

# FP Versuch

# Tribolumineszenz

Versuchsanleitung  
Assistent Gregor Fessler

2. Oktober 2012

## 1 Einführung

Tribolumineszenz bezeichnet das Auftreten einer Lichtemission bei mechanischer Beanspruchung eines Festkörpers, beispielsweise beim Zerreiben von Zuckerwürfeln. Diese Form "kalter" Lumineszenz wurde schon im 16. Jahrhundert von Francis Bacon beschrieben. Das Phänomen tritt auch ganz alltäglich beim Abrollen von Klebeband auf, wenn auch nur bei gewissen Bändern und nicht so stark, um es tatsächlich bei Tageslicht zu sehen. 2008 wurde im Vakuum auch das Auftreten harter, kurz gepulster Röntgenblitze in Klebebändern nachgewiesen. In diesem Versuch wird diese mit der Tribolumineszenz einhergehende Röntgenstrahlung untersucht, wobei eine dafür eingerichtete Vakuumkammer und ein Röntgendetektor zur Verfügung stehen (Abb. 1). Als Klebeband wird z.B. ein Scotch Crystal verwendet, dessen Lumineszenz bei genügender Dunkelheit schon bei Atmosphärendruck und von Hand abgezogen beobachtet werden kann.

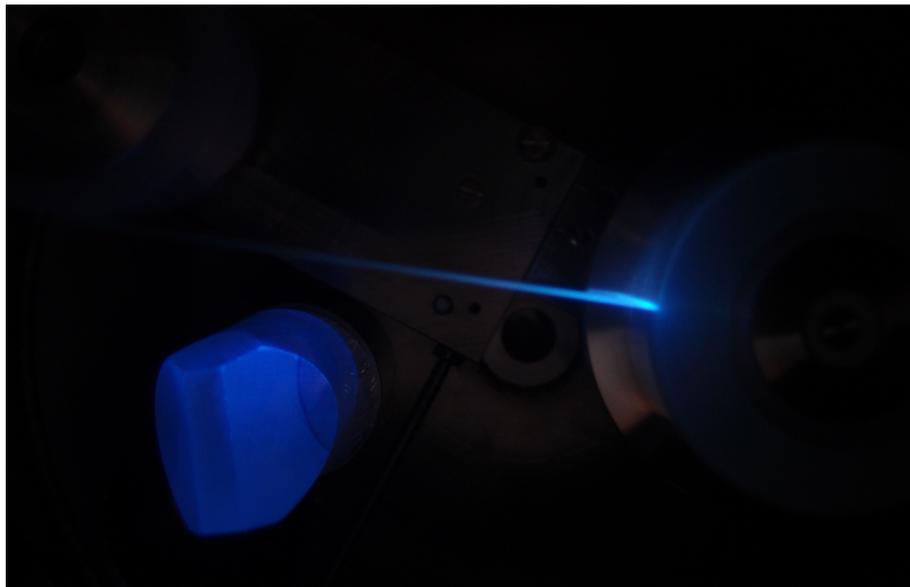


Abbildung 1: Aufnahme der Probenkammer während einer Messung. Die Tribolumineszenz ist an der Abrollkante als blaues Licht sichtbar. Unten links befindet sich der ebenfalls blau leuchtende Szintillator.

## 2 Theorie

Im Jahr 2008 wurde erstmals berichtet, dass das abrollen von Klebeband im Vakuum Röntgenstrahlen produziert (siehe C. G. Camara, *Nature*, **2008**, 455, 1089-1092). Grundsätzlich wird gemutmasst, dass durch das Abziehen eines Klebebandes Ladungen getrennt werden. Das abgezogene Klebeband wird positiv und die Rolle negativ geladen. Die Ladungstrennung erzeugt eine Spannung zwischen den beiden Seiten, welche bei genügender Grösse zum Durchschlag von Elektronen führt. Dabei kollidieren die Elektronen mit sehr hoher Geschwindigkeit mit der positiv geladenen Seite. Trifft ein freies Elektron mit auf ein positiv geladenes Atom, dann wird es vom Kern angezogen. Dabei wird es abgebremst und verliert einen Teil seiner kinetischen Energie. Diese Energie wird mittels eines Photons in Form von Bremsstrahlung, zum Beispiel im Röntgenbereich, emittiert. Wie viel Energie als Photon abstrahlt werden kann, ist davon abhängig, wie stark das Elektron abgebremst wird.

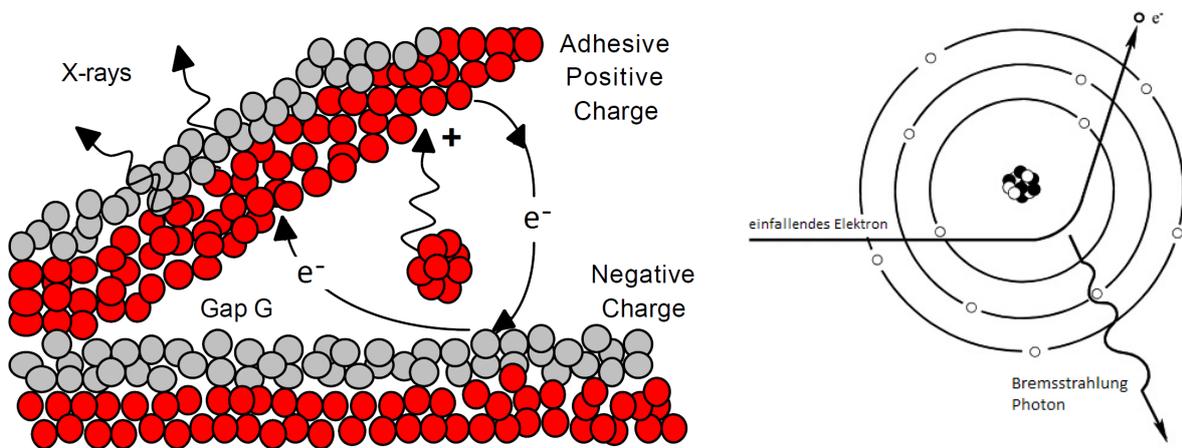


Abbildung 2: Links: Schematische Darstellung eines abgezogenen Klebebandes. Der abgezogene Streifen lädt sich negativ, das darunterliegende Band positiv; ein elektrisches Feld baut sich auf. Ein Durchbruch der Elektronen und deren Auftreffen auf das Trägermaterial führt zur Freisetzung von Röntgenstrahlung. Rechts: Mechanismus der Röntgenstrahlungserzeugung. Die beschleunigten Elektronen werden durch Massenzentren (Atomkerne) des Trägermaterials abgelenkt. Der Impulsunterschied wird durch das Freisetzen von sogenannter Bremsstrahlung ausgeglichen.

Wird das Abrollen von Klebeband bei Atmosphärendruck durchgeführt, können sich keine hohen Spannungen zwischen der positiv und negativ geladenen Seite des Klebebandes aufbauen, da es schon früh zu einem Ladungsausgleich kommt. Die Elektronen werden beschleunigt und treffen auf die Stickstoffmoleküle der Luft. Diese werden durch den Zusammenstoß angeregt und emittieren bläuliches Licht. Findet der eben beschriebene Versuch jedoch im Vakuum statt, kann auch Röntgenstrahlung gemessen werden.

### 3 Aufgaben

Eure Aufgabe in diesem Versuch ist, das Röntgenspektrum beim abrollen des Klebebandes zu messen und besprechen. Findet heraus, welche Parameter das Spektrum auf welche Art beeinflussen. Verändert sich das Spektrum grundlegend oder nur die Intensität? Wie kann man möglichst viel Röntgenstrahlung erzeugen?

### 4 Versuchsdurchführung

#### 4.1 Probenkammer

Die Probenkammer (Abb. 3 enthält die Abrollvorrichtung für das Klebeband. Ein Motor (Betriebsspannung 0-24V) rollt das Klebeband in der Vakuumkammer ab. Den Druck in der Kammer wird entweder mittels Pirani oder einer Kaltkathode gemessen.

Das Klebeband soll nun so eingespannt werden, dass das Klebeband beim einstellen des Motors abgerollt wird. Folgendes muss dabei unbedingt beachtet werden: Wenn das Klebeband in die Abrollvorrichtung eingespannt wurde, sollte als erstes die Betriebsspannung für den Motor eingestellt werden (bis maximal 24V). Es muss sichergestellt werden, dass bei Motorbetrieb das Klebeband in die richtige Seite abgerollt wird (Polarität).

Damit die Strahlung beim Abrollen gemessen werden kann, ist die Probenkammer mit einem Sichtfenster für den Photomultiplier ausgestattet. Dieser sollte so ausgerichtet werden, dass die Abziehfläche des Klebebandes detektiert werden kann. In der Probenkammer ist zudem ein Szintillator (Kristall) vorhanden. Dieser wird beim Durchgang von energiereichen Photonen oder geladenen Teilchen angeregt und gibt die Anregungsenergie in Form von Licht wieder ab. Er leuchtet also jeweils auf, wenn das Klebeband Röntgenstrahlen abgibt. Ist die Vorrichtung aufgebaut und der Motor eingestellt, kann die Kammer evakuiert werden.

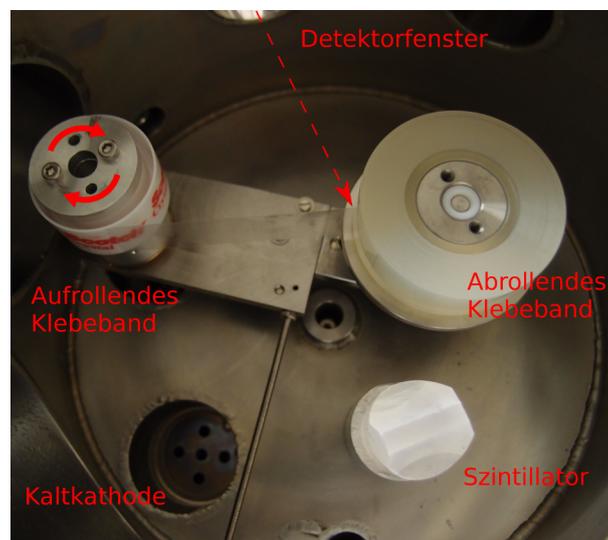
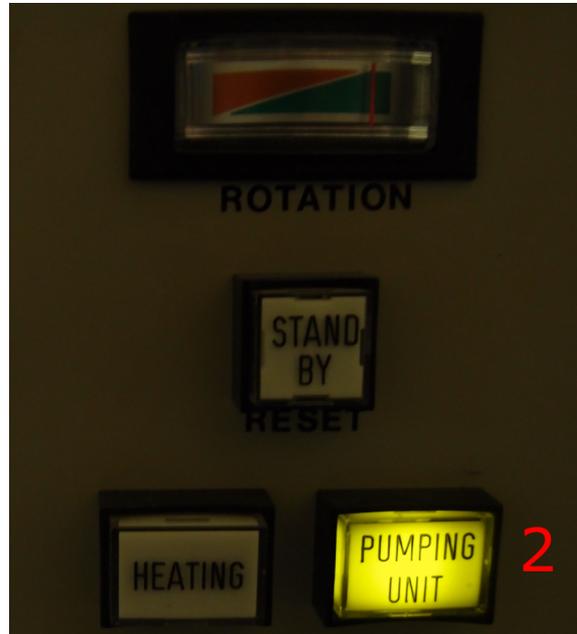
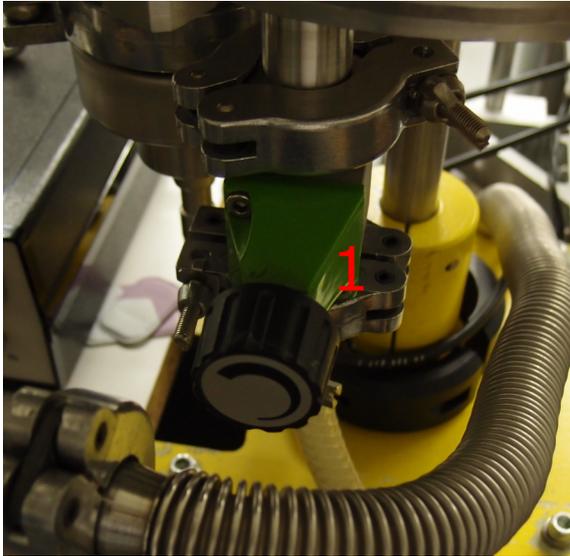


Abbildung 3: Innenleben der Probenkammer.

## 4.2 Erzeugen des Vakuums

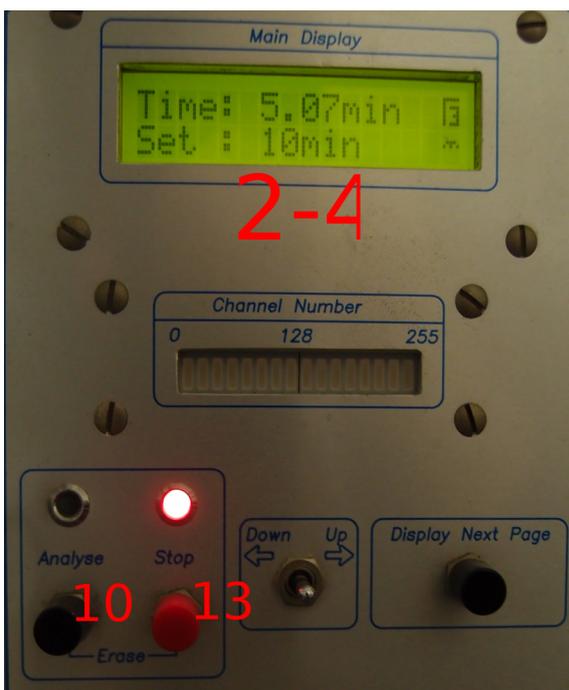
Für die Erzeugung des Vakuums muss die Vakuumkammer mit dem Deckel verschlossen werden. Zuvor müssen die Dichtungen und die Ränder der Vakuumkammer und des Deckels mit Ethanol gereinigt werden. Anschliessend kann der Drucksensor und die Vakuumpumpe eingeschaltet werden. Damit die Kammer dicht ist und der Druck fällt, muss anfangs der Deckel von Hand angepresst werden. Nach etwa 4 Stunden wird ein Druck von  $10^{-5}$  bis  $10^{-6}$  mbar erreicht.



step	description
1	Kammerventil muss geschlossen sein
2	Pumping Unit drücken (leuchtet)
3	Den Deckel von Hand bis auf einen Druck von 0.2 bar herunterpressen
4	Druckanzeige einschalten

### 4.3 Messvorgang

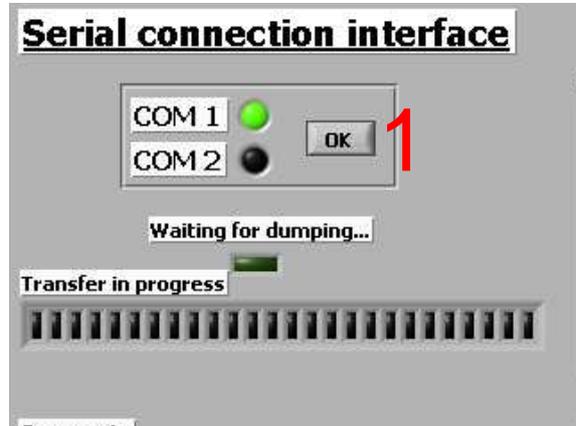
Für den Messvorgang wird zuerst den Hauptschalter und den *Multi Channel Analyser* (MCA) in Betrieb genommen. Den MCA wird auf 255 Channels gestellt, Lower Limit of Detection auf 0.5 % und das Limit für die Messdauer sollte ebenfalls dem Experiment angepasst werden (Mit dem Display Next Page Knopf gelangt man zu den verschiedenen Optionseinstellungen, mit dem Down/Up schalter stellt man die Werte ein). Falls noch Daten von einem früheren Experiment im MCA gespeichert sind, sollten diese durch gleichzeitiges drücken von Analyse und Stop gelöscht werden. Wenn nötig wird die Motorspannung noch eingestellt, indem einer der zwei Pole aus dem Steuerkasten herausgezogen wird, den Steuerkasten angelassen und die gewünschte Spannung ausgewählt wird. Der Steuerkasten wird danach wieder ausgeschaltet und das Kabel eingesteckt. Anschliessend startet man den den X-ray Detektor, drückt *Analyse* auf dem multichannel analyzer und nimmt den voreingestellten Motor in Betrieb. Die Messung läuft. Wenn das Klebeband komplett abgerollt ist den Motor ausschalten. Beim Multichannel analyzer drückt man *Stop*. Die Zeit zum Abrollen wird ggf. mit einer Stoppuhr ermittelt.



step	description
1	Kippschalter der Hauptstromversorgung betätigen
2	MCA: Settime einstellen
3	MCA: Lower limit of detection (LLD) auf 0.5%
4	MCA: Channels auf 255 einstellen
5	Kabel von der Motorsteuerbox entfernen
6	Steuerbox starten
7	Spannung einstellen
8	Box ausschalten (dauert einige Sekunden) und Kabel wieder einstecken
9	X-ray Detektor einschalten (auf der Rückseite)
10	MCA: Analyse
11	Motor einschalten & ggf. Zeitmessung starten
12	Nach Abrollen Motor ausschalten
13	MCA: Stop

#### 4.4 Übertragen der Messdaten auf den PC

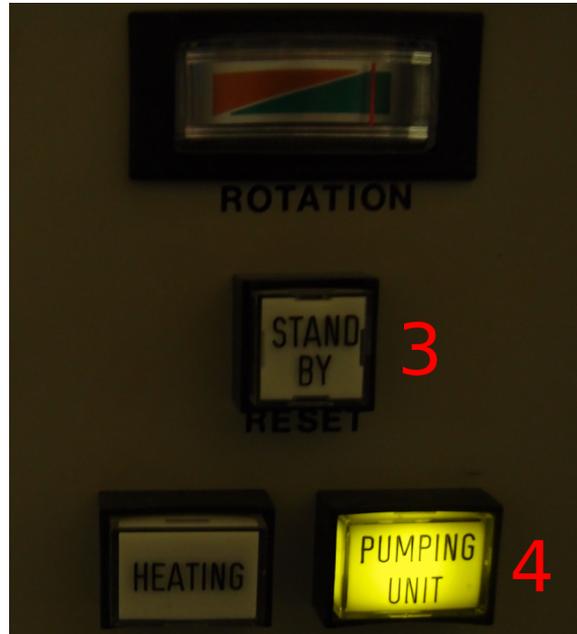
Die passende LabView Applikation kann über den Assistenten bezogen werden. Wenn das Symbol im VI gelb aufblinkt, drückt man *Dump Data* auf dem MCA und wartet bis die Daten übertragen wurden. Diese Daten werden anschliessend auf dem PC gespeichert und eine neue Messung kann durchgeführt werden. Um eine neue Messung durchführen zu können, müssen zuerst die alten Daten auf dem MCA durch gleichzeitiges Drücken von Analyse und Stop gelöscht werden.



step	description
1	VI: Dateien Uebertragen: OK
2	MCA: Dump Data
3	VI: Speichern des Spektrums
4	MCA: Clear Data für neue Messung
5	VI schliessen

## 4.5 Abschalten und Entlüften des Systems

Der X-ray Detektor und der Hauptschalter des Systems sind ausgeschaltet. Für das Entlüften des Systems wird der Drucksensor abgestellt und auf *Stand by* bei der Pumpensteuerung gedrückt. Sobald sich die Pumpe auf eine niedrigere Drehzahl eingestellt hat, drückt man auf *Pumping Unit*, um die Pumpe ganz abzustellen. Sobald die Turbomolekularpumpe ausgedreht hat, belüftet man langsam die Kammer, indem vorsichtig der grüne Hahnen unter der Vakuumkammer aufgedreht wird.



step	description
1	X-ray Detektor und Hauptschalter sind ausgeschaltet
2	Druckmesser ausschalten
3	Pumpe auf Stand by
4	Nach Einpendeln der Pumpendrehzahl die Pumpe mit Pumping unit Knopf ausschalten
5	Sobald Pumpe ausgedreht, System per Ventil belüften

## 4.6 Eichung des Detektors

Zur Eichung wird eine isolierte Americiumquelle verwendet. Diese Quelle weist einen sehr spezifischen Peak knapp unter 60 keV auf, weshalb sie sich gut zur Eichung von Röntgendetektoren eignet. Americium ist ein erbrütetes (insofern künstlich hergestelltes) Element, welches beim Zerfall hauptsächlich  $\alpha$ -Strahlung, aber auch  $\gamma$ -Strahlung abgibt. Bei der Handhabung sind die bei radioaktiven Materialien üblichen Sicherheitsmassnahmen zu beachten. Durch Zuordnung der Peaks auf die einzelnen Kanäle des MCA lässt sich mithilfe linearer Regression der Umrechnungsfaktor in Energieeinheiten gewinnen (Abb. 4).

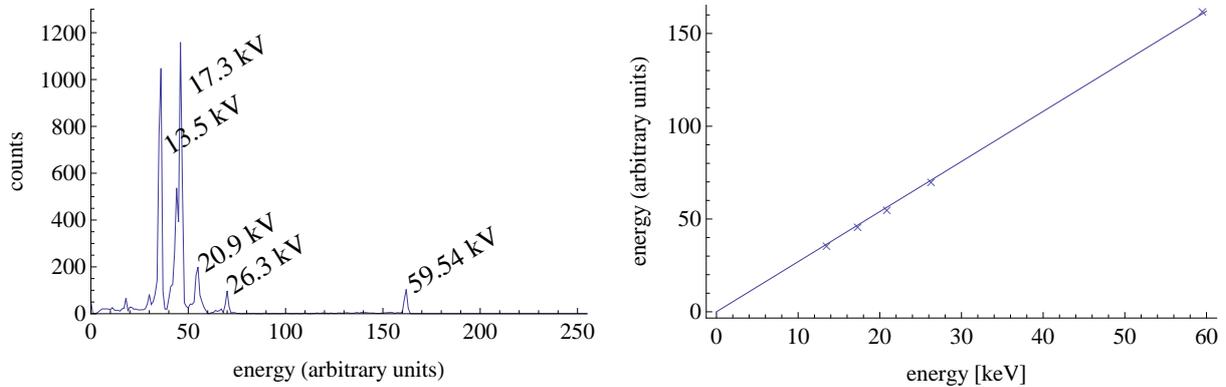


Abbildung 4: Links: Röntgenspektrum einer Americiumprobe. Die x-Achse befindet sich noch in den relativen Einheiten des 255-Kanäle MCA. Bei einigen Peaks wurden die bekannten, absoluten Energien angegeben. Rechts: durch Zuordnung bestimmter Kanäle zu den Energien kann über lineare Regression der Umrechnungsfaktor zu absoluten Energien für die restlichen Kanäle bestimmt werden. Der Plot zeigt zudem das lineare Messverhalten des Detektors über einen mittleren Energiebereich.