

Untersuchung der Tribolumineszenz beim Abrollen von Klebeband und Öffnen selbstklebender Briefumschläge sowie durch Reibung bei SiO₂

Facharbeit: Leistungskurs Physik Bearbeitungszeitraum: 14.02.2014 bis 04.04.2014

Christoph Smaczny

Max-Planck-Gymnasium Bielefeld

Betreuung: Riepenhusen

2. April 2014

Inhaltsverzeichnis

1	Ein	leitung		J		
2	Alla	Allgemeines				
	2.1	Gesch	iichte]		
	2.2	Anwe	$ ndungen \ldots \ldots$]		
3	Tril	oolumi	ineszenz beim Abrollen von Klebeband	2		
	3.1	Versu	ch 1: Strahlung im sichtbaren Bereich	2		
		3.1.1	Aufbau und Durchführung	2		
		3.1.2	Beobachtung	2		
		3.1.3	Erklärung	Ç		
	3.2	Versu	ch 2: Strahlung im Röntgenbereich	4		
		3.2.1	Geschichtliches	4		
		3.2.2	Aufbau und Durchführung	4		
		3.2.3	Beobachtung	ļ		
		3.2.4	Erklärung			
4	Tril	oolumi	ineszenz beim Öffnen eines Briefumschlags	5		
	4.1			Ę		
		4.1.1	Aufbau und Durchführung	Ę		
		4.1.2	Beobachtung	6		
		4.1.3	Erklärung	6		
	4.2	Versu	ch 2: Strahlung im Röntgenbereich	7		
		4.2.1	Aufbau und Durchführung			
		4.2.2	Beobachtung			
		4.2.3	Erklärung	7		
5	Tril	oolumi	ineszenz durch Reibung bei ${f SiO}_2$	7		
	5.1	Versu	ch 1: Aneinanderreiben von Quarzkristallen	7		
		5.1.1	Material und Durchführung	7		
		5.1.2	Beobachtung	8		
		5.1.3	Erklärung	8		
	5.2	Versu	ch 2: Aneinanderreiben von Kieseln	8		
		5.2.1	Material und Durchführung	8		
		5.2.2	Beobachtung	8		
		5.2.3	Erklärung	Ć		
6	Anv	wendu	ngsmöglichkeit in der Medizin	ę		
	6.1	Klassi	sche Röntgenröhre	Ć		
	6.2	Klebe	band als Röntgenquelle	10		

	6.3 Briefumschlag als Röntgenquelle	10
	6.4 Siliciumdioxid als Röntgenquelle	11
7	Weiterführende Gedanken	11
8	Literaturverzeichnis	12
9	Anhang	13

1 Einleitung

Tribolumineszenz gehört, obwohl der Effekt schon recht lange durch Menschen genutzt wird, zu den eher weniger bekannten Formen der Lichtemission und auch die Forschung in diesem Bereich verläuft eher langsam. Ein Grund dafür mag sein, dass lange Zeit nur wenige Anwendungsmöglichkeiten gesehen wurden. Es stellte sich jedoch heraus, dass in einigen Fällen auch Strahlung im Röntgenbereich abgegeben wird, die sich möglicherweise nutzen ließe.

2 Allgemeines

2.1 Geschichte

Bereits 1620 beschrieb Francis Bacon, dass wenn man Zuckerstücke in einem dunklen Raum zermahlt oder zerbricht, ein schwaches bläuliches Leuchten zu erkennen ist. Dies war die erste schriftliche Dokumentation dieses Phänomens, welches jedoch schon länger bekannt war. Bereits die Ute, ein Indianervolk, dass in Colorado lebte, nutzten es in zeremoniellen Tänzen. Jedoch verwendeten sie nicht Zucker, sondern Quarz, bei dem der Effekt in deutlich stärkerer Form auftritt. Sie füllten hierzu transparente Quarzkristall in Rasseln aus Leder (vgl. Andrew DeMiglio: The Effect of Triboluminescence; vgl. BBC: Hands-on science: Sugar Glow).

Der Begriff Tribolumineszenz setzt sich zusammen aus "tribein" (griechisch für "reiben") und "lumen" (lateinisch für "Licht"). Geprägt wurde er von den deutschen Physikern Eilhard Wiedemann und Gerhard Carl Schmidt in ihrem Artikel "Über Lumineszenz", welcher im Jahr 1895 in den Annalen der Physik und Chemie veröffentlicht wurde. Sie beschreiben darin eine durch starke mechanische Beanspruchung von Festkörpern hervorgerufene Lichtemission (vgl. Eilhard Wiedemann/Gerhard Carl Schmidt, 1895, S. 604-625).

1901 veröffentlichte der russische Chemieprofessor Lew Tschugajew eine Untersuchung von 510 Kristallen auf Tribolumineszenz, von denen er bei 127 Tribolumineszenz feststellen konnte (vgl. Lew Tschugajew, 1901, S. 1820–1825).

2.2 Anwendungen

Tribolumineszenzfähige Stoffe werden heutzutage primär in der Materialwissenschaft verwendet. Da sie bei starker mechanischer Beanspruchung leuchten, können sie genutzt werden, um Belastungsspitzen oder Mikrorisse festzustellen. Auch können sie auf innere Schäden hinweisen, die sonst von außen nicht erkennbar wären (vgl. Ian Sage/Grant Bourhill, 2001, S. 231-245).

3 Tribolumineszenz beim Abrollen von Klebeband

3.1 Versuch 1: Strahlung im sichtbaren Bereich

3.1.1 Aufbau und Durchführung

Abbildung 1 zeigt die zum Abrollen des Klebebands genutzte Apparatur. Sie basiert auf Legosteinen und -motoren. Auf der linken und rechten Seite ist jeweils ein Motor, was die Möglichkeit bietet, das Klebeband nach dem Abrollen von der Rolle erneut auf die andere Seite abzurollen. Die Kraft eines Motors wird über Zahnräder auf eine Rolle übersetzt, auf die das Klebeband aufgerollt wird. Die Abrollgeschwindigkeit des Klebebands lässt sich über die angelegte Spannung regeln. Es stehen unterschiedliche Klebebänder für den Versuch zur Verfügung.



Abbildung 1: Apparatur zum Abrollen von Klebeband

Zunächst wird der Versuch bei Normaldruck durchgeführt. Hierzu wird der Raum abgedunkelt und eine zunächst geringe Spannung an den Motor angelegt, die dann erhöht wird. Beobachtet wird die Stelle, an der sich das Klebeband von der Rolle löst.

Im zweiten Teil des Versuchs wird die Abrollapparatur unter eine Vakuumglocke gestellt und der Druck auf etwa ein Millibar gesenkt. Anschließend wird erneut der Raum abgedunkelt und eine Spannung angelegt und gesteigert.

Der Versuch wird für jedes Klebeband zunächst mit einer Abrollgeschwindigkeit von bis zu etwa 0,6 Metern pro Sekunde durchgeführt. Anschließend wird der Versuchsaufbau modifiziert. Es werden nun beide Motoren hintereinander geschaltet, was die Möglichkeit bietet, durch entsprechende Umsetzung eine Geschwindigkeit von etwa 1,9 Metern pro Sekunde zu erreichen.

3.1.2 Beobachtung

Bei der Durchführung des Versuchs unter Normaldruck ließen sich keine besonderen Beobachtungen machen.

Beim zweiten Teil des Versuchs konnte man ab einer bestimmten Geschwindigkeit an der Stelle, an der sich das Klebeband von der Rolle löst, ein schwaches bläuliches Leuchten erkennen (Abbildung 2), welches anhielt, bis der Abrollvorgang unterbrochen wurde. Bei geringeren Geschwindigkeiten war das Leuchten schwächer, bei größeren stärker. Jedoch trat das Leuchten nicht bei allen getesteten Klebebändern auf. Das intensivste Leuchten war bei dem von 3M hergestellten "Scotch Crystal Clear Tape" zu erkennen. Auch noch erkennbar, wenn auch schon deutlich schwächer, war der Effekt bei dem ebenfalls von 3M produzierten Klebeband "Scotch Magic".

Bei zwei verschiedenen Sorten Tesafilm, einer vollkommen transparenten und einer gelblichen, und bei den von Karstadt vermarkteten "Klebefilmrollen" ließ sich keine derartige Beobachtung machen.

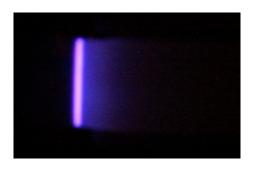


Abbildung 2: Abrollen von Scotch Crystal Clear Tape bei 1 mBar; Belichtungszeit: 3 s

Als die Klebebänder mit dem abgeänderten Versuchsaufbau mit 1,9 Metern pro Sekunde abgerollt wurden, ließ sich im ersten Versuchsabschnitt, bei Normaldruck, wie bei der geringeren Geschwindigkeit, kein Leuchten erkennen und auch im Vakuum konnte man nur bei den Scotch-Klebebändern etwas sehen. Bei diesen war das bläuliche Leuchten jedoch deutlich stärker, als bei der geringeren Abrollgeschwindigkeit.

3.1.3 Erklärung

Es kommt beim Ablösen des Klebebands von der Rolle zu einer Ladungstrennung. Elektronen des Klebstoffs bleiben auf der Rolle und bewirken eine negative Ladung; der Mangel an Elektronen auf der Gegenseite wiederum erzeugt eine positive Ladung.

Ist das elektrische Feld zwischen den Ladungen stark genug, so werden Elektronen von der Rolle in Richtung des abgerollten Klebebands beschleunigt (Abbildung 3). Hierbei treffen sie auf die Stickstoffmoleküle in der Luft und regen

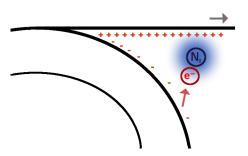


Abbildung 3: Vorgänge beim Abrollen von Klebeband

sie zur Emission bläulichen Lichts an, indem sie die Elektronen des Stickstoffs auf ein höheres Energieniveau bringen, so dass sich ihr Energieniveau anschließend unter Emission von Photonen, deren Energie der Differenz der beiden Energieniveaus entspricht, wieder senkt (vgl. Gregor Fessler, 2012, S. 2).

Im ersten Teil des Versuchs, als das Abrollen unter Normaldruck stattfand, sind die meisten Elektronen schon früh mit anderen Teilchen aus der Luft kollidiert, so dass sie nicht ausreichend beschleunigt wurden, um die Stickstoffmoleküle anregen zu können. Im zweiten Teil hatten viele der Elektronen aufgrund des geringeren Drucks

zunächst eine ausreichend lange freie Strecke, um zu beschleunigen und genügend Energie aufzunehmen, um ein Stickstoffmolekül bei einer Kollision anzuregen.

Beim modifizierten Versuchsaufbau findet durch die erhöhte Abrollgeschwindigkeit auch eine stärkere Beschleunigung der Elektronen statt, so dass sie früher genügend Bewegungsenergie haben, um Stickstoffmoleküle, wenn sie mit ihnen zusammenstoßen, zum Leuchten anzuregen.

Die Intensität des Leuchtens hängt offenbar auch von der Zusammensetzung des Klebstoffs ab, wobei sich, da die Hersteller die Zusammensetzung in der Regel nicht bekannt geben, zunächst keine genaueren Schlussfolgerungen in Bezug auf für die Tribolumineszenz des Klebebands besonders förderlichen Stoffe machen lassen. Generell lässt sich über diese nur sagen, dass eine Ladungstrennung auftreten muss, die zu einem möglichst großen Ladungsunterschied zwischen abgezogenem Klebeband und Rolle führt.

3.2 Versuch 2: Strahlung im Röntgenbereich

3.2.1 Geschichtliches

Im Jahr 1953 veröffentlichten sowjetische Wissenschaftler einen Artikel über ihre Versuche, die zeigten, dass sich beim Abziehen von Klebeband von einer Glasoberfläche im Vakuum Röntgenstrahlung messen lässt (vgl. V. V. Karasev/N. A. Krotova/B. W. Deryagin, 1953, S. 777-780).

Forscher der University of California waren bezüglich der alten Ergebnisse sehr skeptisch und führten 2008 einen neuen Versuch durch, bei welchem Klebeband im Vakuum mit einer Geschwindigkeit von etwa 3 Zentimetern pro Sekunde abgerollt wurde.

Die Röntgenstrahlung war so stark, dass es ihnen gelang bei einer Belichtungsdauer von 20 Sekunden das Röntgenbild eines Fingers aufzunehmen. Abgegeben wurde die Röntgenstrahlung mit einer Intensität von etwa 100 Milliwatt in vielen, nur jeweils eine Nanosekunde dauernden, Stößen (vgl. Anthony Watts, 2008).

Die Forscher glauben, der beim Abrollen entstehende Ladungsunterschied sei sogar groß genug, um einen Kernfusionsprozess anzustoßen (vgl. Katharine Sanderson, 2008).

3.2.2 Aufbau und Durchführung

Es wird der gleiche Aufbau wie in Versuch 1 verwendet und der Versuch wird in gleicher Weise durchgeführt. Jedoch wird nun auf die Stelle, an der sich das Klebeband von der Rolle löst, ein Geigerzähler gerichtet, wobei dieses Mal der Raum nicht abgedunkelt werden muss.

3.2.3 Beobachtung

Beim ersten Teil des Versuchs, unter Normaldruck, ließen sich keine Werte messen, die über die stets vorhandene terrestrische und kosmische Strahlung hinausgehen. Auch beim zweiten Teil und bei einer Abrollgeschwindigkeit von 1,9 Metern pro Sekunde konnte nichts anderes gemessen werden.

3.2.4 Erklärung

Die Elektronen werden, wie in der Erklärung zu Versuch 1 beschrieben, in Richtung des abgerolten Klebebands beschleunigt. Jedoch kollidieren nicht alle Elektronen auf ihrem Weg zum Klebeband mit Stickstoffmolekülen.

Erreicht ein Elektron das Klebeband und trifft auf ein positiv geladenes Atom, so wird es von dessen Kern angezogen und dadurch abgebremst (Abbildung 4). Die vom Elektron abgegebene kinetische Energie äußert sich in Form von

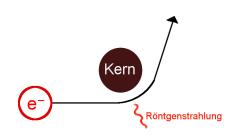


Abbildung 4: Freisetzen der Bremsstrahlung

Bremsstrahlung im Röntgenbereich (vgl. Gregor Fessler, 2012, S. 2).

In messbarem Umfang tritt Röntgenstrahlung folglich nur auf, wenn möglichst viele Elektronen ohne mit Stickstoffmolekülen zu kollidieren zum Klebeband gelangen, was nur bei einem entsprechend niedrigen Druck möglich ist. Der Druck von etwa einem Millibar, den die Vakuumpumpe erzeugt hat, war offenbar noch nicht gering genug.

4 Tribolumineszenz beim Öffnen eines Briefumschlags

4.1 Versuch 1: Strahlung im sichtbaren Bereich

4.1.1 Aufbau und Durchführung

Zunächst werden jeweils die beiden Laschen von mehreren selbstklebenden Briefumschlägen abgetrennt. Alle Laschen von einer Seite werden an ihren Enden hintereinandergegklebt, so dass zwei Bänder entstehen, bei denen die Klebstoffseite bei jeweils allen Laschen auf der gleichen Seite ist. Die beiden Bänder werden nun mit den Klebstoffseiten an einander gelegt und zusammengedrückt.

Die Apparatur zum Auseinanderreißen der beiden Bänder besteht aus einem Motor, welcher über Zahnräder zwei Rollen antreibt, die die beiden Bänder aufwickeln und dabei trennt (Abbildung 5). Das Trennen der beiden Bänder erfolgt mit einer Geschwindigkeit von etwa 0,7 Metern pro Sekunde.

Der Versuch wird mehrmals mit den gleichen Bändern wiederholt.

Durchgeführt wird dieser Versuch erst und Normaldruck und dann unter einem Druck von etwa einem Millibar.

Es wurden die von der Deutschen Post vertriebenen selbstklebenden Briefumschläge verwendet.

Access of the second of the se

Abbildung 5: Apparatur zum Trennen von Bändern aus Briefumschlaglaschen

4.1.2 Beobachtung

Bereits unter Normaldruck lässt sich an der Stelle, an der sich die beiden Laschen von einander trennen, ähnlich wie beim Klebe-

bandversuch im Vakuum, jedoch in etwas stärkerer Form, ein bläuliches Leuchten erkennen.

Im Vakuum ist das Leuchten so hell, dass es auch bei eingeschaltetem Licht noch gut zu erkennen ist (Abbildung 6).

Unter Normaldruck ist ab dem fünften Versuch kein Leuchten mehr zu erkennen; im Vakuum ist dies etwa ab dem siebten Versuch nicht mehr möglich.



Abbildung 6: Tribolumineszenz beim Trennen von Briefumschlaglaschem bei eingeschaltetem Licht

4.1.3 Erklärung

Erklären lässt sich diese Beobachtung ähnlich, wie die beim ersten Versuch zum Abrollen von Klebeband. Wieder kommt es durch Ladungs-

trennung zu einem elektrischen Feld, dieses Mal zwischen den beiden Briefumschlaglaschen, wodurch Elektronen aus der negativ geladenen Lasche in Richtung der positiv geladenen Lasche beschleunigt werden. Diese wiederum treffen auf ihrem Weg auf Stickstoffmoleküle und regen sie zum Leuchten an.

Da das Leuchten in diesem Fall jedoch auch unter Normaldruck wahrzunehmen ist, ist davon auszugehen, dass die Elektronen eine stärkere Beschleunigung, als beim Abrollen von Klebeband, erfahren. Dies dürfte darauf zurückzuführen sein, dass der Ladungsunterschied zwischen den Laschen des Briefumschlags größer ist, als der zwischen Klebebandrolle und abgerolltem Klebeband.

4.2 Versuch 2: Strahlung im Röntgenbereich

4.2.1 Aufbau und Durchführung

Der Aufbau entspricht dem von Versuch 1. Es wird jedoch, analog zum Klebebandversuch, ein Geigerzähler auf die Stelle, an der sich die beiden Bänder von einander trennen gerichtet.

4.2.2 Beobachtung

Weder bei Normaldruck, noch bei dem von der Vakuumpumpe erzeugten Druck von etwa einem Millibar, lässt sich Strahlung messen, die über den Umfang der terrestrischen und kosmischen Strahlung hinausgeht.

4.2.3 Erklärung

Offenbar erreichten auch bei diesem Versuch nicht ausreichend Elektronen das positiv geladene Band, so dass es auch nicht zu für eine Messung unter diesen Bedingungen ausreichend großer Bremsstrahlung kommen konnte.

5 Tribolumineszenz durch Reibung bei SiO₂

5.1 Versuch 1: Aneinanderreiben von Quarzkristallen

5.1.1 Material und Durchführung

Das Material in diesem Versuch stellt Siliciumdioxid in Form von Quarzkristallen dar (Abbildung 7). Zwei solche Kristalle werden in einem dunklen Raum möglichst stark an einander gerieben.





Abbildung 7: Verwendete Quarzkristalle Abbildung 8: Tribolumineszenz bei Quarzkristallen

5.1.2 Beobachtung

An der Stelle, an der die beiden Kristalle an einander reiben, lässt sich ein gelbliches bis orangeliches Leuchten erkennen (Abbildung 8). Jedoch tritt dieses immer nur auf, nachdem aufgrund einer Unebenheit auf der Oberfläche der Kristalle mehr Kraft aufgewendet werden musste. Werden zwei glatte Flächen an einander gerieben, kann kein Leuchten festgestellt werden.

5.1.3 Erklärung

Zu erklären ist das gelbliche bis orangeliche Leuchten hier ganz ähnlich, wie das bläuliche Leuchten beim Abrollen von Klebeband oder Öffnen von Briefumschlägen. Auch hier findet eine Ladungstrennung statt, durch die ein elektrisches Feld aufgebaut wird, in dem Elektronen beschleunigt werden, welche dann wiederum auf ihrem Weg Atome zum Leuchten anregen. Dass es ein gelb-oranges statt einem bläulichen Leuchten gibt deutet jedoch darauf hin, dass es sich nicht um angeregten Stickstoff handelt.

5.2 Versuch 2: Aneinanderreiben von Kieseln

5.2.1 Material und Durchführung

In diesem Versuch wird erneut Siliciumdioxid, jedoch in Form von Kieseln, verwendet. Zwei Kieselsteine werden in einem nicht ganz dunklen Raum an einander gerieben.

Der Versuch wird vollständig unter Wasser (Leitungswasser) wiederholt.

5.2.2 Beobachtung

Es lässt sich eine ähnliche Beobachtung machen, wie im ersten Versuch, bei den Quarzkristallen, jedoch ist das Leuchten ein wenig stärker. Auch in diesem Versuch tritt es nur auf, nachdem eine Unebenheit des Steins überwunden wurde (Abbildung 9).

Wird der Versuch unter Wasser durchgeführt, so lassen sich die gleichen Beobachtungen machen (Abbildung 10).





Abbildung 9: Tribolumineszenz bei Kieseln Abbildung 10: Tribolumineszenz bei Kieseln unter Wasser

5.2.3 Erklärung

Das Leuchten in diesem Versuch tritt aus dem gleichen Grund auf, wie in Versuch 1. Es ist zu vermuten, dass der Grund für das stärkere Leuchten in der raueren Oberfläche des Steins liegt, da auch bei größeren Unebenheiten ein stärkeres Leuchten zu vernehmen ist.

Dass der Versuch auch unter Wasser zum gleichen Ergebnis führt zeigt, dass es sich nicht um Funken, sondern tatsächlich um Tribolumineszenz handelt. Darüber hinaus kann daraus gefolgert werden, dass es keine Teilchen aus der Luft sind, die zum Leuchten angeregt werden. Es ist davon auszugehen, dass das Siliciumdioxid selbst zum Leuchten angeregt wird, da es keine Stoffe gibt, die in der Luft und im Leitungswasser gleichermaßen häufig vorkommen.

6 Anwendungsmöglichkeit in der Medizin

6.1 Klassische Röntgenröhre

In der Medizin werden als Quelle für Röntgenstrahlung derzeit Röntgenröhren verwendet. Sie besteht aus einer Kathode und einer Anode, welche in einem abgedichteten Glaskörper eingeschmolzen sind. Die Kathode wird so stark erhitzt, dass Elektronen sie aufgrund des glühelektrischen Effekts verlassen. Zwischen Kathode und Anode herrscht eine Hochspannung von 25 bis 150 Kilovolt. Aus der Kathode ausgetretene Elektronen werden durch das elektrische Feld zur Anode beschleunigt. Nach dem Durchqueren des Felds haben sie eine Geschwindigkeit von etwa 50 Prozent der Lichtgeschwindigkeit.

Trifft ein Elektron auf die Anode, so wird es aufgrund der Anziehung der Atomkerne in der Anode abgebremst und es wird Bremsstrahlung im Röntgenbereich freigesetzt. Die Intensität der Strahlung hängt von der Energie, die die Elektronen abgeben, ab und somit von ihrer kinetischen Energie, welche wiederum von der Spannung zwischen Anode und Kathode abhängig ist. Die Elektronen werden, je nach ihrer jeweiligen Entfernung zu den Atomkernen, die sie in der Anode passieren, unterschiedlich stark abgebremst und geben somit auch unterschiedlich viel Energie ab, was dazu führt, dass Röntgenstrahlung unterschiedlicher Frequenzen entsteht und sich ein kontinuierliches Spektrum ergibt.

Darüber hinaus wird auch charakteristische Röntgenstrahlung freigesetzt. Diese entsteht, wenn ein beschleunigtes Elektron auf ein Elektron der Anode trifft und dieses aus seiner Schale befördert. Die Lücke wird von einem Elektron einer höheren Schale oder einem freien Elektron besetzt, wobei aufgrund der großen Bindungsenergie Röntgenstrahlung abgegeben wird. Die in dieser Form abgegebene Energie ist immer die Differenz der Bindungsenergien zweier Schalen, weswegen nur Strahlung in bestimmten Wellenlängen freigesetzt wird.

Für die Bilderzeugung wird in den meisten Bereichen ausschließlich Bremsstrahlung verwendet. Diese ist auch in größerem Ausmaß vorhanden, als charakteristische Röntgenstrahlung (vgl. Onmeda-Redaktion: Röntgenstrahlung und Röntgenröhre).

Die Bewegungsenergie der Elektronen wird bei diesem Verfahren zu 99 Prozent in Wärme und nur zu einem Prozent in nutzbare Röntgenstrahlung umgesetzt (vgl. Heinrich Behner, 2005, S. 4).

6.2 Klebeband als Röntgenquelle

Ein Nachteil der Röntgenröhre ist die aufwendige Herstellung im Vakuum. Klebeband, welches im Vakuum abgerollt wird, scheint eine wesentlich flexiblere und günstigere Quelle für Röntgenstrahlung zu sein. Auch ist die Reparatur, die Wartung und auch die Verbesserung und Erweiterung eines bestehenden Geräts einfacher. Ein weiterer Vorteil ist, dass keine so hohen Spannungen benötigt werde, wie bei der Röntgenröhre.

Es ist somit durchaus denkbar, dass derartige Röntgenquellen auch in der Medizin Verwendung finden, da der Versuch der Forscher der University of California, wie oben beschrieben, bereits zeigte, dass Röntgenaufnahmen auf diese Weise prinzipiell möglich sind.

6.3 Briefumschlag als Röntgenquelle

Da im Versuch mit dem Briefumschlag ein deutlich stärkeres Leuchten zu vernehmen war, als beim Klebebandversuch, kann vermutet werden, dass bei einem entsprechend geringen Druck auch mehr Röntgenstrahlung abgegeben wird, da sowohl die Stärke der Röntgenstrahlung, als auch die Intensität des durch Anregung von Stickstoffmolekülen hervorgerufenen Leuchtens von der Geschwindigkeit der beschleunigten Elektronen abhängt.

6.4 Siliciumdioxid als Röntgenquelle

Siliciumdioxid in Form von Quarzkristallen oder Kieseln würde, da es bei Reibung unter Wasser die gleichen Leuchterscheinungen zeigt, wie wenn es von Luft umgeben ist, und sich folglich selbst anzuregen scheint, auch im Vakuum das gleiche Verhalten, wie bei Normaldruck zeigen, da die Abwesenheit von Stickstoff oder anderen Stoffen aus der Luft keinen relevanten Unterschied ergibt. Somit ist davon auszugehen, dass es nicht als Röntgenquelle geeignet ist.

7 Weiterführende Gedanken

Klebeband ist offenbar als Quelle für Röntgenstrahlung geeignet und eventuell auch in der Medizin einsetzbar. Die Anwendung in Krankenhäusern oder bei Zahnärzten ist in dieser Form jedoch eher unwahrscheinlich, da Klebeband als solches nicht auf die Erzeugung von Röntgenstrahlung optimiert ist und eine relativ starke Vakuumpumpe und viel Klebeband nötig sind, um Röntgenstrahlung zu erzeugen, die ausreicht, um einen Menschen oder auch nur ein Gebiss zu durchleuchten. Schon eher denkbar ist ein solches Verfahren in Entwicklungsländern, wenn keine ausreichend große Spannungsquelle zur Verfügung steht, aber trotzdem die Möglichkeit eines dauerhaft haltbaren Vakuums besteht.

Es gilt nun auch andere Materialien, bei denen Tribolumineszenz auftritt, auf die Abgabe von Röntgenstrahlung zu untersuchen. So erscheint es sinnvoll, Versuche mit Briefumschlaglaschen in einem stärkeren Vakuum durchzuführen. Quarz und Kiesel scheinen nicht sonderlich vielversprechend, sollten jedoch trotzdem geprüft werden. Darüber hinaus gibt es zahlreiche andere Tribolumineszenzfähige Stoffe, die es auf die Abgabe von Röntgenstrahlung zu prüfen gilt, darunter auch so alltägliche wie Zucker.

8 Literaturverzeichnis

- BBC: Hands-on science: Sugar Glow. URL: http://www.bbc.co.uk/bang/handson/sugar_glow.shtml Download von 20.03.2014, 17:30
- Behner, H.: Die Röntgenröhre im medizinischen Einsatzbereich. URL: http://userserv.fhreutlingen.de/~wyndorps/Deutsch/Projektarbeit-Dateien/Roentgenroehre_11.pdf
 Download von 28.03.2014
- DeMiglio, A.: The Effect of Triboluminescence in Everyday Materials. URL: http://mpalffy.lci.kent.edu/Optics/Presentations%202012/Triboluminescence-DeMiglio.pdf - Download von 07.03.2014, 20:00
- Fessler, G.: FP Versuch Tribolumineszenz. URL: http://fp.physik.unibas.ch/documents/tribolumineszenz_de.pdf Download von 14.03.2014, 19:30
- Karasev, V. V./Krotova, N. A./Deryagin, B. W.: Study of electronic emission during the stripping of a layer of high polymer from glass in a vacuum. In: Doklady Akademii Nauk SSR 88 (1953), S. 777–780
- Onmeda-Redaktion: Röntgenstrahlung und Röntgenröhre. URL: http://www.onmeda.de/strahlenmedizin/roentgenstrahlung_und_roentgenroehreroentgenbremsstrahlung-2424-3.html - Download von 28.03.2014, 17:00
- Sage, I./Bourhill, G.: Triboluminescent materials for structural damage monitoring. In: Journal of Materials Chemistry. 11, Nr. 2, 2001, S. 231–245
- Sanderson, K.: Sticky tape generates X-rays.

 URL: http://www.nature.com/news/2008/012345/full/news.2008.1185.html Download von 17.03.2014, 19:00
- Tschugajew, L.: Über Tribolumineszenz. In: Chemische Berichte 34 (1901), S. 1820–1825
- Watts, A.: Scotch Tape emits X-Rays: film at 11.

 URL: http://wattsupwiththat.com/2008/10/22/scotch-tape-emits-x-rays-film-at-11/ Download von 28.03.2014, 16:30
- Wiedemann, E./Schmidt, G. C.: Über Lumineszenz. In: Annalen der Physik und Chemie 54 (1895), S. 604-625

9 Anhang

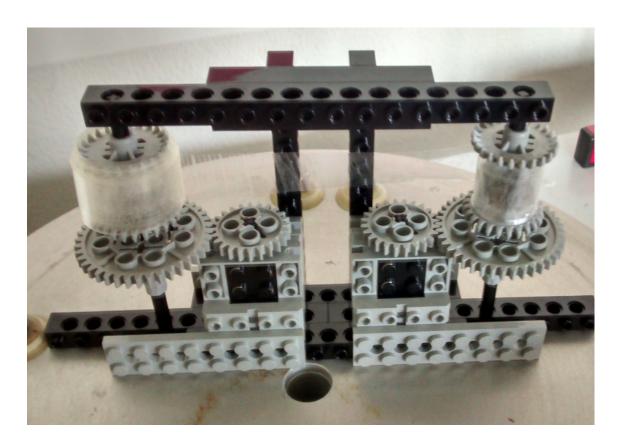


Abbildung 11: Apparatur zum Abrollen von Klebeband

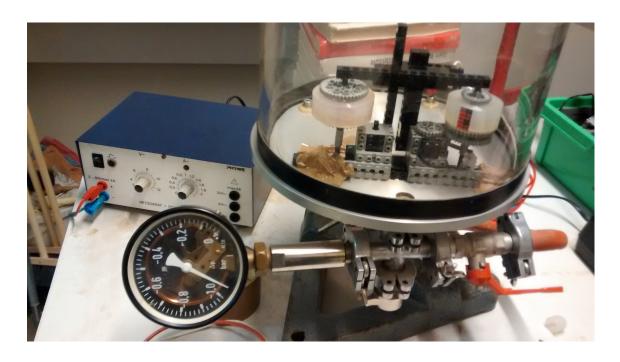


Abbildung 12: Vollständiger Versuchsaufbau zum Abrollen von Klebeband

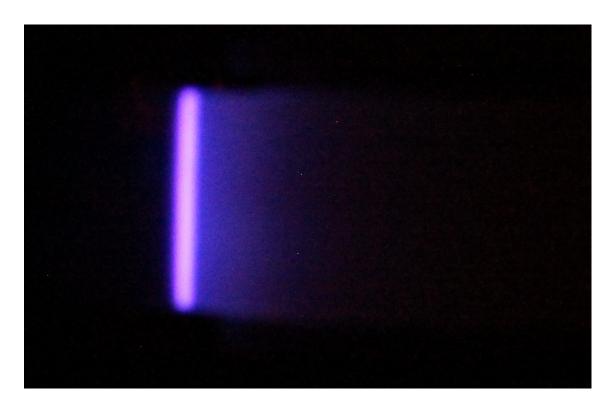


Abbildung 13: Abrollen von Scotch Crystal Clear Tape bei 1 mBar; Belichtungszeit: 3 s

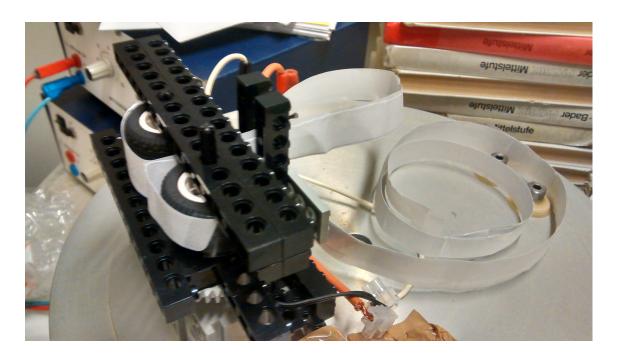


Abbildung 14: Apparatur zum Trennen von Bändern aus Briefumschlaglaschen

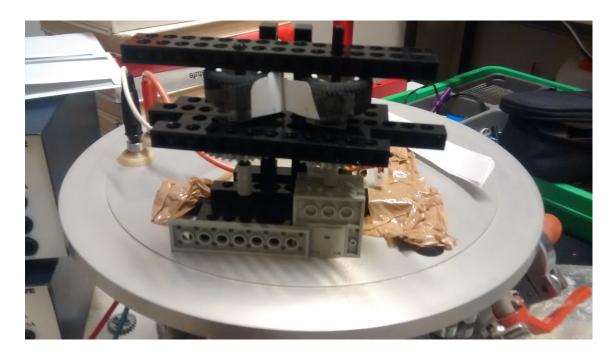


Abbildung 15: Apparatur zum Trennen von Bändern aus Briefumschlaglaschen von vorne



Abbildung 16: Tribolumineszenz beim Trennen von Briefumschlaglaschen bei eingeschaltetem Licht



Abbildung 17: Tribolumineszenz bei Kieseln

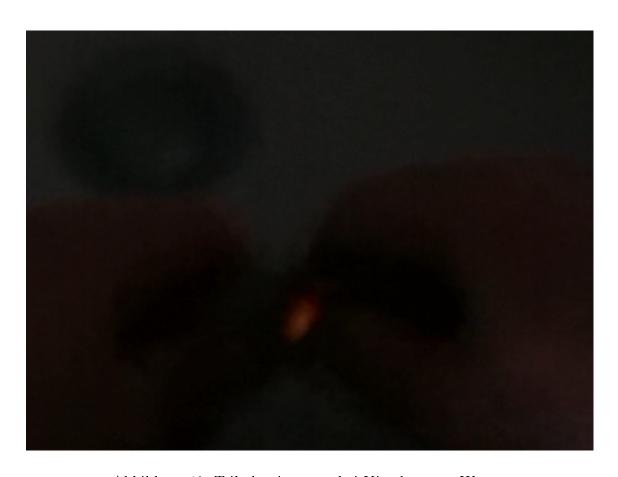


Abbildung 18: Tribolumineszenz bei Kieseln unter Wasser