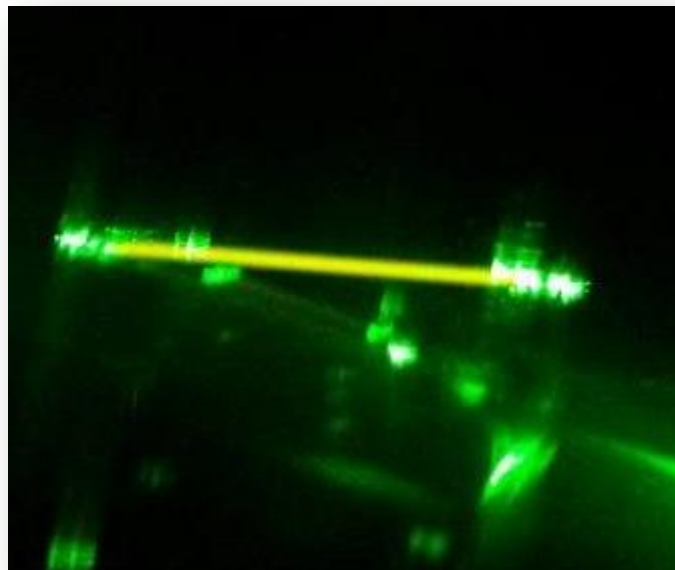


# Schulversuchspraktikum

Moritz Pemberneck

Sommersemester 2016

Klassenstufen 9 & 10



---

## Laser induzierte Fluoreszenz von Iod

---

## **Auf einen Blick:**

---

In diesem Protokoll wird ein Versuch zur Laser induzierten Fluoreszenz von Iod beschrieben, insbesondere auch, auf welchem Niveau dieses komplexe Thema für die SuS vermittelbar ist. Weiterhin wird ein Versuch vorgestellt, um den Quenching-Effekt zu verdeutlichen.

## **Inhalt**

1	Beschreibung des Themas und zugehörige Lernziele.....	<del>12</del>
2	Relevanz des Themas für SuS der 9. und 10. Klasse, didaktische Reduktion und möglicher Unterrichtsgang.....	<del>23</del>
3	Schülerversuche.....	<del>45</del>
3.1	V1 – Laser induzierte Fluoreszenz von Iod.....	<del>45</del>
3.2	V2 – Quenching-Effekt.....	<del>67</del>
4	Didaktischer Kommentar zum Schülerarbeitsblatt .....	10
4.1	Erwartungshorizont (Kerncurriculum).....	10
4.2	Erwartungshorizont (Inhaltlich).....	11

## 1 Beschreibung des Themas und zugehörige Lernziele

Die Laser induzierte Fluoreszenz von Iod stellt einen Sonderfall der Lumineszenz dar, der im Folgenden erläutert wird. Zweiatomige Moleküle können unterschiedlich angeregt werden. Moleküle können elektronisch angeregt werden, indem Elektronen von einem Grundzustand in einen angeregten elektronischen Zustand versetzt werden. Weiterhin können Moleküle schwingungsangeregt werden. Dabei wird durch Energiezufuhr das Molekül entlang der Schwingungsachse zur Valenz- und Streckschwingung angeregt. Neben der Schwingungsanregung kann auch eine Rotationsanregung erfolgen, indem das Molekül durch Energie in Rotation versetzt wird. Die Energiewerte dieser Anregungen sind wie folgt dargestellt:

$$E_{el} > E_{vib} > E_{rot}$$

Bei Raumtemperatur sind die meisten Moleküle im elektronischen Grundzustand. Auch der Schwingungszustand ist größtenteils in  $v=0$ , einige in  $v=1$  und  $v=2$ , bevölkert. Die Rotationsanregungen sind aufgrund der niedrigen Energiedifferenzen zwischen den einzelnen Niveaus auch in höheren Anregungszuständen vorhanden. Die Aufnahme von Energie, also die Anregung des Moleküls durch die verschiedenen Möglichkeiten, wird als Absorption bezeichnet.

Ein angeregtes Molekül kann über verschieden Wege diese Energie wieder abgeben. Zum einen kann durch eine innere Umwandlung (Internal Conversion) die Energie des elektronisch angeregten Zustandes, bei Überlagerung mit einer Potentialkurve eines niedrigeren elektronischen Zustandes, in hohe schwingungsangeregte Zustände umgewandelt werden. Dabei handelt es sich um einen in der Quantenmechanik beschriebenen erlaubten Übergang, da kein Multiplizitätswechsel stattfindet. Nach dieser inneren Umwandlung kann durch Schwingungsrelaxation der angeregte Schwingungszustand zum Schwingungsgrundzustand abklingen. Dabei handelt es sich um eine strahlungslose Energieabgabe.

Alternativ kann das Molekül auch durch ein "Intersystem Crossing" (ISC) und eine anschließende Phosphoreszenz Energie abgeben. Durch Überschneidung zweier Potentialkurven kann ein ISC erfolgen, das heißt es findet ein Multiplizitätswechsel von einem angeregten Singulett-Zustand in einen angeregten Triplett-Zustand statt. Nach diesem quantenmechanisch verbotenen Übergang erfolgt ein Rückfall des Elektronen in den elektronischen Grundzustand unter Emission von Licht. Dieser Prozess wird als Phosphoreszenz bezeichnet. Da der Vorgang des Multiplizitätswechsels ein verbotener Übergang ist, ist die Lebensdauer dieses Zustandes relativ hoch, sodass es zu einem "nachleuchten" kommt, auch wenn die Anregungsquelle nicht mehr vorhanden ist. Dieser Prozess kann noch Stunden anhalten.

Eine weitere Möglichkeit ist der direkte Rückfall von einem elektronisch-angeregten und schwingungsangeregtem Zustand in den elektronischen Grundzustand mit unterschiedlicher Schwingungsanregung unter Abgabe eines Lichtquants. Dieser Vorgang findet ohne Spin-Umkehrung statt, sodass die Lebensdauer dieser Fluoreszenz sehr klein ist, sodass diese erlischt, sobald die Anregungsquelle erlischt.

Als Quenching" werden Vorgänge bezeichnet, die eine Abnahme der Fluoreszenz zur Folge haben. Das Quenching lässt sich in fünf Möglichkeiten aufteilen: Bei dem dynamischen Quenching erfolgt die Energieübertragung durch einen Stoß mit einem Stoßpartner, sodass es zu einer strahlungslosen Energieabgabe kommt. Das statische Quenching beschreibt die Komplexbildung des Fluorophors mit dem Quenchemolekül. Beim Resonanz-Energie-Transfer erfolgt eine Energieübertragung auf die Resonanzstrukturen des Quenchemoleküls. Eine weitere Möglichkeit sind sogenannte Mischeffekte, die sowohl das dynamische als auch statische Quenchen gleichzeitig umfassen. Die letzte Möglichkeit sind Nebeneffekte über eine Temperaturerhöhung, die allerdings meistens vernachlässigt werden können.

Im Folgenden werden zwei Versuche vorgestellt, die zum Einen die Laser induzierten Fluoreszenz von Iod (V1) als auch den Quenching-Effekt (V2) thematisieren.

Die SuS sollen die Möglichkeiten der Anregung eines Moleküls und das Zustandekommen von Fluoreszenz beschreiben können. Weiterhin sollen die SuS die Bedeutung des Vakuums bei den Versuchen mithilfe des Quenching-Effektes beschreiben.<sup>12</sup>

## **2 Relevanz des Themas für SuS der 9. und 10. Klasse, didaktische Reduktion und möglicher Unterrichtsgang**

Fluoreszierende und phosphoreszierende Stoffe sind den SuS aus dem Alltag bekannt. Neben den in Kinderzimmern häufig hängenden Leuchtsternen (Phosphoreszenz), die noch lange nachleuchten, kommen die SuS des 9 und 10 Jahrgangs vor allem in Diskotheken mit diesen Stoffen in Kontakt. Die eigentlich gelben Baumwollfasern sind häufig mit fluoreszierenden Stoffen gefärbt, die in der Diskothek durch die mit einem speziellen Filter ausgestatteten Leuchtstoffröhren fluoreszieren. Aber auch Geldscheine, Briefmarken, Textmarker und Papier enthalten fluoreszierende Stoffe.

---

<sup>1</sup>Muenter, J. S., The Helium-neon laser-induced fluorescence spectrum of molecular iodine. An undergraduate laboratory experiment. J. Chem. Educ., 73(6):576-580, 1996.

<sup>2</sup> Fleischer, Dr. S., Roichman, Dr. Y., [www.tau.ac.il/~phchlab/experiments\\_new/LIF/theory.html](http://www.tau.ac.il/~phchlab/experiments_new/LIF/theory.html), S. 1-8, (29.07.2016 19:52).

Eine didaktische Reduktion muss an einigen Stellen vorgenommen werden. Die Präsentation von Potentialkurven mit den einzelnen Schwingungs- und Rotationszuständen sollte für SuS der 9. und 10. Klasse, nicht erfolgen. Vielmehr sollten die SuS verstehen, wie ein Molekül Energie aufnehmen kann. Diese Möglichkeiten lassen sich mit Modellen verdeutlichen. Die elektronische Anregung kann durch eine Abbildung (s. Abb. 1) verdeutlicht werden. Dabei sollte nicht auf die gequantelten Energieportionen eingegangen werden, sondern lediglich, dass eine bestimmte Energie notwendig ist für eine elektronische Anregung. Ist die Energie zu groß oder zu klein kann keine Anregung erfolgen. Dies wird in Abbildung 1 durch die zu erreichenden Lücken symbolisiert, in die die Kugel, das Elektron, angehoben werden muss. Die roten Pfeile zeigen mögliche Anregungen, der rote Pfeil eine nicht mögliche.

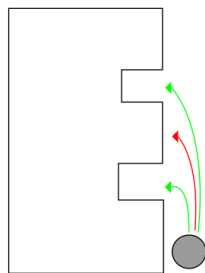


Abbildung 1: Energetisch mögliche Übergänge.

Die Verdeutlichung der Schwingungs- und Rotationsanregung kann durch ein Modell eines zweiatomigen Moleküls erfolgen (s. Abb. 2). Die Atome werden dabei durch kleine Kugeln (z. B. Alufolie) dargestellt, die über eine Feder verbunden sind. Zur Veranschaulichung der Schwingungsanregung kann die Feder auseinander gezogen werden, während die Rotationsanregung durch Pusten erfolgen kann, wenn das Modell an einem Faden aufgehängt ist. Gleichzeitig lässt

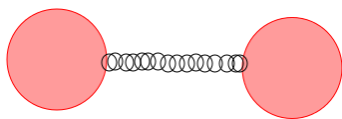
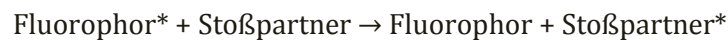


Abbildung 2: Modell eines Iod-Moleküls.

sich zeigen, dass die Rotationsanregung weniger Energie benötigt als die Schwingungsanregung, da sich das Molekül durch Pusten in Rotation versetzen lässt. Die SuS sollten die Energieaufnahme als eine Absorption von Energie beschreiben, die über verschiedene Möglichkeiten erfolgen kann.

Ein angeregtes Molekül kann über verschiedene Wege diese Energie wieder abgeben. Die ICS als auch die innere Umwandlung sollte dabei nicht thematisiert werden. Lediglich die Fluoreszenz und die Phosphoreszenz, die für die SuS phänomenologisch beobachtbar ist, sollten behandelt werden. Die SuS sollten die Fluoreszenz als eine Form der Energieabgabe beschreiben, die unter Lichtemission erfolgt und als Abgrenzung zur Phosphoreszenz nicht nachleuchtet. Die Phosphoreszenz sollte als eine weitere Möglichkeit der Energieabgabe durch Lichtemission beschrieben werden, wobei hier ein Nachleuchten zu beobachten ist. Zur Verdeutlichung bietet es sich an, den Versuch 1 durchzuführen.

Weiterführend sollten die SuS das Quenching als eine Konkurrenzreaktion zur Lichtemission beschreiben. Dazu sollte Versuch 2 durchgeführt werden. Die SuS sollten die Energieübertragung mit einer Reaktionsgleichung beschreiben können:




Die SuS erklären, dass die Energie des angeregten Fluorophors durch einen Stoß auf den Stoßpartner übergeht, sodass keine Fluoreszenz mehr auftritt, bzw. die Gesamtfluoreszenz im Gesamtverbund abgeschwächt wird.

### 3 Schülerversuche

#### 3.1 V1 – Laser induzierte Fluoreszenz von Iod

Dieser Versuch thematisiert die Laser induzierte Fluoreszenz von Iod. Die SuS sollten wissen, wie ein Molekül Energie aufnehmen kann.

Gefahrenstoffe		
Iod	H: 312+332, 315, 319, 335, 372, 400	P: 273, 302+352, 305+351+338+314
		

Materialien: Rundkolben

Chemikalien: Iod

Durchführung: Einige Körner Iod werden in einen Rundkolben gefüllt. Der Rundkolben wird an eine Wasserstrahlpumpe (alternativ ans Hausvakuum, falls vorhanden) angeschlossen und der Kolben wird vakuumiert. Anschließend wird der Kolben mit den Handflächen erwärmt, sodass Iod in die Gasphase übergeht. In einer Dunkelkammer wird anschließend ein grüner Laserpointer durch den Kolben gerichtet.

Beobachtung: Der Strahl des Laserpointers ist vor und nach dem Kolben grünlich, lediglich im Kolben ist der Strahl der Laserpointer orangefarben.

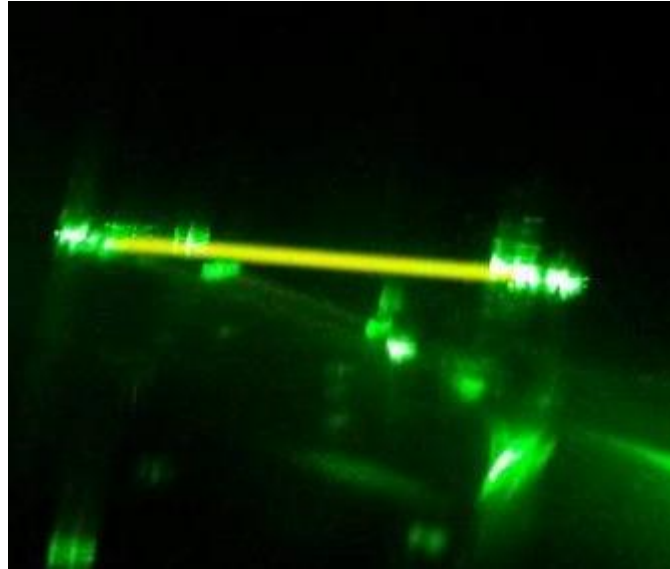
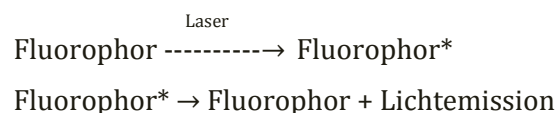


Abb. 1 - Laser induzierte Fluoreszenz von Iod.

**Deutung:** Durch den Laserpointer werden (einige) Iod-Moleküle angeregt. Diese Anregung erfolgt elektronisch, aber es findet auch eine Schwingungsanregung statt. Wird diese Energie wieder abgegeben, erfolgt dies in diesem Fall unter Lichtemission. Da diese Emission nach Ausschalten des Lasers sofort abklingt, handelt es sich um eine Fluoreszenz. Das emittierte Licht (ca. 590 nm) ist in Bezug auf das Anregungslicht (ca. 530 nm) langwellig verschoben. Dieses Phänomen lässt sich auf eine strahlungslose Abregung der Schwingung des Moleküls zurückführen.



**Entsorgung:** Das Iod wird mit Natriumthiosulfat-Lösung neutralisiert und im Ausguss entsorgt.

**Literatur:**

[1] Muentzer, J. S., The Helium-neon laser-induced fluorescence spectrum of molecular iodine. An undergraduate laboratory experiment. J. Chem. Educ., 73(6):576-580, 1996.

[2] Tellinghuisen, J., Laser-induced molecular fluorescence. J. Chem. Educ., 58(5):438-441, 1981.

Im weiteren Unterrichtsverlauf könnte das "Quenchen" thematisiert werden. In V2 wird eine Möglichkeit vorgestellt, um dieses Phänomen den SuS zu verdeutlichen. Gleichzeitig können auch andere Fluoreszenz Phänomene, aber auch die Phosphoreszenz behandelt werden. Alternativ kann dieser Versuch auch mit einem Kolbenprober erfolgen. In diesen werden zunächst einige Körner Iod gefüllt. Danach wird der Kolbenprober mit den Handflächen erwärmt, bevor ein Vakuum über den Kolben aufgezogen wird. Bei Bestrahlung mit dem Laser ist ebenfalls die Fluoreszenz zu beobachten.

### 3.2 V2 – Quenching-Effekt

Dieser Versuch thematisiert den Quenching-Effekt, der als Konkurrenzreaktion zur Fluoreszenz gesehen werden kann. Die SuS sollten wissen, wie Moleküle Energie aufnehmen können und wie Fluoreszenz entsteht. Weiterhin bietet es sich an V1 vor V2 durchzuführen.

Gefahrenstoffe		
Iod	H: 312+332, 315, 319, 335, 372, 400	P: 273, 302+352, 305+351+338+314
		

Materialien: Rundkolben

Chemikalien: Iod

Durchführung: Einige Körner Iod werden in einen Rundkolben gefüllt. Der Rundkolben wird an eine Wasserstrahlpumpe (alternativ ans Hausvakuum, falls vorhanden) angeschlossen und der Kolben wird vakuumiert. Anschließend wird der Kolben mit den Handflächen erwärmt, sodass Iod in die Gasphase übergeht. In einer Dunkelkammer wird anschließend ein grüner Laserpointer durch den Kolben gerichtet. Anschließend wird das Vakuum entfernt, indem Luft in den Kolben gelassen wird. Danach wird erneut mit einem Laserpointer bestrahlt.

Beobachtung: Der Strahl des Laserpointers ist vor und nach dem vakuumierten Kolben grünlich, lediglich im Kolben ist der Strahl der Laserpointer orangefarben.



Nach der Belüftung des Kolbens lässt sich keine Fluoreszenz mehr wahrnehmen.

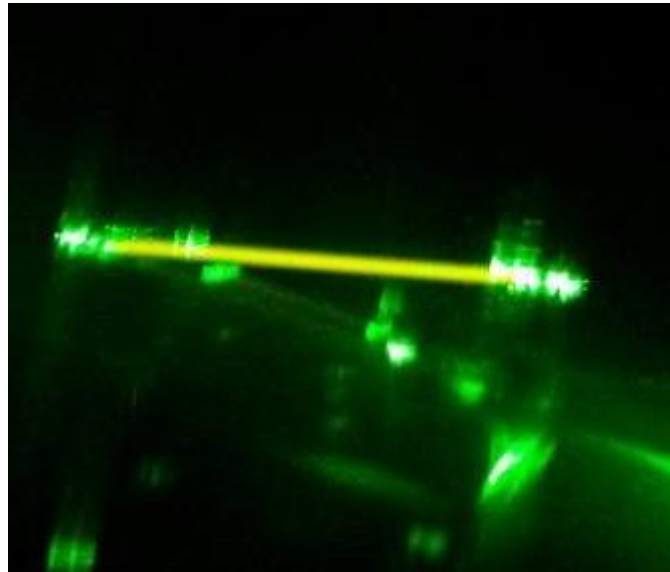
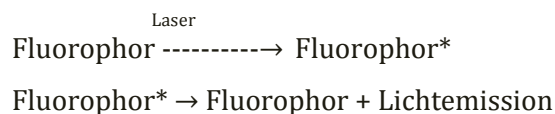


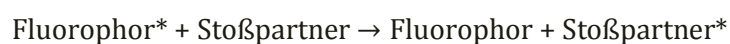
Abb. 24 - Laser induzierte Fluoreszenz von Iod.

Deutung:

Durch den Laserpointer werden (einige) Iod-Moleküle angeregt. Diese Anregung erfolgt elektronisch, aber es findet auch eine Schwingungsanregung statt. Wird diese Energie wieder abgegeben, erfolgt dies in diesem Fall unter Lichtemission. Da diese Emission nach Ausschalten des Lasers sofort abklingt, handelt es sich um eine Fluoreszenz. Das emittierte Licht (ca. 590 nm) ist in Bezug auf das Anregungslicht (ca. 530 nm) langwellig verschoben. Dieses Phänomen lässt sich auf eine strahlungslose Abregung der Schwingung des Moleküls zurückführen.



Nach Belüftung des Kolbens lässt sich keine Fluoreszenz mehr wahrnehmen, weil die Bestandteile der Luft für einen Quenching-Effekt sorgen. Dabei stößt vor allem der Sauerstoff mit dem angeregten Fluorophor zusammen, sodass die Energie übertragen wird. Der Fluorophor wird so strahlungslos abgeregt.



Entsorgung:

Das Iod wird mit Natriumthiosulfat-Lösung neutralisiert und im Ausguss entsorgt.

Literatur:

[1] Muentzer, J. S., The Helium-neon laser-induced fluorescence spectrum of molecular iodine. An undergraduate laboratory experiment. J. Chem. Educ., 73(6):576-580, 1996.

[2] Tellinghuisen, J., Laser-induced molecular fluorescence. J. Chem. Educ., 58(5):438-441, 1981.

Im weiteren können auch andere Fluoreszenz Phänomene, aber auch die Phosphoreszenz behandelt werden. Alternativ kann dieser Versuch auch mit einem Kolbenprober erfolgen. In diesen werden zunächst einige Körner Iod gefüllt. Danach wird der Kolbenprober mit den Handflächen erwärmt, bevor ein Vakuum über den Kolben aufgezogen wird. Bei Bestrahlung mit dem Laser ist ebenfalls die Fluoreszenz zu beobachten. Die Belüftung erfolgt über das Öffnen des Kolbenprobers, wobei dies unter dem Abzug erfolgen sollte.

## **Laser induzierte Fluoreszenz von Iod und Quenching-Effekt**

**Aufgabe 1:** Beschreibe wie ein Molekül angeregt werden kann und nenne den Fachbegriff für diese Aufnahme von Energie.

**Aufgabe 2:** Gib einige Körner Iod in einen Kolben, der anschließend vakuumiert wird. Leuchte nun mit dem Laserpointer durch den Kolben. Anschließend wird Luft in den Kolben gelassen. Leuchte erneut mit dem Laserpointer durch den Kolben. Nenne deine Beobachtungen.

**Aufgabe 3:** Beschreibe den Quenching-Effekt und begründe, welche Bedeutung das Vakuum hat. Erkläre den Unterschied zwischen Quenchen und Fluoreszenz!

## 4 Didaktischer Kommentar zum Schülerarbeitsblatt

Dieses Arbeitsblatt kann zur Einführung des Quenchens herangezogen werden. Die SuS sollten wissen, wie ein Molekül angeregt werden kann und wie sich die Phosphoreszenz von der Fluoreszenz unterscheidet. Mithilfe des Arbeitsblattes und der Versuche 1 und 2 wird die Auswirkung von Stoßpartnern, das sogenannte quenching aufgezeigt.

### 4.1 Erwartungshorizont (Kerncurriculum)

Aufgabe 1: Der Operator "Beschreiben" gehört zum Anforderungsbereich I. Die SuS sollen die zuvor gelernten Anregungsmöglichkeiten von Molekülen wiederholen und aufschreiben. Der Operator "Nennen" gehört ebenfalls zum Anforderungsbereich I. Die SuS sollen die Aufnahme von Lichtenergie als Absorption beschreiben.

Erkenntnisgewinnung: Die SuS kennen Bindungsmodelle und können sie anwenden.  
Die SuS können geeignete Modelle zur Visualisierung von Strukturen nutzen.  
Die SuS können den Nutzen des Teilchenmodells erkennen.  
Verfügung über einen altersgemäß ausgeschärften Energiebegriff.  
Die SuS stellen einfache qualitative Energiebilanzen für einfache Übertragungs- bzw. Wandlungsvorgänge auf.

Aufgabe 2: Der Operator "Nennen" gehört zum Anforderungsbereich I.

Erkenntnisgewinnung: Die SuS führen Experimente nach Anleitung durch.  
Die SuS beobachten und beschreiben Experimente sorgfältig.

Kommunikation: Die SuS protokollieren Experimente.

Aufgabe 3: Der Operator "Beschreiben" gehört zum Anforderungsbereich II. Der Operator "Begründen" gehört zum Anforderungsbereich III. Der Operator "Erklären" gehört zum Anforderungsniveau II.

Erkenntnisgewinnung: Die SuS führen Kenntnisse aus dem bisherigen Unterricht zusammen, um neue Erkenntnisse zu gewinnen.

Kommunikation: Die SuS können fachlich korrekt und folgerichtig argumentieren bzw. begründen.

## 4.2 Erwartungshorizont (Inhaltlich)

### Aufgabe 1:

Moleküle können elektronisch-, schwingungs- und rotationsangeregt werden. Die Energiewerte der Rotationsanregung sind dabei kleiner als die der Schwingungsanregung und die sind wiederum kleiner als die der elektronischen Anregung. Die Energieaufnahme durch Licht wird Absorption genannt.

### Aufgabe 2:

Die SuS führen den Versuch wie beschrieben durch. Der Strahl des Laserpointers ist vor und nach dem Kolben grünlich, lediglich im Kolben ist der Strahl der Laserpointer orangefarben. Nach Entfernung des Vakuums ist kein orangefarbener Strahl mehr zu sehen.

### Aufgabe 3:

Das Vakuum ist eine notwendige Voraussetzung für die Fluoreszenz von Iod. Durch die Anwesenheit von anderen Stoßpartnern kommt es zu einem Quenching-Effekt. Die Energie des angeregten Fluorophors wird auf den Stoßpartner übertragen. Dieser Vorgang findet ohne Emission von Licht statt. Die Fluoreszenz hingegen ist eine Abregung unter Emission von Licht.