

# Modulare Röntgenquelle

## iMOXS®

### Technisches Handbuch



**HELMUT FISCHER GMBH**  
Institut für Elektronik und Messtechnik  
Rudower Chaussee 29/31 • 12489 Berlin • Germany

Tel.: +49 30 6392-6500 • Fax: +49 30 6392-6501  
Web: [www.helmut-fischer.de](http://www.helmut-fischer.de) • E-Mail: [Berlin@helmut-fischer.de](mailto:Berlin@helmut-fischer.de)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Allgemeine Informationen</b>	<b>2</b>
2.1	Bestimmungsgemäße Verwendung . . . . .	2
2.2	Gewährleistung und Haftungsausschluss . . . . .	2
2.3	Technische Daten . . . . .	3
2.4	Lieferumfang . . . . .	4
2.5	Transport- und Installationshinweise . . . . .	5
2.5.1	Transport . . . . .	5
2.5.2	Aufstellen der Röntgenquelle . . . . .	6
2.5.3	Verwechslungssichere Anschlüsse . . . . .	6
<b>3</b>	<b>Anschlüsse, Bedien- und Anzeigeelemente</b>	<b>7</b>
3.1	CSU/2-Frontseite . . . . .	7
3.2	CSU/2-Rückseite . . . . .	8
3.3	Modulare Röntgenquelle . . . . .	9
<b>4</b>	<b>Bedienung der Röntgenquelle</b>	<b>12</b>
4.1	Bedienung über den PC (Remote) . . . . .	12
4.1.1	Netzwerkeinstellungen und Treiberinstallation . . . . .	12
4.1.2	Einschalten des Gerätes . . . . .	14
4.1.3	Umschalten Local/PC . . . . .	14
4.1.4	Erstmaliges Einfahren der Röntgenröhre im PC Modus (empfohlen), Bedienoberfläche und Funktionen der CSU Software . . . . .	14
4.2	Manuelle Bedienung (Local) . . . . .	18
4.2.1	Einschalten des Gerätes, Betriebsbereitschaft im lokalen Modus . . .	18
4.2.2	Erstmaliges Einfahren der Röntgenröhre im lokalen Modus (nicht empfohlen) . . . . .	18
4.2.3	Einfahren nach längeren Betriebspausen . . . . .	20
4.2.4	Einstellen der Sollwerte für Spannung und Strom . . . . .	20
4.2.5	Hochspannung einschalten . . . . .	20
4.2.6	Hochspannung ausschalten . . . . .	22
4.2.7	Verschluss öffnen/schließen . . . . .	22
4.3	Ausschalten der Röntgenquelle . . . . .	22
4.4	Justageverfahren . . . . .	22
4.5	Wartung und Fehlerbehebung . . . . .	24
4.5.1	Austausch der Sicherungen . . . . .	24
4.5.2	Fehlermeldungen . . . . .	24

<b>5</b>	<b>Sicherheit</b>	<b>26</b>
5.1	Strahlenschutz . . . . .	26
5.2	Funktion der Sicherheitskreise . . . . .	27
5.2.1	Externe Sicherheitsverriegelung (Externes Interlock) . . . . .	27
5.2.2	Sicherheits- und Überwachungsfunktionen . . . . .	28
5.3	Beryllium . . . . .	29
5.4	Biologische Wirkung von Röntgenstrahlung . . . . .	30
<b>6</b>	<b>Zusatz für Elektronenmikroskope (iMOXS-REM)</b>	<b>31</b>
6.1	Justage des Röhrenspots auf die Position des unabgelenkten Elektronenstrahls	32
6.2	Einstellung des Optik-Fokusabstandes zur Probenoberfläche . . . . .	33
6.3	Stabilitätsmessungen beim Nutzer . . . . .	33

# 1 Einleitung

Die modulare Röntgenquelle iMOXS/2<sup>®</sup> ist ein Gerät zur Erzeugung von Röntgenstrahlung. Die Quelle kann mit Röntgenoptiken gekoppelt werden um damit fokussierte oder parallele Strahlen zu erzeugen. Durch den modularen Aufbau und die Möglichkeit zur Kombination mit Röntgenoptiken sind die Einsatzmöglichkeiten dieser Röntgenquelle sehr weit gefächert. Sie reichen von der Anregung kleiner Probenflächen zur Röntgenfluoreszenz über die Nutzung der Strahlung zur Durchführung von Streuexperimenten bis zum Einsatz in der Radiographie. Infolge ihres kompakten Aufbaus kann der iMOXS/2<sup>®</sup> -Einsatz sowohl im Labor als auch in industriellen Bereichen erfolgen.

Die modulare Röntgenquelle besteht aus einer Feinfokus-Kleinleistungsröntgenröhre mit Röhrenschutzgehäuse und Verschluss sowie einer Kontroll- und Versorgungseinheit CSU (Control and Supply Unit), die die Röhrenversorgung (Hochspannung und Heizstrom) sowie die Sicherheitselektronik beinhaltet. Sie kann mit verschiedenen Röntgenoptiken kombiniert werden, die mit entsprechenden Vorrichtungen zur Röhre justiert werden.

Entsprechend den konkreten Anforderungen kann die Röntgenröhre mit unterschiedlichen Anodenmaterialien (Target) ausgerüstet werden, die maximalen Röhrenparameter sind 50 kV und 30 W (abhängig vom Target). Der Hochspannungsgenerator der CSU liefert bis zu 50 kV Hochspannung positiver Polarität zum Anschluss an die Anode einer Röntgenröhre. Zusätzlich besitzt er eine Kathodenstromversorgung für die kontinuierliche Regelung des Röhrenstromes im Bereich von 0  $\mu$ A bis maximal 800  $\mu$ A. Darüber hinaus ist das Kontrollgerät mit verschiedenen Sicherheitskreisen entsprechend den Forderungen der Röntgenverordnung (RöV) ausgestattet. Die CSU ist ein voll funktionsfähiges, selbstständiges Auftisch-Gerät, das im lokalen Betrieb manuell über Tasten und Drehknöpfe oder über eine USB-Schnittstelle von einem PC bedienbar ist. Eine Windows<sup>®</sup>-basierte Software mit einfacher Bedienoberfläche ist im Lieferumfang enthalten.

Die modulare Röntgenquelle ist mit den erforderlichen Sicherheitsfunktionen für einen dem Strahlenschutz entsprechenden sicheren Betrieb ausgestattet. Dazu gehören z. B. ein Verschluss-System sowie interne und externe Signalleuchten.

Das iMOXS/2<sup>®</sup> kann als ein selbstständiges Gerät benutzt oder in komplexe Aufbauten integriert werden.

Es wird in verschiedenen festen Konfigurationen eingesetzt, zum Beispiel für die Diffraktometrie oder als iMOXS/2<sup>®</sup>-SEM, einem Zusatz für die Elektronenmikroskopie zur Anregung von Röntgenfluoreszenz.

## 2 Allgemeine Informationen

### 2.1 Bestimmungsgemäße Verwendung

Das iMOXS<sup>®</sup> ist für röntgenanalytische Anwendungen konzipiert, insbesondere zur Anregung von Probenmaterialien mittels fokussierter Röntgenstrahlung und in Kombination mit einem geeigneten Detektionssystem zur Elementaranalyse.

Das iMOXS<sup>®</sup> muss stets von geschultem und hinreichend unterwiesenem Personal bedient werden, dabei muss allen Sicherheitsanweisungen in diesem Handbuch Folge geleistet werden. Sichere Arbeitsbedingungen können nur durch die korrekte Installation, Bedienung und Verwendung erreicht werden.

Jede Verwendung des iMOXS<sup>®</sup> abseits der hier beschriebenen gilt als nicht bestimmungsgemäße Verwendung. Für entstandene Schäden durch nicht bestimmungsgemäße Verwendung ist der Betreiber allein verantwortlich, nicht der Hersteller. Folgende Anwendungen sind von der bestimmungsgemäßen Verwendung **explizit ausgeschlossen**:

- Jedwede Medizinische oder biologische Anwendung
- Radiologische Anwendungen
- Die Analyse aggressiver und/oder radioaktiver Chemikalien.

### 2.2 Gewährleistung und Haftungsausschluss

Die Verkaufs- und Lieferbedingungen der Helmut Fischer GmbH sind gültig. Die Helmut Fischer GmbH haftet nicht bei Material- oder Personenschäden, die aus einer oder mehrerer der folgenden Ursachen entstanden sind:

- Nicht bestimmungsgemäße Verwendung des iMOXS<sup>®</sup> (siehe 2.1)
- Inkorrekte Inbetriebnahme, Installation, Verpackung, Transport oder Benutzung des iMOXS<sup>®</sup>
- Nutzung des iMOXS<sup>®</sup> bei nicht vollständig betriebsbereiten oder außer Funktion gesetzten Schutzeinrichtungen
- Nichtbeachtung der Sicherheitshinweise und Anweisungen innerhalb dieses Dokuments
- Nutzung einer anderen Kontrollsoftware als der mitgelieferten

## 2.3 Technische Daten

### Mikrofokus-Röntgenquelle

#### Röntgenröhre

Typ:	luftgekühlte Metall-Keramikröhre
Anodenmaterial:	Cr, Co, Cu, Mo, Rh, Ag, W (andere auf Anfrage)
Anodenfleck:	Durchmesser ca. 50 µm
Röhrenfenster:	0,1 mm Be
Röhrentemperatur:	≤ 60 °C

#### Röntgentechnische Daten

Hochspannung:	max. 50 kV (einstellbar in Schritten von 1 kV)
Röhrenstrom:	max. 800 µA (einstellbar in Schritten von 1 µA)
Elektrische Leistung:	max. 30 W

#### Röhrenschutzgehäuse

Absorptionsfilter:	4 Positionen im Filterradd, wobei eine meist frei bleibt; d.h. 3 mögliche Filter mit einer max. Dicke von 300 µm. Standard: 50 µm Al, 20 µm Ti, 15 µm Ni
--------------------	-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

#### Abmaße Röntgenstrahler ohne Optik

H x B x T:	300 mm x 100 mm x 80 mm (Variante iMOXS®-REM 300 mm x 270 mm x 125 mm)
Gewicht:	ca. 5,5 kg (Variante iMOXS®-REM ca. 8.3 kg)

### Versorgungseinheit (CSU)

#### Elektrische Anschlusswerte

Spannung:	90...260 V, 50 Hz
Leistung:	max. 150 W
Anschluss:	Schutzkontaktstecker 1P+N+PE DIN 49441

#### Abmaße

Höhe/Breite/Tiefe:	150 mm/360 mm/300 mm
Gewicht:	ca. 9 kg

**Röntgenoptik (optional)**

Typ:	fokussierende oder parallelisierende polykapillare Optik
Justageeinheit:	Optikhalter mit Möglichkeit zur Feinjustage der Optik zur Quelle

**Software**

CSU-Software:	Zur Ansteuerung der CSU über einen PC.
iMOXS <sup>®</sup> -Quant:	Für die quantitative, standardfreie $\mu$ RFA-Analyse

**Betriebsbedingungen**

Raumtemperatur:	10 - 30° C
empfohlene Raumtemp.:	20 - 25° C
rel. Luftfeuchte:	10 - 80 %
Raumluft:	frei von korrosiven Dämpfen ohne große Staubbelastung

**Sonstiges**

Die Helmut Fischer GmbH behält sich das Recht vor, Spezifikationsänderungen, die dem technischen Fortschritt dienen, ohne vorherige Benachrichtigung vorzunehmen.

**2.4 Lieferumfang**

Zum Lieferumfang des iMOXS<sup>®</sup> gehören folgende Komponenten:

**modulare Röntgenquelle**

- luftgekühlte Metall-Keramik-Röntgenröhre mit Be-Fenster
- Röhrenschutzgehäuse mit elektromagnetischem Verschluss-System und Filterwechsler
- HV-Kabel der Röntgenröhre
- Heizstromkabel der Röntgenröhre
- Steuerkabel für das Röhrenschutzgehäuse (Sicherheitsfunktionen)
- Absorptionsfilter (optional)
- Datenblatt der Röntgenröhre
- Kopie des PTB-Prüfscheins

- Kopie der Bauartzulassung

### **Versorgungseinheit CSU**

- Versorgungsgehäuse mit Elektronikblock
- 2 zugehörige Schlüssel
- Signalleuchte
- Netzanschlusskabel
- LAN-Kabel für den Anschluss an einen PC (ggf. LAN-USB-Switch)
- Anschlussstelle für das Steuerkabel des Röhrenschutzgehäuses
- Anschlussstelle für einen Vakuumsensor
- Software für die Ansteuerung per PC

### **Optikeinheit (optional)**

- fokussierende oder parallelisierende Optik in einer Optikfassung
- Justageeinheit
- Spitze mit Absorptionsfilter (optional)
- Optikzertifikat

### **zusätzliche Komponenten bei der iMOXS<sup>®</sup>-REM-Variante**

- Verfahreinheit der Röntgenquelle
- Flansch zur Anbringung des iMOXS<sup>®</sup> an das Mikroskop
- Vakuumsensor mit dem entsprechenden Verbindungskabel zur CSU
- fokussierende Optik inkl. Justageeinheit und Optikzertifikat
- iMOXS-Quant-Software für die quantitative standardfreie Analyse

## **2.5 Transport- und Installationshinweise**

### **2.5.1 Transport**

Die Kontroll- und Versorgungseinheit CSU wird inkl. Zubehör in einer Verpackungsbox geliefert. Die Röntgenquelle wird in einer zweiten separaten Box geliefert. Weiteres Zubehör wird auf diese beiden Boxen aufgeteilt.

Der Transport sollte mit großer Vorsicht erfolgen. Während des Transports und der Lagerung ist das Gerät vor Nässe und Temperaturen unter  $-10^{\circ}\text{C}$  zu schützen.

Die Gesamtbruttomassen der einzelnen Transporteinheiten liegen unter 25 kg und können somit von einer Person getragen werden.



### 2.5.2 Aufstellen der Röntgenquelle

Die modulare Röntgenquelle mit Optik ist ein Laborgerät und zum Betrieb in geschlossenen, temperierbaren Räumen vorgesehen.

---

**Achtung!**

Beim Auspacken und Aufstellen die Röntgenquelle nicht an der Optikeinheit halten!

Es ist ein einfacher Netzanschluss ohne besondere Absicherung erforderlich. Eine Wasserkühlung oder andere Kühlmedien, außer ggf. für den Detektor, werden nicht benötigt. Vor Inbetriebnahme der Röntgenquelle ist sicherzustellen, dass das Gerät wieder Raumtemperatur aufweist.

---

**Gefahr!**

Der Betrieb der Röntgenquelle ist an bestimmte, gesondert aufgeführte Sicherheitsvorkehrungen gebunden!

### 2.5.3 Verwechslungssichere Anschlüsse

Die CSU-Anschlüsse, wie die Verbindungskabel zum Röhrenschutzgehäuse mit der Röntgenröhre, die Netzanschlussleitung, die Steuerleitungen und die Hilfsspannungsausgänge befinden sich an der Rückseite der CSU. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Steckverbinder verwechslungssicher sind. Am Röhrenschutzgehäuse sind alle Anschlüsse an einer Seite angebracht, unabhängig davon ob es Versorgungs-, Steuer- oder Signalleitungen sind.

## 3 Anschlüsse, Bedien- und Anzeigeelemente

### 3.1 CSU/2-Frontseite

Auf der Frontseite der Bedien- und Versorgungseinheit (Abb.: 3.1) befinden sich nachfolgend beschriebene Elemente.

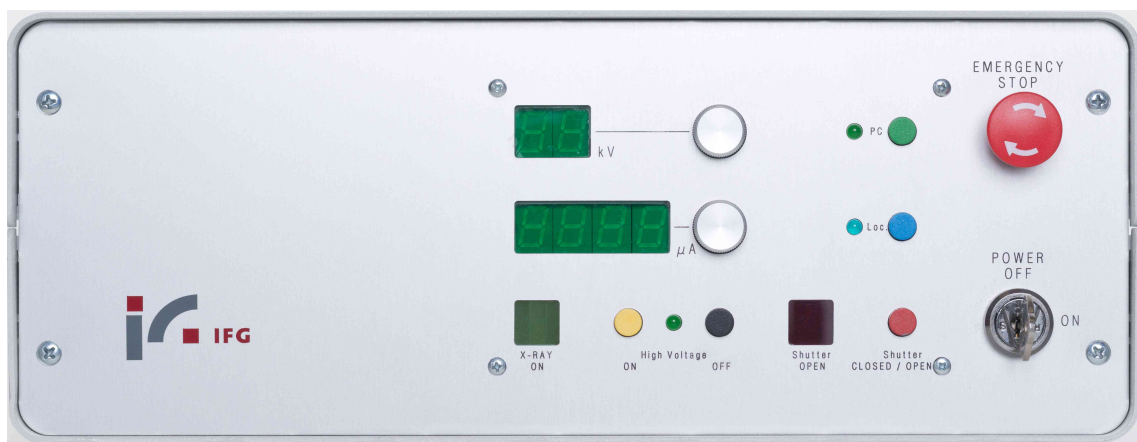


Abbildung 3.1: Frontseite der Bedien- und Versorgungseinheit

**Auf der Frontseite zentral befinden sich:**

Anzeige Hochspannung (zweistellig, in kV) (kV)  
rechts davon Drehknopf für die Einstellung der Hochspannung  
Anzeige Röhrenstrom (vierstellig, in  $\mu\text{A}$ ) ( $\mu\text{A}$ )  
rechts davon Drehknopf für die Einstellung des Röhrenstroms

**Unter der Anzeige für den Röhrenstrom befinden sich von links nach rechts:**

gelbe Hochspannungskontrollleuchte	„X-RAY ON“ - gelb
Drucktaster zum Einschalten der Hochspannung	„High Voltage ON“ - gelb
LED-Anzeige für die Betriebsbereitschaft	„High Voltage“ - grün
Drucktaster zum Ausschalten der Hochspannung	„High Voltage OFF“ - schwarz
Strahlaustrittskontrollleuchte	„Shutter OPEN“ - rot
Drucktaster zum schließen/öffnen des Verschlusses	„Shutter CLOSED/OPEN“ - rot

Im rechten Drittel der Frontseite befinden sich:

Not-Aus-Schalter	„EMERGENCY STOP“ - rot
LED-Anzeige bei PC-Steuerung	„PC“ - grün
Drucktaster für die PC-Steuerung	„PC“ - grün
LED-Anzeige bei lokaler Steuerung	„LOC.“ - blau
Drucktaster für die lokale Steuerung	„LOC.“ - blau
Netzschlüsselschalter	„POWER ON/OFF“

## 3.2 CSU/2-Rückseite

Auf der Rückseite der Bedien- und Versorgungseinheit (Abb.: 3.2) befinden sich alle Signal- sowie Steuer-Ein- und Ausgänge (siehe auch Verwechslungssichere Anschlüsse 2.5.3, Seite 6).

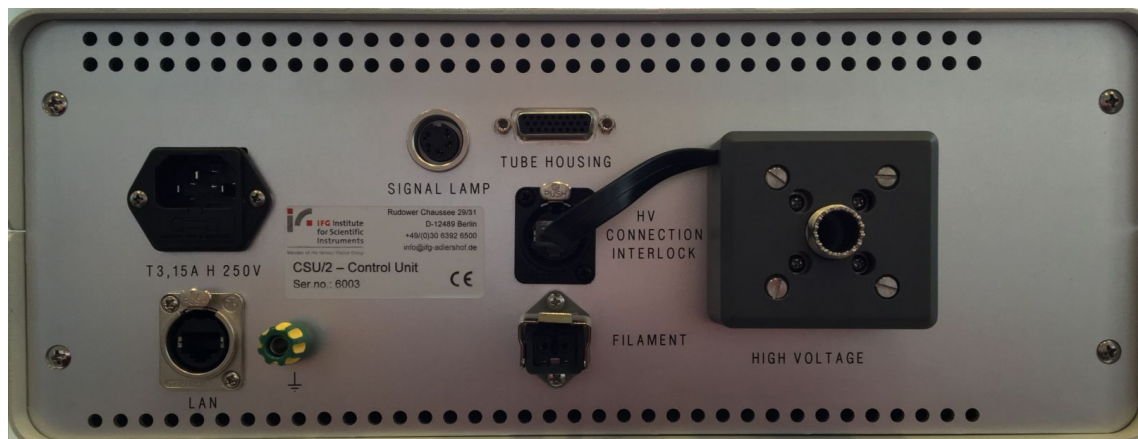


Abbildung 3.2: Rückseite der Bedien- und Versorgungseinheit

Es befinden sich von links oben nach rechts unten:

Netzanschluss	„T3 , 15A H 250V“
LAN-Anschluss für PC-Steuerung	„LAN“
Erdungsanschluss	„↓“
Ausgang für externe X-RAY-ON Signallampe	„SIGNAL LAMP“
Anschluss der Steuerleitungen für das Röhrenschutzgehäuse	„TUBE HOUSING“
Anschluss für externe Sicherheitsbeschaltung	„HV CONNECTION INTERLOCK“
Anschluss für die Kathodenheizung der Röhre	„FILAMENT“
Hochspannungsausgang für die Röntgenröhre	„HIGH VOLTAGE“

**Achtung!**

Zur Vermeidung von Wärmestaus darf die Rückseite der Bedien- und Versorgungseinheit nicht zugedeckt werden, damit der Luftstrom frei ein- und austreten kann!

**Achtung!**

Vor Lösen des Hochspannungskabels muss die Hochspannung abgeschaltet und der Netzschlüsselschalter auf **OFF** geschaltet werden. Die Netzverbindung ist zu trennen.

### 3.3 Modulare Röntgenquelle

Die modulare Röntgenquelle mit Optik (optional) besteht aus der Mikrofokus-Kleinleistungsröhre, die in ein Gehäuse mit einem Shutter und einem Filterwechsler untergebracht ist. Der Filterwechsler wird in Abhängigkeit von Anodenmaterial und Kundenwunsch mit unterschiedlichen Filtermaterialien ausgestattet. Das aus der Röhre austretende Röntgenstrahlenbündel wird mit Hilfe der Röntgenoptik gesammelt und fokussiert. Der Kunde erhält eine Röntgenquelle, in der das Optikmodul vorjustiert ist. Es ist jedoch in Ausnahmefällen möglich, dass nach dem Transport eine geringfügige Nachjustage der Optik erforderlich ist (siehe Justageverfahren 4.4, Seite 22).



**Abbildung 3.3:** Die modulare Röntgenquelle iMOXS/2 mit der Versorgungseinheit und Polykapillaroptik.

Seitlich am Röhrenschutzhäuschen befinden sich auf jeder Seite zwei Anzeigen: Die gelbe LED zeigt, dass die Hochspannung eingeschaltet ist, die rote LED zeigt den geöffneten Zustand des Shutters an (3.3).

Der Filterwechsler ist ein Rad mit aufgebrachten Filtern, die im Röntgengehäuse untergebracht ist. In das Filterrad können bis zu vier unterschiedliche Filtermaterialien eingebaut werden. In der Regel bleibt eine Stelle im Filterrad ohne Filter. Für jede Filterposition findet sich eine Kennzeichnung in Form einer Nummerierung an der Außenseite des Gehäuses. Das eine Ende des Gehäuses stellt das Rad zur Einstellung der gewünschten Filterposition dar.

Fest verdrahtet mit dem Röhrengehäuse sind das Hochspannungskabel sowie das Kathodenheizkabel (Filament), die an den entsprechenden Anschlüssen auf der Rückseite der Versorgungseinheit angeschlossen werden (3.4). Am Gehäuse befindet sich hier ebenfalls eine 26-polige SUB-D-Buchse, an welche das Röhrenschutzhäuschkabel angeschlossen und mit der Versorgungseinheit verbunden wird. Ferner befindet sich hier der Anschluss für das Drucksensorkabel (bzw. ein entsprechender Dummy).

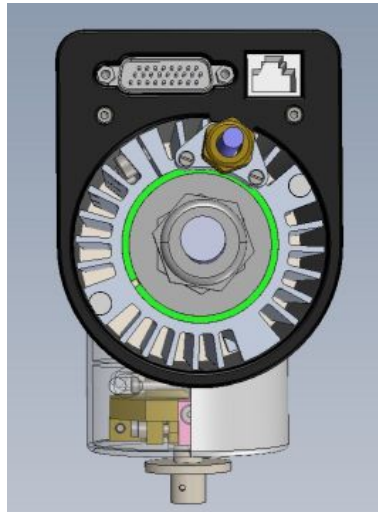


Abbildung 3.4: Die Anschlüsse am Röhrenschutzgehäuse.

#### Gefahr!



Wenn beide LED-Anzeigen leuchten (rot, gelb), tritt aus dem Röhrenfenster bzw. der Optikeinheit Röntgenstrahlung aus! Die Röntgenstrahlung kann, wenn sie auf Körperteile des Bedienpersonals oder andere Personen trifft, zu Gesundheitsschäden führen!

Der Zustand des Verschlusses wird mit einem Lichtschrankensystem überwacht. Im Fehlerfall (Leitung unterbrochen oder kurzgeschlossen) lässt sich der Verschluss nicht öffnen. Das Röhrenschutzgehäuse erfüllt die Anforderungen der Röntgenverordnung (RöV). Die Ortsdosisleistung in 1 m Abstand in Strahlrichtung ist  $< 3 \mu\text{Sv/h}$ . Zudem überschreitet die Ortsdosisleistung im Abstand von 10 cm der berührbaren Oberflächen des Röhrenschutzgehäuses  $3 \mu\text{Sv/h}$  nicht (siehe Strahlenschutz 5.1, Seite 26)

## 4 Bedienung der Röntgenquelle

Die Röntgenquelle kann sowohl manuell (Lokal) als auch von einem PC über eine LAN- oder USB-Verbindung (Remote) fernbedient werden. Nachfolgend werden die einzelnen Funktionen und ihre Bedienung im Detail beschrieben.

### **Achtung!**



Für die erstmalige in Betriebnahme ist eine Verbindung zu einem PC zwingend erforderlich, da wichtige Einstellungen vorgenommen werden müssen.

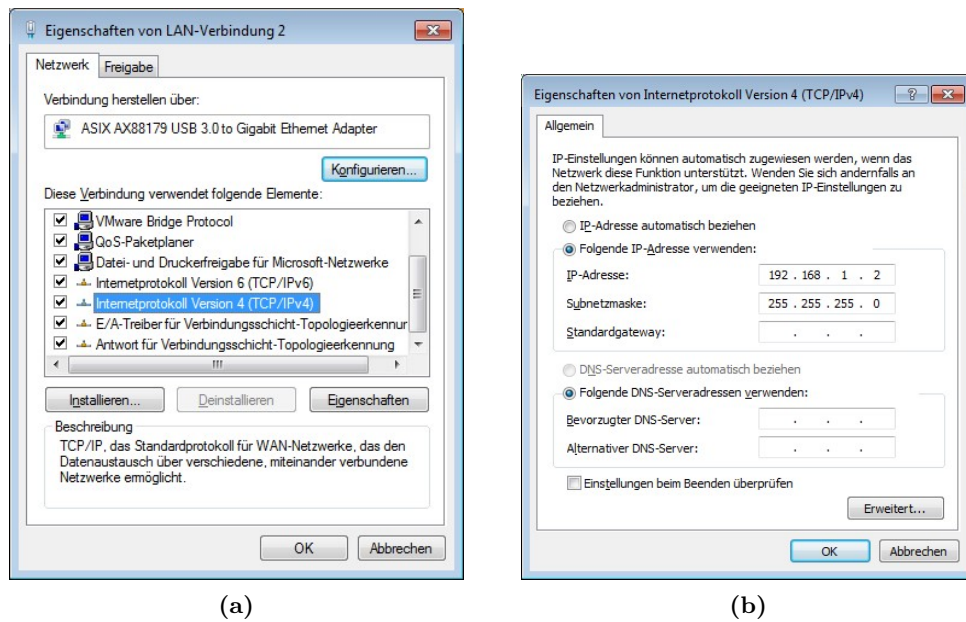
### 4.1 Bedienung über den PC (Remote)

#### 4.1.1 Netzwerkeinstellungen und Treiberinstallation

Voraussetzung für den Betrieb über den PC ist die korrekte Installation der Software zur Steuerung der CSU, welche sich auf der mitgelieferten CD befindet. Ein Einschalten der CSU (4.2.1, 18) ist hierfür nicht erforderlich. Die Konfiguration der Netzwerkeinstellungen sowie die Installation ggf. notwendiger Treiber wird im Folgenden erläutert.

Für die Installation der Treiber muss die CSU über ein Netzkabel mit einem PC verbunden werden. Steht kein freier Netzwerkanschluss am PC zur Verfügung kann auch ein Adapter von Netzkabel auf USB verwendet werden. Um eine erfolgreiche Kommunikation zwischen PC und CSU zu gewährleisten, ist in jedem Fall die Einstellung der korrekten IP-Adresse erforderlich. Dazu müssen die Eigenschaften der entsprechenden Verbindung aufgerufen werden (Abbildung 4.1) und in den „Eigenschaften von Internetprotokolls Version 4 (TCP/IPv4)“ die korrekte IP Adresse eingetragen werden.





**Abbildung 4.1:** In den Eigenschaften der Netzwerkverbindung (a) die Eigenschaften von TCP/IPv4 auswählen und die korrekte IP Adresse und Subnetzmaske eintragen (b).

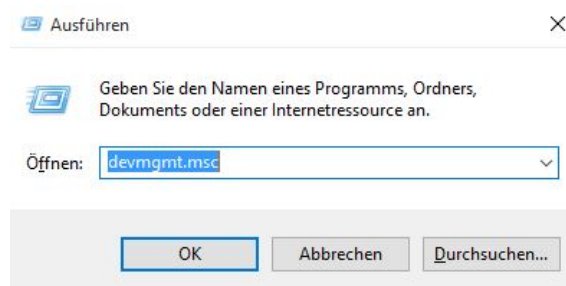
### Achtung!

Die tatsächliche IP Adresse kann von der in Abbildung 4.1 (b) gezeigten abweichen!

Wird eine Verbindung über Netzwerkkabel verwendet, ist keine weitere Treiberinstallation erforderlich.

Bei der Verwendung eines USB-Adapters werden bei Verbindung der eingeschalteten CSU mit dem PC automatisch die passenden Treiber installiert, wofür eine Internetverbindung erforderlich ist.

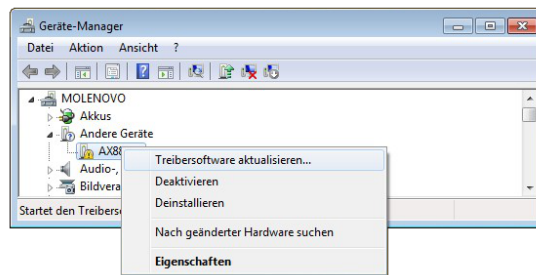
Besteht keine Internetverbindung oder schlägt die automatische Treiberinstallation fehl, müssen die Treiber von der Website des Herstellers bezogen werden. Im Fall des Digi-tus USB 3.0. Ethernet Adapters ist der Treiber unter folgender Adresse zu finden: <http://www.asix.com.tw/products.php?op=pItemdetail&PitemID=131;71;112> Für die folgende, manuelle Treiberinstallation muss der Benutzer über administrative Rechte für den PC verfügen. Die normalerweise als Archiv gepackten Treiberdateien in einen beliebigen Ordner entpacken. Anschließend über die Tastenkombination Windowstaste + R das „Ausführen“ Fenster aufrufen und dort mit „devmgmt.msc“ den Gerätemanager starten (4.2).



**Abbildung 4.2:** Aufrufen des Gerätemanagers.



Im Gerätemanager das Gerät mit einem Rechtsklick anwählen und den Menüpunkt „Treiber aktualisieren“ wählen.



**Abbildung 4.3:** Den Menüpunkt „Treiber aktualisieren“ mit Linksklick auswählen.

Anschließend die Option „Auf dem Computer nach Treibersoftware suchen.“ wählen und den Ordnerpfad des soeben entpackten Archivs angeben, dabei darauf achten, dass Unterordner einbezogen werden. Mit einem abschließenden Klick auf „Weiter“ werden die Treiber installiert und die Installation ist abgeschlossen.

#### 4.1.2 Einschalten des Gerätes

Vor dem Einschalten der Bedien- und Versorgungseinheit ist darauf zu achten, dass alle erwünschten und notwendigen Steckverbinder ordnungsgemäß angeschlossen sind.

Das **Einschalten** erfolgt über den **Schlüsselschalter „ON/OFF“** an der Frontseite rechts unten. Der Schlüsselschalter soll gewährleisten, dass der Röntgengenerator nur von berechtigten Personen in Betrieb genommen werden kann.

#### 4.1.3 Umschalten Local/PC

Das Umschalten der Steuerung zwischen Lokalem - und PC Modus erfolgt über die blaue Taste „Loc“ und die grüne Taste „PC“ im Frontpanel der CSU (3.1, Seite 7). Welcher der beiden Modi gerade aktiv ist lässt sich an der jeweils leuchtenden LED erkennen.

#### 4.1.4 Erstmaliges Einfahren der Röntgenröhre im PC Modus (empfohlen), Bedienoberfläche und Funktionen der CSU Software

Röntgenröhren sind Vakuumbauteile, in denen für die Erzeugung von Röntgenstrahlung Elektronen in einem Hochspannungsfeld beschleunigt werden. Durch Ausgasungsvorgänge und Ähnlichem ist das Vakuum in der Röhre Schwankungen unterworfen, die auch von einem (oft vorhandenen) Gettermaterial nicht vollständig kompensiert werden.

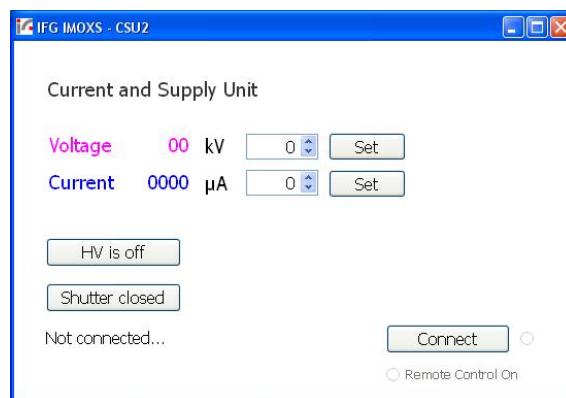
Eine neue Röntgenröhre muss deshalb mit besonderer Vorsicht eingeschaltet und durch langsamere, stufenweise Erhöhung der Hochspannung konditioniert werden. Dies geschieht automatisch, setzt aber eine korrekte Konfiguration durch die CSU Software voraus, die im Folgenden beschrieben wird.

Um die CSU 2 mit der CSU Software zu steuern, muss die CSU mit einem PC verbunden und gemäß Kapitel 4.1.1, Seite 12, eingerichtet werden.

**Gefahr!**

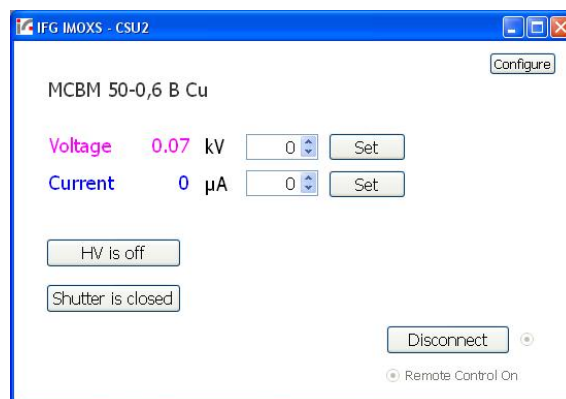
Bevor die CSU vom PC gesteuert wird, und damit eine Fernsteuerung für einen Röntgenstrahler besteht, müssen unbedingt die geeigneten Sicherheitsvorkehrungen getroffen werden!

Im ersten Schritt wird die CSU2.exe mit einem Doppelklick gestartet:



**Abbildung 4.4:** Startbildschirm der CSU 2 Software.

Ein Klick auf „Connect“ führt bei korrekten Verbindungseinstellungen und eingeschalteter CSU (4.2.1,18) zu:

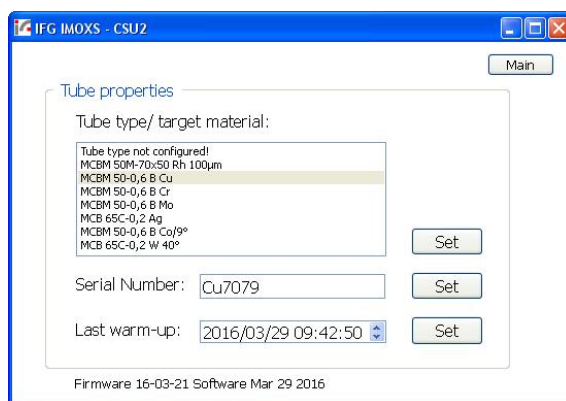


**Abbildung 4.5:** Die Software ist erfolgreich mit der CSU verbunden.

**Achtung!**

Bei erstmaliger Nutzung oder nach dem Tausch der Röntgenröhre ist es zwingend erforderlich die korrekten Parameter im Menüpunkt „Configure“ einzutragen!

Hier müssen der korrekte Röhrentyp und das Datum des letzten Aufwärmens eingetragen werden. Optional kann außerdem die Röhrennummer notiert werden (jeweils durch Klicks auf „Set“):



**Abbildung 4.6:** Einstellung des Röhrentyps, der Seriennummer und Datums des letzten Warm-ups.

Die hier eingegebenen Werte werden auf der CSU gespeichert, sodass sie für künftige Bedienung sowohl im lokalen- als auch im PC-Modus verfügbar sind. Deshalb ist diese erstmalige Konfiguration zwingend erforderlich, denn sonst kann im lokalen Modus kein korrektes Aufwärmen der Röntgenröhre erfolgen. Die Rückkehr ins Hauptmenü wird durch einen Klick auf „Main“ erreicht.

**Achtung!**

Der Röhrentyp und das Datum des letzten durchgeführten Warm-ups beeinflussen das nächste automatische Warm-up maßgeblich. Falsche Einstellungen können zu irreparablen Schäden an der Röntgenröhre führen!

Nach der Einstellung der Röhrenparameter kann im Hauptmenü durch einen Klick auf „HV is off“ die Beschleunigungsspannung der Röntgenröhre eingeschaltet werden. Dies führt zum Start eines automatischen Warm-ups, dessen Dauer und Leistungsparameter sowohl vom Röhrentyp als auch vom Zeitpunkt des letzten Warm-ups abhängig sind. Wie lange das aktuell durchgeführte Aufwärmen noch dauern soll wird in der linken unteren Ecke angegeben.

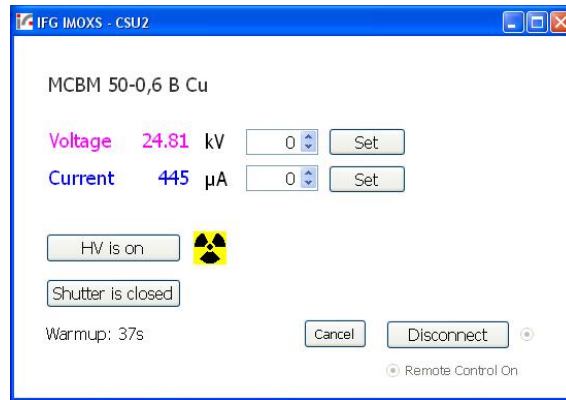


Abbildung 4.7: Durchführung des automatischen Warm-ups.

Das automatische Warm-up kann zwar über „cancel“ abgebrochen werden, wovon aber dringend abzuraten ist. Grundsätzlich gilt, dass je länger ein automatisches Warm-up dauern soll, desto wichtiger ist die vollständige Durchführung.

Im Anschluss an das automatische Warm-up ist die Röntgenröhre vollständig **betriebsbereit**. Die Betriebsparameter Beschleunigungsspannung (Voltage in kV) und der Röhrenstrom (Current in  $\mu\text{A}$ ) können, mit Rücksicht auf die im Datenblatt der Röntgenröhre angegebenen Maximalwerte, beliebig gewählt werden (jeweils durch eintragen und betätigen von „Set“). Hierbei ist insbesondere zu beachten, dass bei geringen Beschleunigungsspannungen keine hohen Röhrenströme erreicht werden können. Die Glühkathode in der Röntgenröhre kann nur bis zu einer maximalen Stromstärke betrieben werden. Im Fall einer niedrigen Beschleunigungsspannung können auch bei maximaler Leistung der Glühkathode nur wenige Elektronen die Distanz zwischen Kathode und Anode (Target) überwinden, der Röhrenstrom ( $\mu\text{A}$ ) wird in diesem Fall also von der Beschleunigungsspannung begrenzt und etwaige hohe Sollwerte nicht erreicht.

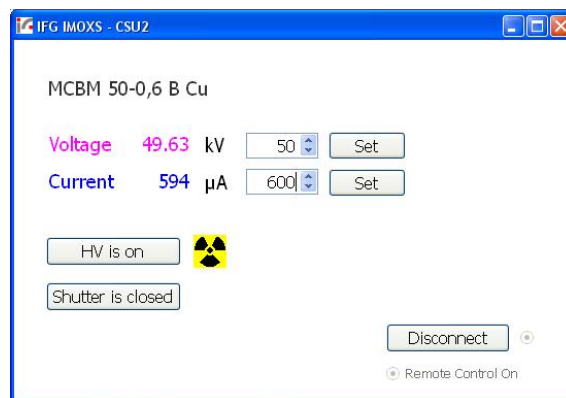


Abbildung 4.8: Einstellung der gewünschten Beschleunigungsspannung und des gewünschten Röhrenstroms.

**Gefahr!**

Bevor durch einen Klick auf „Shutter is closed“ der Shutter geöffnet wird müssen alle erforderlichen Sicherheitsvorkehrungen getroffen worden sein! Ab dem Moment des Öffnens tritt Röntgenstrahlung aus!

## 4.2 Manuelle Bedienung (Local)

### 4.2.1 Einschalten des Gerätes, Betriebsbereitschaft im lokalen Modus

Vor dem Einschalten der Bedien- und Versorgungseinheit ist darauf zu achten, dass alle erwünschten und notwendigen Steckverbinder ordnungsgemäß angeschlossen sind.

Das **Einschalten** erfolgt über den **Schlüsselschalter „ON/OFF“** an der Frontseite rechts unten. Der Schlüsselschalter soll gewährleisten, dass der Röntgengenerator nur von berechtigten Personen in Betrieb genommen werden kann.

Im nächsten Schritt muss der gelbe Drucktaster **„High Voltage ON“** betätigt werden.

Mit dem Einschalten der Hochspannung startet das automatische **Warmup**. Im oberen Display mit zwei Ziffern erscheint ein W für Warmup, während im darunter liegenden Display mit vier Ziffern die Restdauer in Minuten (vordere zwei Ziffern) und Sekunden (hintere zwei Ziffern) angezeigt wird. Mit welchen Leistungsparametern das Warm-up über welchen Zeitraum durchgeführt wird hängt vom Röhrentyp und dem Zeitpunkt des letzten durchgeführten Warm-ups ab (4.8, 17).

Nach dem Einschalten und anschließend abgelaufenen, automatischen Warm-ups ist die Bedien- und Versorgungseinheit **betriebsbereit**. Dieses ist dadurch gekennzeichnet, dass:

- die Betriebsart „Local“ aktiv ist (blaue LED)
- die Betriebsart „Loc“ auf der Anzeige gemeldet wird
- alle Sollwerte und Anzeigen den Wert „0“ (null) haben
- die Hochspannung eingeschaltet ist
- der Shutter geschlossen ist

### 4.2.2 Erstmaliges Einfahren der Röntgenröhre im lokalen Modus (nicht empfohlen)

Die empfohlene Konditionierung verläuft über die CSU Software automatisch. Dabei werden die notwendigen Informationen auf der CSU gespeichert, sodass sie auch für das automatische Warm-up im lokalen Modus zur Verfügung stehen. Sind diese Daten nicht verfügbar und muss die Röhre dennoch in Betrieb genommen werden, so muss das automatische Warm-up, das keine der genannten Daten zur Verfügung hat und somit nicht nutzbringend ist, durch längeres Drücken des gelben Drucktasters **„High Voltage ON“**

abgebrochen werden.

Die Röntgenröhre muss anschließend durch langsamere, stufenweise Erhöhung der Hochspannung vorsichtig konditioniert werden (entspricht der Einfahrvorschrift des Röhrenherstellers):

- Die Röhre **muss zunächst ohne Kathodenheizung** (ohne Anodenstrom) betrieben werden!
- Die Hochspannung wird nach folgendem Schema gesteigert:

0	bis	50 %	der Nominalspannung in Schritten von	5 kV	alle	30 Sekunden
51 %	bis	85 %	der Nominalspannung in Schritten von	10 kV	alle	10 Minuten
86 %	bis	100 %	der Nominalspannung in Schritten von	5 kV	alle	10 Minuten

- Die Röhre soll bei Nominalspannung mind. 10 Minuten ruhig laufen.
- Treten Überschläge auf, so wird die Spannung wieder auf den vorherigen Wert abgesenkt und dann entsprechend dem Schema weiter verfahren.
- Läuft die Röhre bei der Nominalspannung zufriedenstellend, so wird die Hochspannung auf 50 % der Nominalspannung reduziert und der Strom auf den Maximalwert laut der Empfehlung des Herstellers eingestellt (siehe dazu auch Röntgenröhrendatenblatt).  
Nachfolgend beispielhaft die Werte für eine MCBM 30 W Rh-Röhre:

HV / kV	50	40	35	30	25	20	15	10	5
I <sub>A</sub> / mA	0,6	0,7	0,8	0,68	0,55	0,4	0,3	0,2	0,1

- Anschließend wird die Hochspannung bis 100 % der Nominalspannung in Schritten von 5 kV gesteigert. In jedem Schritt wird der Strom auf den jeweiligen Maximalwert eingestellt (siehe Tabelle oben).

#### Achtung!



Im manuellen Betrieb ist ausschließlich der Bediener für das Einfahren einer neuen Röhre, bzw. einer Röhre nach Betriebspausen von länger als 8 Wochen, verantwortlich!

Im rechnergestützten Betrieb (Remote) kann das automatische Röhreneinfahren durchgeführt werden (siehe Abschnitt 4.1.4 Bedienoberfläche und Funktionen, Seite 14).

### 4.2.3 Einfahren nach längeren Betriebspausen

**Nach Betriebspausen von länger als 8 Wochen und länger, sowie nach dem Transport, muss die Röhre neu eingefahren werden!**

Die Röhre kann entsprechend der Länge der Betriebspause auch manuell eingefahren werden.

- Der Anodenstrom wird jetzt so eingestellt, dass die Röhre während des Einfahrens mit dem jeweils höchstzulässigen Strom (siehe Datenblatt) betrieben wird.
- Danach erfolgt das Einfahren nach folgendem Schema:

Betriebspause	1-2 Stunden	2-8 Stunden	1-2 Tage	2 Tage - 2 Wochen	2-8 Wochen
Steigerung der HV in 10 kV Intervallen	3 s	10 s	30 s	1 min	2 min

### 4.2.4 Einstellen der Sollwerte für Spannung und Strom

Die Einstellung des Sollwertes für die Hochspannung kann manuell an der Frontseite mit dem Drehknopf [kV] in Schritten von 1 kV bis zu einem Maximalwert von 50 kV in Abhängigkeit von der verwendeten Röntgenröhre erfolgen.

Drehen nach links verringert die Werte, Drehen nach rechts erhöht sie.

Die Einstellung des Sollwertes für den Röhrenstrom kann manuell an der Frontseite mit dem Drehknopf [ $\mu\text{A}$ ] in Schritten von 5  $\mu\text{A}$  bis zu einem Maximalwert von 800  $\mu\text{A}$  erfolgen (in Abhängigkeit des Targetmaterials, siehe Datenblatt).

#### Achtung!



Beim Betrieb der Röhre ist darauf zu achten, dass die für die jeweiligen Betriebsbedingungen zulässigen Maximalwerte für Hochspannung, Strom und Leistung nicht überschritten werden.

### 4.2.5 Hochspannung einschalten

Nach erfolgter Sollwerteinstellung wird die Hochspannung automatisch eingeschaltet. Gleichzeitig schalten die Anzeigen für Hochspannung und Röhrenstrom von den Sollwerten auf die **Istwerte** um.

Voraussetzung für das Einschalten der Hochspannung ist ein geschlossener Interlock-Kreis. Die Hochspannung kann nicht eingeschaltet werden, bevor der Interlock-Kreis (erneut) geschlossen wird. Wird das System ohne externe Sicherheitsbeschaltung betrieben, muss die Buchse „Interlock“ auf der Rückseite des Generators mit einem entsprechenden Dummy-Stecker abgeschlossen werden.

Nach dem Einschalten der Hochspannung leuchten das gelbe Signalfeld „X-RAY ON“ am Generator, sowie die gelbe LED am Röhrenschutzgehäuse auf. Der Stromfluss durch die sicherheitsrelevanten Leuchtelemente wird ständig überwacht. Im Fall eines Defekts (Stromunterbrechung, Kurzschluss) dieser Leuchtelemente ließe sich die Hochspannung nicht einschalten bzw. würde bei Eintreten eines Defektes sofort abgeschaltet werden.

Die Hochspannung stellt sich zunächst über eine interne Rampenfunktion auf ihren Wert ein. Anschließend wird der Röhrenstrom auf den Sollwert gefahren. Aufgrund der internen Regelfunktion des Generators kann dieser Vorgang einige Sekunden (2s...5s) dauern. Die aktuellen Werte für Hochspannung und Röhrenstrom können im Zustand „X-RAY ON“ manuell geändert werden. Angezeigt werden immer die aktuellen Istwerte. Gleichzeitig mit dem Aufleuchten des gelben Signalfeldes „X-RAY ON“ am Generator, sowie der gelben LED am Röhrenschutzgehäuse, wird auf dem Ausgang „SIGNAL LAMP“ auf der Rückseite des Generators eine Gleichspannung von 24 V geschaltet, die mit bis zu 5 W belastbar ist. Vorgesehen ist sie für eine zusätzliche Warnleuchte, die den Zustand der eingeschalteten Hochspannung / der Austretenden Strahlung (abhängig vom Kundenwunsch) an einem vom Röhrenschutzgehäuse entfernten Ort signalisieren kann.

---

**Gefahr!**

Bei eingeschalteter Hochspannung wird in der Röntgenröhre ionisierende Strahlung erzeugt! Ohne entsprechende Schutzvorkehrungen wird diese in den Raum abgestrahlt und kann dort bei Personen zu erheblichen gesundheitlichen Schäden führen!

---

**Gefahr!**

Prinzipiell sollte die Hochspannung nur bei angeschlossener Röntgenröhre eingeschaltet werden. In Ausnahmefällen kann der Generator auch für andere Zwecke ohne angeschlossenes Röhrengehäuse und ohne Interlock-Kreis mit Hilfe eines Dummy-Stecker in Betrieb genommen werden. In diesem Fall sind die Sicherheitsvorkehrungen des Geräts unwirksam und die Arbeit mit dem Generator ist potentiell gefährlich!



#### 4.2.6 Hochspannung ausschalten

Die Hochspannung kann mit Hilfe des **schwarzen Drucktasters „High Voltage OFF“** manuell ausgeschaltet werden. Gleichzeitig wird der Röhrenstrom abgeschaltet und der Shutter geschlossen, falls er geöffnet war.

Das gelbe Signalfeld „X-RAY ON“, die LEDs am Röhrenschutzgehäuse, sowie die zusätzliche Warnleuchte erlöschen. Es wird der Zustand „OFF“ am Generator gemeldet.

#### 4.2.7 Verschluss öffnen/schließen

Durch Betätigen des **roten Drucktasters „Shutter“** an der Frontseite des Generators kann ein Verschluss im Röhrenschutzgehäuse geöffnet werden. Dies ist nur bei eingeschalteter Hochspannung möglich.

Wenn der Verschluss geöffnet ist, leuchten das **rote Signalfeld „Shutter OPEN“** und die roten LEDs am Röhrenschutzgehäuse. Der Stromfluss durch die Leuchtelemente wird ständig überwacht. Im Fall eines Defekts (Stromunterbrechung, Kurzschluss) der Leuchtelemente ließe sich der Verschluss nicht öffnen bzw. würde bei Eintreten des Defekts sofort schließen.

Ein erneutes Betätigen des **roten Drucktasters „Shutter“** schließt den Verschluss am Röhrenschutzgehäuse wieder. Die genannten Signalleuchten erlöschen.

### 4.3 Ausschalten der Röntgenquelle

Die Bedien- und Versorgungseinheit wird durch das Betätigen des **Schlüsselschalters „ON/OFF“** ausgeschaltet.

Vor dem Ausschalten der Netzversorgung sollte der Verschluss geschlossen und die Hochspannung kontrolliert heruntergefahren werden!

Eine „heiße“ Netzversorgungsabschaltung bei laufender Röntgenröhre ist nicht ratsam, da sich die plötzlichen Hochspannungsänderungen ungünstig auf die Lebensdauer der Röhre auswirken können.

Die Abschaltung der Stromversorgung bedeutet für den Generator einen totalen Reset, d.h. dass z.B. alle Sollwerte gelöscht werden. Nach erneutem Einschalten der Netzspannung ist die Bedien- und Versorgungseinheit wieder betriebsbereit (siehe Abschnitt 4.2.1).

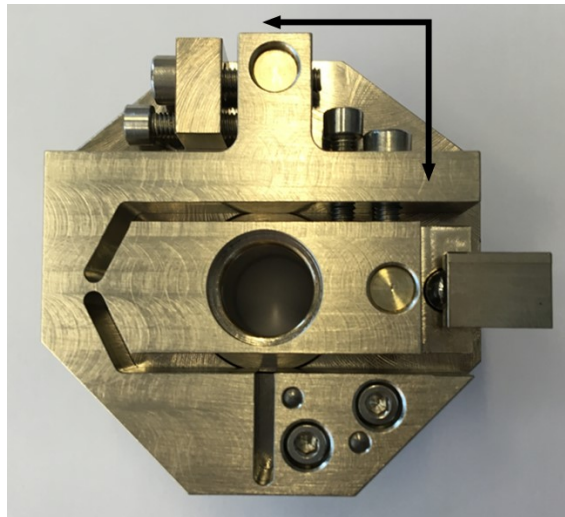
### 4.4 Justageverfahren

Der Kunde bekommt eine auf den Anodenspot der Quelle vorjustierte Optikeinheit, die an dem Röhrengehäuse befestigt ist. In der Regel ist keine weitere Justage der Optik notwendig. Im Einzelfall ist jedoch die Lockerung der Optik im Gewinde möglich. Daher ist es sinnvoll vor Beginn der Messungen zu überprüfen, ob die Optik fest sitzt.

Wenn die Justage der Optik auf den Anodenfleck der Röntgenröhre notwendig ist, sollte man folgendes beachten: Der Fokusabstand der Optik zur Anode (Z-Richtung) ist durch die Optikfassung **fest** justiert. Die Optikeinheit verfügt über eine eingebaute Justageeinrichtung. Die Ausrichtung der Optik auf den Anodenspot in X- und Y-Richtung erfolgt durch das Drehen dafür am Optikgehäuse vorgesehener Schrauben. Es sind zwei gekonterte Schrauben pro Justagerichtung vorgesehen. Beim Erreichen des maximalen Signals im Detektor ist die Justage abgeschlossen.

**Achtung!**

Jede Verstellung am und im Röhrengehäuse führt zur Dejustage der Optik! Die nachfolgende Justage kann ausschließlich durch den Hersteller durchgeführt werden.



**Abbildung 4.9:** Justageverfahren an der Optikeinheit.

Die Quelle mit justierter Optik wird nun auf die Probe ausgerichtet. Der Abstand zwischen dem Optikaustritt und der Probe muss dem Fokus der Optik entsprechen, siehe dafür das Zertifikat der Optik in der technischen Dokumentation.

## 4.5 Wartung und Fehlerbehebung

### Achtung!



Wartungsarbeiten an der Versorgungseinheit CSU/2, der Elektronik und der Röntgenquelle dürfen nur vom Servicepersonal der Helmut Fischer GmbH durchgeführt werden.

Nur die im Folgenden aufgelisteten Wartungsarbeiten dürfen vom Nutzer ausgeführt werden.

### 4.5.1 Austausch der Sicherungen

Zum Schutz vor Überspannungen ist die Kontroll- und Versorgungseinheit CSU/2 mit zwei 3.15 A T/H Sicherungen ausgestattet. Diese befinden sich im Netzanschluss auf der Rückseite der CSU/2 (Abb.: 3.2).

### 4.5.2 Fehlermeldungen

Im Fall eines Fehlers werden Fehlernummern ausgegeben, und zwar sowohl in der Anzeige im Frontpanel (Anzeige für den Röhrenstrom, siehe Abb.: 3.1, Seite 7), als auch, falls verbunden, in der Steuersoftware auf dem PC. Kommt es zu einer solchen Fehlermeldung bitte kontaktieren Sie einen Servicemitarbeiter.

Anhand der Fehlernummern lassen sich Warnungen und Fehler mit Selbsthemmung unterschieden:

#### Warnungen:

1111	Sicherheitsleitung am Gehäuse nicht gesteckt (RJ45 Stecker)
1112	Externer Interlock (RJ45 Stecker an der Röhre), Drucksensor Dummy nicht gesteckt oder kein Vakuum (Variante iMOXS <sup>®</sup> -REM)
1113	Interlock HV-Generator
2111	Echtzeituhr defekt / nicht gestellt oder Batterie alle
2112	Temperatur der LED Platine kritisch

**Fehler mit Selbsthemmung, erfordern Ausschalten des Geräts:**

3111	Temperatursensor an LED Platine defekt / nicht angeschlossen
3112	Temperatursensor an Shutter Platine defekt / nicht angeschlossen
3121	Temperatur der LED-Platine über dem Grenzwert
3122	Temperatur der Shutter-Platine über dem Grenzwert
3211	HV LED am Röhrengehäuse defekt
3221	Shutter klemmt oder Shutterlampe defekt
3222	Shutter klemmt oder Shutter-LEDs am Röhrengehäuse defekt
3321	Vakuumschalter 1 defekt
3322	Vakuumschalter 2 defekt
3331	HV eingeschaltet und Filamentkabel nicht angeschlossen
3332	Im "PCModus HV an / Shutter geöffnet, aber keine Kommunikation mit Steuersoftware
3333	Keine Verbindung zu HV-Generator/IP Adresse falsch? Stromlos? Sicherheitsrelais?

---

**Achtung!**

Im Fall eines Fehlers mit Selbsthemmung muss die Versorgungseinheit abgeschaltet und nach 10 s erneut gestartet werden.

# 5 Sicherheit

## 5.1 Strahlenschutz

Die modulare Röntgenquelle iMOXS® ist ein bauartzugelassener Röntgenstrahler, d.h. vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) sowie von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) geprüft. Hierfür liegen folgenden Unterlagen vor:

Dokument	Behörde	Datum
Zulassungsschein Bauartzeichen BfS 01/14 R RöV	BfS	20.02.2014
1. Ergänzung zum Zulassungsschein Bauartzeichen BfS 01/14 R RöV	BfS	04.06.2014
Bescheid über die Registrierung einer Änderung der Bauartzulassung mit dem Bauartzeichen BfS 01/14 R RöV	BfS	15.06.2016
Prüfschein Nr. 6.32-T280	PTB	29.10.2013
1. Ergänzung zum Prüfschein Nr. 6.32-T280	PTB	14.05.2014

### Gefahr!



Die Bauartzulassung bedeutet insbesondere, dass die Ortsdosisleistung im Abstand von 1,0 m vom Brennfleck in Strahlrichtung weniger als  $3\mu\text{Sv/h}$  beträgt.

Bevor das iMOXS® in Betrieb genommen wird, muss die Gesamtanlage durch einen Sachverständigen geprüft werden. Die Inbetriebnahme von iMOXS® ist der zuständigen Behörde (gemäß §4 Abs. 1 Nr. 1 der RöV) spätestens 2 Wochen vorher anzuzeigen. Der Anzeige ist eine Reihe von Dokumenten beizufügen (siehe §4 Abs. 2 der RöV). Unter anderem muss ein Prüfbericht eines Sachverständigen vorgelegt und ein Strahlenschutzbeauftragter benannt werden, der die notwendige Fachkunde besitzt. Entsprechend der Röntgenverordnung und der Fachkunderichtlinie Technik müssen diejenigen, die den Betrieb des Strahlers leiten, beaufsichtigen und eigenverantwortlich durchführen, die erforderliche Fachkunde im Strahlenschutz besitzen.

Die genannten gesetzlichen Vorschriften gelten ausschließlich für Deutschland. Bitte beachten Sie die für Ihr Land zutreffenden nationalen Sicherheitsvorschriften.

**Gefahr!**

Bei Bedienfehlern, wie z.B. dem Öffnen des Verschlusses bei nicht vorhandener Probe oder bei unmittelbarer Anwesenheit von Personen am Röhrenschutzgehäuse mit geöffnetem Verschluss, besteht Gefahr für die Gesundheit durch Strahlenschädigung!

Bei der Konstruktion und Umsetzung des Sicherheitskonzeptes wurde besonderer Wert auf die Vermeidung von Gefahr für die Gesundheit des Bedienpersonals gelegt. So funktionieren alle Sicherheitsfunktionen unabhängig von einem angeschlossenen PC und eventuellen Softwarefehlern/-problemen. Die Beschaltung der Röntgenquelle und ihrer Sicherheitskreise ist so vorgenommen worden, dass ein grober Programmfehler oder ein Programmabsturz am PC die Sicherheit nicht beeinflusst. Alle Sicherheitskreise arbeiten drahtgebunden.

## 5.2 Funktion der Sicherheitskreise

### 5.2.1 Externe Sicherheitsverriegelung (Externes Interlock)

An der Rückseite der Bedien- und Versorgungseinheit befindet sich ein RJ45-Verbindung (Patchanschluss) „HV Connection Interlock“, über die eine Sicherheitsverriegelung realisiert ist.

Bei **REM-Anwendungen** des iMOXS (siehe auch Kapitel 6) kontrolliert ein Vakuumsensor (im Lieferumfang enthalten), ob die REM-Kammer tatsächlich evakuiert ist. Er befindet sich im Adapterflansch der Quelle und wird mit dem Anschluss für das Drucksensorkabel (siehe auch Seite 9) verbunden. Wird durch den Benutzer die Belüftung des REM ohne vorherige Schließung des Verschlusses bei eingeschalteter Hochspannung eingeleitet, so wird diese durch die CSU automatisch abgeschaltet, der Verschluss geschlossen und ein Neustart erforderlich.

Nach einem Neustart kann die Quelle zwar mit geschlossenem Shutter eingeschaltet, der Shutter aber vor einer erneuten Evakuierung des REM nicht geöffnet werden (Freigabe der Verriegelung). Um die Abschaltung beim Belüften der Kammer zu vermeiden, muss der Verschluss vorab geschlossen werden. In diesem Fall bleibt die Hochspannung eingeschaltet. Der Versuch im belüfteten Zustand den Verschluss zu öffnen, führt zu einer sofortigen Verriegelung der Gerätefunktion. Die Hochspannung wird ausgeschaltet, der Verschluss bleibt geschlossen und ein Neustart erforderlich.

Werden die Gerätefunktionen wie soeben beschrieben verriegelt und zusätzlich durch die CSU eine Fehlermeldung ausgegeben, die durch einen mit einer 3 beginnenden vierstelligen Code signalisiert wird, so muss die CSU mittels Schlüsselschalter komplett abgeschaltet, die Fehlerursache ermittelt und der Fehler beseitigt werden. Nur auf diese Weise kann die

Betriebsbereitschaft der CSU wieder hergestellt werden.

Die obigen Ausführungen gelten auch bei Verwendung anderer technischer Sicherheitselemente.

### **Achtung!**



Ein Kontakt des externen Interlock mit Masse darf nicht erfolgen. Dies kann zur Zerstörung der CSU-Interlockschaltung führen.

### **5.2.2 Sicherheits- und Überwachungsfunktionen**

Es wurden alle erforderlichen konstruktiven Maßnahmen getroffen, um eine Gefährdung des Bedienpersonals durch Röntgenstrahlung zu vermeiden.

Es gibt zwei direkte Kabelverbindungen zur Röntgenröhre, das koaxiale Hochspannungskabel „HV“ und die Kathodenstromversorgung „Filament“. Zusätzlich werden alle sicherheitsrelevanten Verbindungen und Signale zum Röhrenschutzgehäuse über das Kabel „Tube-Housing“ geleitet.

Vor Inbetriebnahme des Strahlers sind die Festlegungen des Strahlenschutzbeauftragten zur Umsetzung der entsprechenden gesetzlichen Vorschriften zu beachten (siehe auch Kapitel 5.1).

Die Sicherheitsvorkehrungen umfassen folgende Sicherheitskreise:

- einen Verschlussmechanismus direkt vor der Röntgenröhre, der sogenannte Verschluss (Shutter), der mittels eines Lichtschrankensystems überwacht wird,
- stromüberwachte rote und gelbe LEDs am Röhrenschutzgehäuse. Die gelben LEDs signalisieren den Zustand „X-RAY ON“ die roten LEDs den Zustand „Shutter OPEN“.
- externe Warnlampe, die bei „X-RAY ON“ leuchtet.

Die Sicherheitssysteme sind auf verschiedenste Weise miteinander verknüpft:

- Die Hochspannung der Röntgenröhre lässt sich nur einschalten, wenn der interne und externe Interlock-Kreis geschlossen sind.
- Im Fall eines Ausfalls der externen Warnlampe wäre keine ausreichende Warnung des Personals gegeben („X-RAY ON“) und die Hochspannung der Röntgenröhre würde sofort abgeschaltet bzw. ließe sich nicht einschalten.
- Gleiches gilt für die LEDs am Röhrenschutzgehäuse „Shutter OPEN“ und „HIGH VOLTAGE ON“. Würde eine von ihnen ausfallen, so wäre auch hier keine ausrei-

chende Warnung des Bedienpersonals gegeben und der Verschluss würde schließen bzw. sich nicht öffnen lassen.

Die Hochspannung der Röhre kann nur eingeschaltet werden, wenn die Anzeigen funktionstüchtig und die Sicherheitskreise geschlossen sind (siehe hierzu auch Kapitel 4.5.2 auf Seite 24).

## 5.3 Beryllium

Beryllium wird als Fenstermaterial bei Röntgenröhren eingesetzt und findet auch bei Röntgenoptiken Anwendung, wenn diese beispielsweise mit Helium gefüllt werden.

### Gefahr!

---



Beryllium ist giftig beim Verschlucken, lebensgefährlich beim Einatmen, kann allergische Reaktionen verursachen, kann beim Einatmen Krebs erzeugen, kann die Atemwege reizen und schädigt die Organe (Atemwege) bei längerer oder wiederholter Exposition durch Einatmen.

Eine Kontamination mit Beryllium kann nur erfolgen, wenn ein Berylliumfenster durch unsachgemäße Handhabung beschädigt bzw. zerstört wird und bricht. In diesem Fall sind geeignete Schutzmaßnahmen zu ergreifen, insbesondere muss ein geprüftes Atemgerät verwendet werden. Berylliumrückstände und -bruchstücke müssen unbedingt vollständig gesammelt und fachgerecht entsorgt werden. Detailliertere Informationen sind im beiliegenden Produktionsinformationsblatt zu finden.



## 5.4 Biologische Wirkung von Röntgenstrahlung

Der Schaden, den Röntgenstrahlung in biologischem Gewebe verursacht, beruht auf der Absorption und damit Energieübertragung auf das Gewebe. Röntgenstrahlen haben genug Energie, um Atome zu ionisieren oder in einen angeregten Zustand zu überführen. Diese Anregung kann zu einer Reihe von Effekten führen, die für biologisches Gewebe schädlich sind. Die Empfindlichkeit von Gewebe gegenüber Röntgenstrahlung unterscheidet sich stark, da sie beispielsweise von folgenden Faktoren beeinflusst wird:

- Zellproliferation: Je größer Zellwachstum und -teilung, desto empfindlicher das Gewebe.
- Durchblutung und Sauerstoffkonzentration: Ein hoher Sauerstoffgehalt begünstigt die Bildung reaktiver oxidativer Spezies, welche das Erbgut verändern können.
- Zelldifferenzierung: Zellen in einem stärker spezialisierten Zustand sind weniger empfindlich.

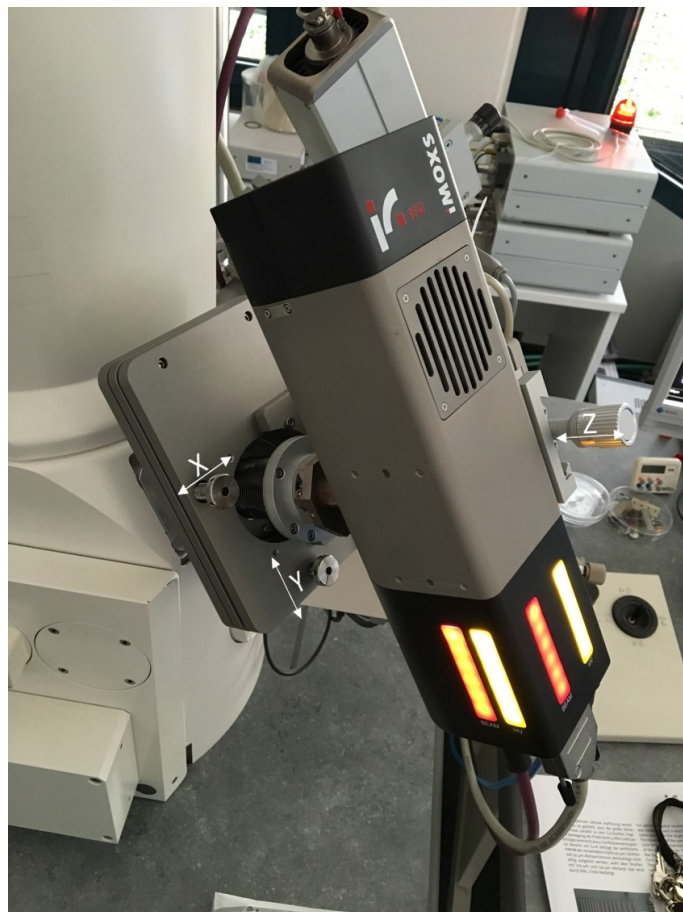
Diesen Kriterien entsprechend ist beispielsweise ein sich entwickelnder Embryo besonders anfällig: die Zellproliferation, Durchblutung und Sauerstoffkonzentration sind hoch, die Zelldifferenzierung ist gering.

Die schädlichen Effekte sind weitestgehend reparabel, so dass eine effektive Dosis im Rahmen der natürlichen Hintergrundstrahlung als unbedenklich gilt (in Deutschland durchschnittlich 2.1 mSv/a). Bei täglich 8 Stunden Arbeit an 230 Arbeitstagen ergäben sich mit dem iMOXS bei geschlossenem Shutter maximal 5.5 mSv/a. Da im Rahmen der Qualitätssicherung deutlich niedrigere Werte als 3  $\mu$ Sv/h Ortsdosisleistung gemessen werden, kann angenommen werden, dass die effektive Jahresdosis die der natürlichen Hintergrundstrahlung auch bei täglicher Arbeit nicht übersteigt. Bei deutlicher Überschreitung dieser Werte ist die Wahrscheinlichkeit dauerhafter Schäden erheblich erhöht. Dabei ist insbesondere die Wirkung auf Erbgut tragende DNS gefährlich, da neben der Störung der Zellfunktion und dem Zelltod auch eine Mutation der Zelle ausgelöst werden kann, was zu einer Krebserkrankung führen kann.

Bei der biologischen Wirkung von Röntgenstrahlung ist außerdem zwischen unmittelbar wirksamen Effekten, sog. deterministischen Strahlenschäden, und verzögert wirksamen Effekten, stochastischen Strahlenschäden, zu unterscheiden. Während Erstere durch massive Abtötung von Zellen bei Überschreitung gewisser Dosiswellenwerte stets auftreten, werden stochastische Schäden durch eine unzureichende oder fehlerhafte Reparatur von DNS Molekülen hervorgerufen. Die dadurch geänderte genetische Information kann durch Zellteilung weitergegeben werden, sodass dieser Vorgang auch Jahre nach der Exposition zu einer Krebserkrankung führen kann.

## 6 Zusatz für Elektronenmikroskope (iMOXS-REM)

Der mitgelieferte Adapterflansch wird am entsprechenden Port des REM angebracht. Vor der Montage ist die Röntgenquelle maximal zurückzufahren, wozu der Schiebetisch [Z] in Abbildung 6.1 verwendet wird. Die Röntgenquelle (ohne Optik) wird nun mit dem Flansch verbunden. Im Anschluss wird die Optik von Innen in die entsprechende Fassung geschraubt. Der Flansch mit dem Adapter ist so an den jeweiligen REM -Typ angepasst, dass die Vakuumbedingungen erfüllt sind und gleichzeitig die fokussierte Röntgenstrahlung justiert werden kann, üblicherweise erfolgt dies auf die Mitte des REM Bildes.



**Abbildung 6.1:** Die Röntgenquelle iMOXS am REM. Mit Hilfe der [Z], [X] und [Y] Schrauben erfolgt die Justage der Röntgenquelle auf den Elektronenstrahl.

**Achtung!**



In Ausnahmefällen, z.B. bei besonders langen Optiken, kann es erforderlich werden das iMOXS mit Optik an den Flansch zu montieren, dabei muss mit größter Vorsicht vorgegangen werden, da die empfindliche Optik irreparabel beschädigt werden kann!

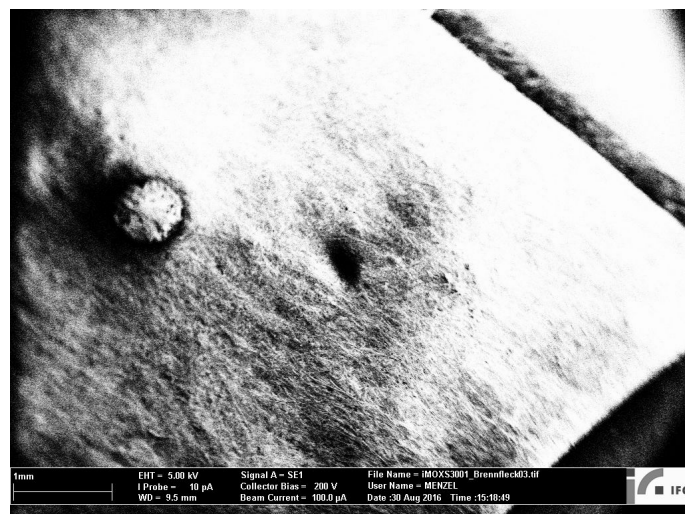
## 6.1 Justage des Röhrenspots auf die Position des unabgelenkten Elektronenstrahls

Diese Justage gewährleistet, dass an der gleichen Stelle mit der Röntgenanregung gemessen wird, an der mit dem Elektronenstrahl die Probenbeobachtung stattfindet.

Als Justagehilfe kann eine Art Zielscheibe verwendet werden, auf welcher sich Segmente mit verschiedenen Metallen wie beispielsweise Cu, Ni und Fe befinden. Zudem sollte sich auf dieser Scheibe ein kleines Stück Papier für die Beobachtung des durch die Röntgenstrahlung entstehenden Ladungskontrastes befinden. Die Zielscheibe wird auf dem Probenhalter befestigt und unter dem Elektronenstrahl platziert. Dazu ist die Probe im richtigen REM-Arbeitsabstand zu positionieren. Dieser Arbeitsabstand sollte protokolliert werden. Der Elektronenstrahl sollte im nicht-abgelenkten beispielsweise auf das Eisen auf der Zielscheibe treffen.

nach der Einstellung der Zielscheibe wird der Elektronenstrahl abgeschaltet und die Anregung der Zielscheibe mit dem iMOXS<sup>®</sup> vorgenommen. Durch Drehen an den Schrauben [X] und [Y] in Abbildung 6.1 wird auf maximale Intensität der Fe-K-Linie justiert.

Im Anschluss kann mittels des Papiersegmentes der Ladungskontrast des Röntgenstrahls im REM-Bild beobachtet werden und auf diese Weise die Feineinstellung der [X]- und [Y]-Schrauben erfolgen.



**Abbildung 6.2:** Mit Hilfe des REM-Bildes kann der Ladungskontrast der Röntgenanregung auf dem Papiersegment beobachtet werden.

## 6.2 Einstellung des Optik-Fokusabstandes zur Probenoberfläche

Die in 6.1 beschriebene Prozedur gewährleistet, dass sich Röntgenstrahl und Elektronenstrahl auf der Probe kreuzen, wenn diese sich im richtigen Arbeitsabstand befindet. Im nächsten Schritt wird der Fokusabstand der Optik eingestellt. Dieser kann durch Bewegung der Quelle mit Hilfe des Lineartisches (Support) [Z] (in Abb. 6.1) entlang der Achse der Optik eingestellt werden. In diesem Schritt wird der Durchmesser des Ladungskontrastes des Röntgenstrahls auf dem Papiersegment der Probe beobachtet und dabei die Quelle in 1 mm-Schritten bewegt. Durch horizontale Bewegung der Probenoberfläche kann der Ladungskontrast immer wieder neu beobachtet werden. Der kleinste Durchmesser entspricht dabei dem Fokusabstand der Kapillaroptik.

### Achtung!



Die Optik darf bei der Einstellung des Optik-Fokusabstandes zur Probenoberfläche nicht an die Einrichtungen des REM oder die Probe stoßen!

Es empfiehlt sich die Position festzuhalten, z.B. durch Notieren des Wertes oder Markierung der Position auf der auf der Skala.

### Achtung!



Im Unterschied zu obiger Ausführung führt jede Verstellung am Kühlkörper sowie an und im Röhrengehäuse zur Dejustage der Quelle bzw. der Optik! Die erforderliche Neujustage kann nur vom Hersteller durchgeführt werden! Derartige Justagearbeiten stellen keine Garantieleistungen dar!

## 6.3 Stabilitätsmessungen beim Nutzer

Die unter 6.1 beschriebene Messung der Intensität einer bestimmten K-Linie gibt eine gute Information zur korrekten Justage des Gesamtgeräts. Daher sollten derartige Intensitätsmessungen regelmäßig und unter den stets gleichen Bedingungen wiederholt werden.

- Das System sollte Arbeitstemperatur aufweisen.
- Die Probe bei den gleichen Koordinaten des Probentisches installiert werden.

Die gemessenen Intensitäten sollten protokolliert werden, um so auf die korrekte Justage bzw. Veränderungen des Geräts zu schließen.