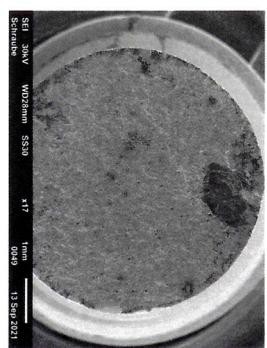
(b) Arbeitsabstand 30 mm

Abbildung 4.12: Zinnstandart bei unterschiedlichen Arbeitsabstand

Im bezug auf den Arbeitsabstand fällt auf, dass mit dessen Verringerung mehrere kleinere Kugeln in den hinteren Ebenen zu erkennen sind.

WD 21 VS - WD 25

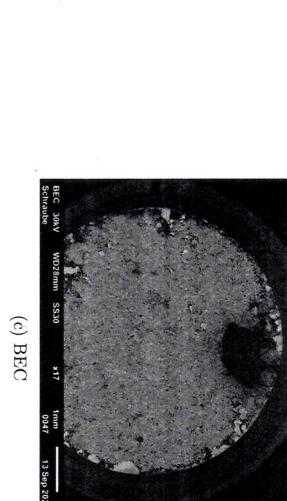
*Wieder  
gut!*



(a) SEI



(b) REF



(c) BEC

Abbildung 4.13: Bruchfläche der Schraube mit unterschiedlichen Detektoren

Für einen guten ersten Eindruck eignet sich der SEI Modus, um die Struktur der Fläche zu untersuchen, eignet sich der REF Modus. In allen Aufnahmen und besonders im letzten Bild, im BEC Modus, sind drei unterschiedliche Zonen zu erkennen. Zum einen ein recht auffälliger dunkler Fleck im oberen Teil, daneben mehrere kleinere hellere Zonen, die sich am Rand der Fläche zu konzentrieren scheinen und der übrige Teil der Schraube, dessen Helligkeit zwischen den beiden anderen Zonen liegt.

*Nicht  
einfach  
aber  
→ sei  
günstig.*

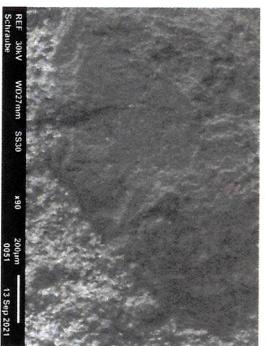
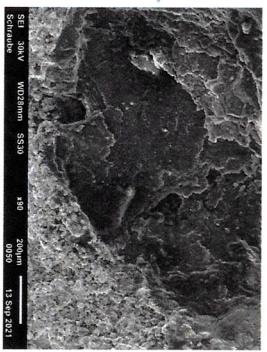
*Von was*

*hat was?*



#### 4.4 Gebrochene Schraube

Als Nächstes wurde eine Nahaufnahme des dunklen Flecks angefertigt.



(a) SEI

(b) REF

Aus diesen Aufnahmen geht hervor, dass der dunkle Fleck mit einer Vertiefung einhergeht.

#### 4 Auswertung und Diskussion

Nun soll eine EDX Analyse über die Materialzusammensetzung des dunklen Flecks aufschluss geben.

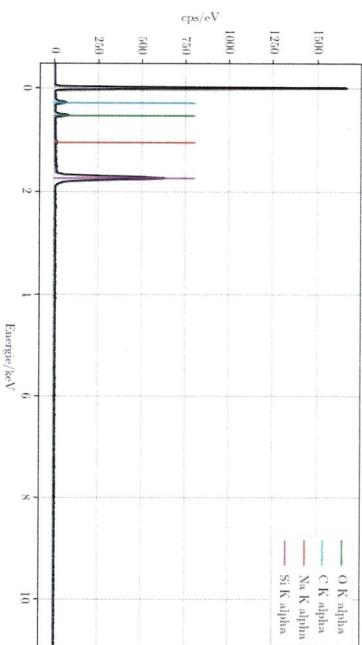


Abbildung 4.15: Röntgenspektrum des dunklen Flecks

Element	OZ	Serie	unn. C [Gew. %]	norm. C [Gew. %]	Atom. C [At. %]	Fehler (1 Sigma) [Gew. %]
C	6	K	56,69	43,02	55,43	14,77
O	8	K	41,46	31,46	30,43	10,20
Na	11	K	0,89	0,67	0,45	0,16
Si	14	K	32,74	24,85	13,69	1,56

Tabelle 4.3: Ergebnisse der EDX-Analyse des dunklen Bereichs

Was  
haut  
hier  
wur  
was  
sich  
aus.  
Sie  
durch  
durch  
aus.  
Vid  
m  
wegp

→ Text !!

D. Schenck

#### 4.4 Gebrochene Schraube

Des Weiteren zeigt eine Nahaufnahme der hellen gegenüber, dass sich diese durch eine gewisse Erhabenheit auszeichnen. Außerdem erscheint die Oberfläche in diesem Bereich ebener.

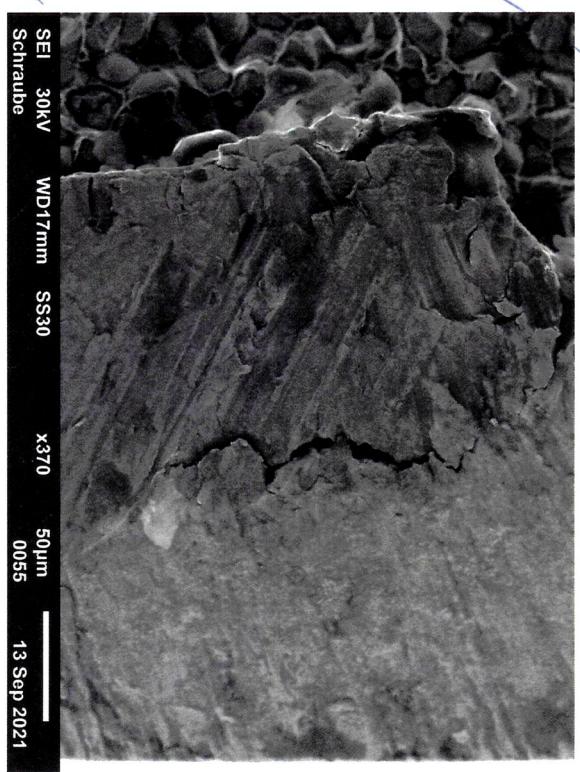


Abbildung 4.16: Nahaufnahme einer hellen Region

#### 4 Auswertung und Diskussion

Über die Zusammensetzung soll wiederum eine EDX Analyse Aufschluss geben.

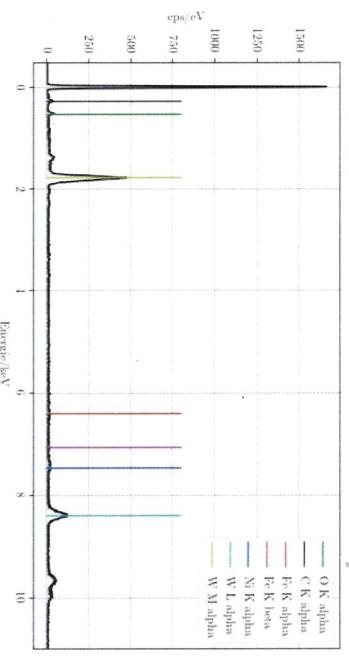


Abbildung 4.17: Röntgenspektrum der hellen Bereiche

Element	OZ	Serie	unn. C [Gew. %]	norm. C [Gew. %]	Atom. C [At. %]	Fehler (1 Sigma) [Gew. %]
C	6	K	18,02	16,52	52,93	5,99
O	8	K	14,29	13,10	31,51	4,47
Fe	26	K	0,57	0,53	0,36	0,08
Ni	28	K	1,38	1,27	0,83	0,12
W	74	L	74,81	68,59	14,36	2,09

Tabelle 4.4: Ergebnisse der EDX-Analyse der hellen Bereiche

→ Text



#### 4.4 Gebrochene Schraube

Nicht zu vergessen ist das Grundmaterial der Schraube, auch hierbei wird wieder eine EDX Analyse benutzt.

*büro  
säge*

#### 4 Auswertung und Diskussion

Stabilität, weshalb die Schraube an dieser Stelle gebrochen ist.

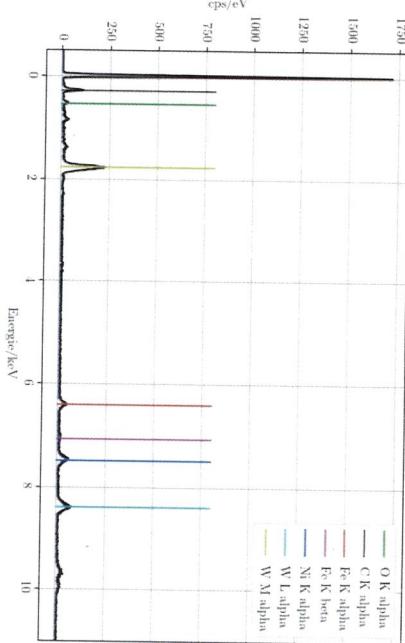


Abbildung 4.18: Röntgenspektrum der normalen Bereiche

Element	OZ	Serie	unn. C [Gew. %]	norm. C [Gew. %]	Atom. C [At. %]	Fehler (1 Sigma) [Gew. %]
C	6	K	42,64	43,61	78,17	9,71
O	8	K	9,86	10,08	13,57	3,42
Fe	26	K	3,94	4,03	1,55	0,20
Ni	28	K	6,88	7,04	2,58	0,28
W	74	L	34,45	35,24	4,13	1,08

Tabelle 4.5: Ergebnisse der EDX-Analyse der normalen Bereiche

Unter berücksichtigung der soeben erlangten Erkenntnisse erscheint es als wahrscheinlich, dass der Dunkle Fleck eine Verunreinigung ist, welche bei der Herstellung in die Schmelze gelangt. Diese Vermutung wurde am deutlichsten durch die EDX Analyse bestätigt, da dieser Bereich eine völlig andere Materialzusammensetzung besitzt. Die "normalen und hellen Bereiche setzen sich hingegen aus den gleichen Materialien zusammen.

Durch die Verunreinigung (dunkle Anomalie) würde somit die Querschnittsfläche der Legierung an dieser Stelle verkleinert. Dies führte deshalb zu einer verminderung der

*was hat es wohl?  
vergessen?*

#### 4.5 Chip Wafer

Im letzten Teil haben wir uns einen Teil eines Chip Wafers vorgenommen. Gut zu erkennen sind die Leiterbahnen. Außerdem konnten wir auch ein Logo finden.

#### 4.5 Chip Wafer

## 5 Fazit

Alles in allem haben wir in diesem Versuch die Grundlagen der Rasterelektronenmikroskopie erlernen dürfen. Dazu gehören die verschiedenen Detektoren und Einstellungsmöglichkeiten. Des Weiteren konnten wir unser Erlerntes anwenden, um die Bruchuhrsache einer Schraube zu bestimmen.

Abschließend ist zu bemerken, dass der Versuch als Erfolg zu verbuchen ist, da er uns Praxisnah den Umgang mit einer der wichtigsten Untersuchungsmethoden vertraut gemacht hat.

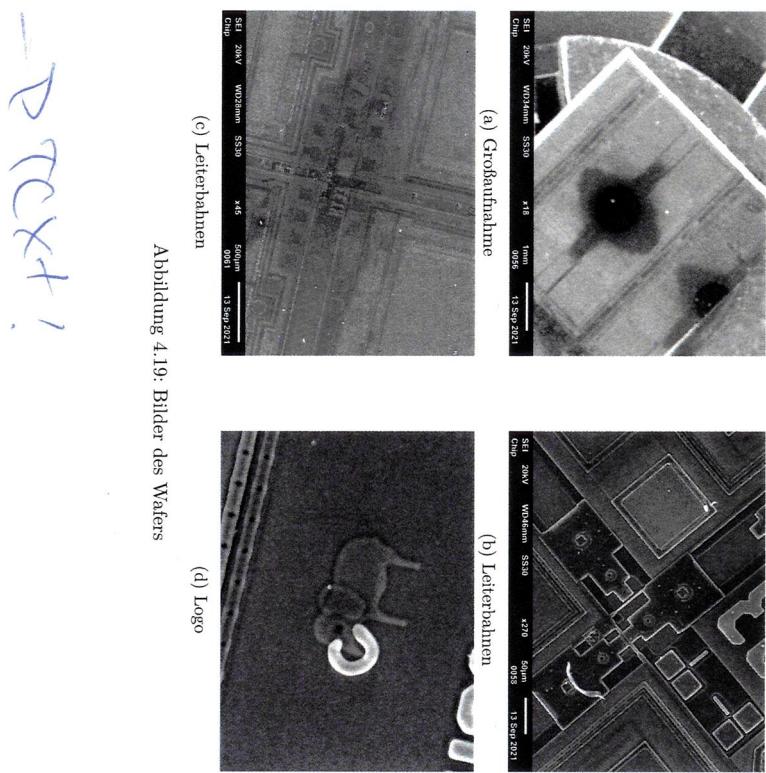


Abbildung 4.19: Bilder des Wafers



## Literaturverzeichnis

- [1] Lichtmikroskop, URL <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Lichtmikroskop&oldid=209133433>. Zugriffsdatum: 16.09.2021.
- [2] Rasterelektronenmikroskop, URL <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rasterelektronenmikroskop&oldid=212553304>. Zugriffsdatum: 16.09.2021.
- [3] Transmissionselektronenmikroskop, URL <https://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Transmissionselektronenmikroskop&oldid=215044341>. Zugriffsdatum: 16.09.2021.
- [4] Michler Goerg Hannes. Transmissionselektronenmikroskopie (tem). URL <https://wiki.polymerservice-marsburg.de/index.php?title=Transmissionselektronenmikroskop&oldid=8283>. Zugriffsdatum: 16.09.2021.
- [5] Ludwig Reimer and Gerhard Pfefferkorn. *Raster-Elektronenmikroskopie*. Springer, 2. edition, 1977.
- [6] Manfred Ruppel. Rasterelektronenmikroskopie. URL <https://www.bio.uni-frankfurt.de/43229358/einfuhrung.pdf>. Zugriffsdatum: 16.09.2021.
- [7] A. Zankel. Rasterelektronenmikroskopie. URL [https://wiki.polymerservice-marsburg.de/index.php?title=Raster-Elektronenmikroskop&oldid=8275](https://wiki.polymerservice-marsburg.de/index.php?title=/wiki/polymerservice-marsburg.de/index.php?title=Raster-Elektronenmikroskop&oldid=8275). Zugriffsdatum: 16.09.2021.