



**DEUTSCHE
GESELLSCHAFT FÜR
ZERSTÖRUNGSFREIE
PRÜFUNG E.V.**

ZfP-Sonderpreis der DGZfP beim Regionalwettbewerb Jugend forscht

NORDHAUSEN

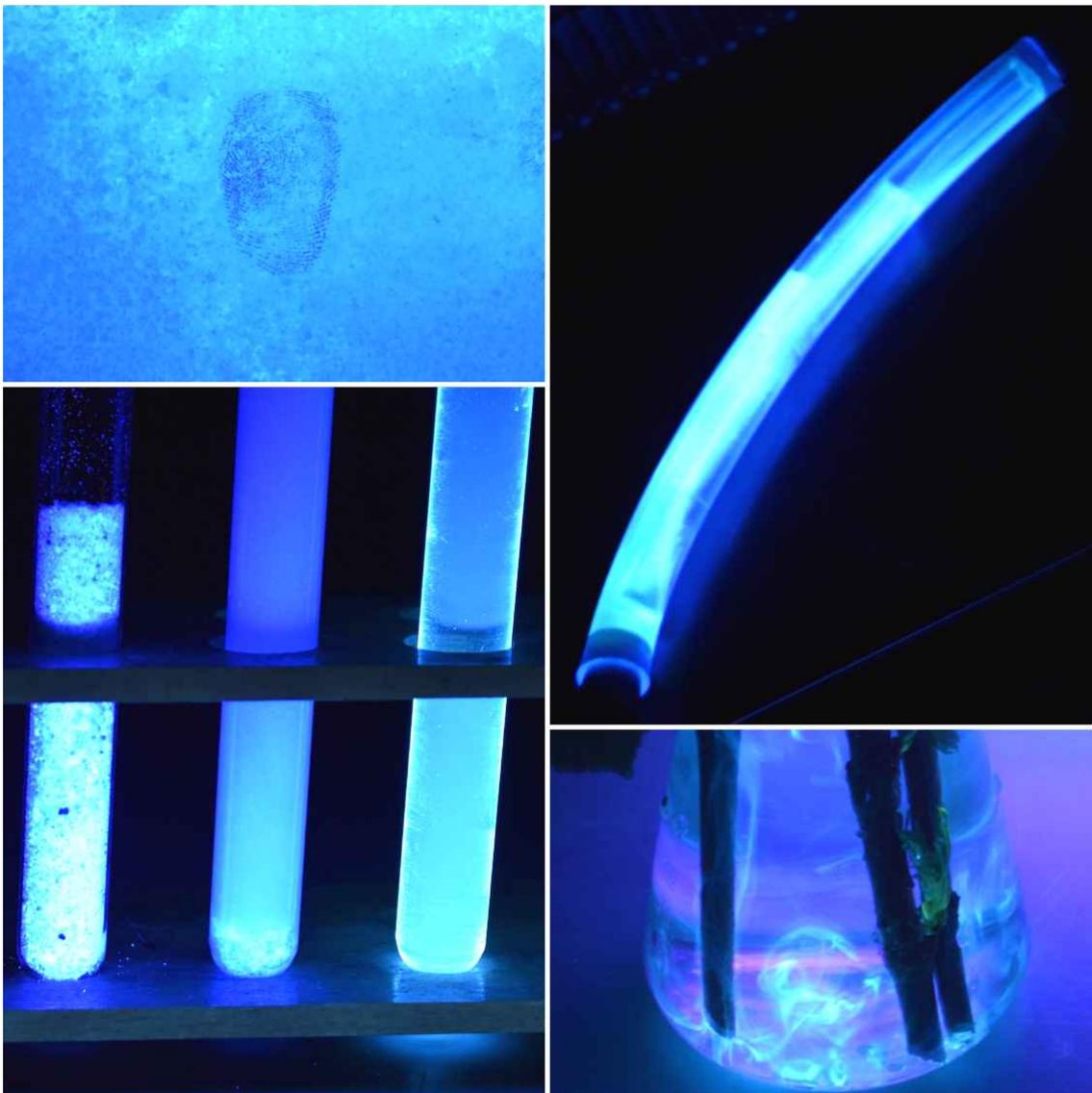
Die Kraft des Leuchtens - Lumineszenz und Fluoreszenz an ausgewählten Beispielen

Solveig Möller
Kathleen Müller
Lisa Steindorf

Schule:

Kyffhäuser-Gymnasium
Bad Frankenhausen

**Die Kraft des Leuchtens -
Lumineszenz und Fluoreszenz an ausgewählten
Beispielen**



Datenblatt

Projekttitlel:

Die Kraft des Leuchtens - Lumineszenz und Fluoreszenz an ausgewählten Beispielen

Kurzfassung:

In der Projektarbeit haben wir die drei großen Teilgebiete Fluoreszenz, Chemolumineszenz und Kriminalistik bearbeitet. Hierzu wurden theoretische Recherchen der naturwissenschaftlichen Hintergründe betrieben, um die Ursachen der genannten Prozesse zu analysieren und diese zu begründen. Dabei halfen selbst ausgeführte Experimente, beispielsweise mit Luminol oder Chinin.

Teilnehmer:

Gruppensprecher Solveig Möller, 06567 Bad Frankenhausen (Kyffhäusergymnasium Bad Frankenhausen, 06567 Bad Frankenhausen)

Teilnehmer 2 Kathleen Müller, 06577 Heldrungen (Kyffhäusergymnasium Bad Frankenhausen, 06567 Bad Frankenhausen)

Teilnehmer 3 Lisa Steindorf, 06567 Bad Frankenhausen (Kyffhäusergymnasium Bad Frankenhausen, 06567 Bad Frankenhausen)

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	5
2 Fluoreszenz	5
2.1 Erklärung des Begriffes	5
2.2 Voraussetzungen der Reaktionen	5
2.3 Allgemeiner Reaktionsmechanismus	6
2.4 Fluoreszenzlöschung - das Licht erlischt	6
2.5 Chinin - ein Fluoreszenzstoff	7
2.6 Optischer Aufheller - weißer als weiß	8
3 Chemolumineszenz - das „kalte Licht“	9
3.1 Erklärung des Begriffes	9
3.2 Voraussetzungen der Reaktionen	9
3.3 Allgemeiner Reaktionsmechanismus	10
3.4 Luminol - ein Chemolumineszenzstoff	10
3.5 Das Knicklicht - eine Anwendung der Chemolumineszenz	12
4 Kriminalistik - als Anwendung der Lumineszenz	14
4.1 Die Rechtsmedizin - ein Teilgebiet der Forensik	14
4.2 Der Fingerabdrucknachweis - ein alltägliches Hilfsmittel der Kriminalpolizei	14
4.2.1 Der Fingerabdrucknachweis mithilfe von Silbernitrat	14
4.2.2 Der Fingerabdrucknachweis mithilfe von Ninhydrin	15
4.3 Der Blutspurennachweis - ein alltägliches Hilfsmittel der Rechtsmedizin Jena	15
4.3.1 Der Blutspurennachweis mit Fluorescein - eine schulische Möglichkeit	16
4.3.2 Der Blutspurennachweis mit Luminol - eine schulische Möglichkeit	18
5 Fazit und Schlussbemerkungen	19
Anhang	20
Auswertung der Experimente/ Protokolle	20
Experiment 1: Fluoreszenz des Stoffes Chinin - Limptar [®] N- Tabletten	
Experiment 2: Fluoreszenz des Stoffes Chinin - Erfrischungsgetränke	
Experiment 3: Optischer Aufheller im Vollwaschmittel	
Experiment 4: Chemolumineszenz von Luminol und Einfärbung mit Farbstoffen	
Experiment 5: Licht zum Mitnehmen	
Experiment 6: Selbstgebaute Knicklichter	
Experiment 7: Der Fingerabdrucknachweis mithilfe von Silbernitrat	
Experiment 8: Der Blutspurennachweis mithilfe des Leukofluorescein- Tests	
Experiment 9: Der Blutspurennachweis mithilfe von Luminol	
Bildmaterial	34
Danksagung	46

Literaturverzeichnis	47
Quellenverzeichnis	51
Eigenständigkeitserklärung	52

1 Einleitung

Sobald das Wort „Licht“ erwähnt wird, bringt jeder Mensch dies beispielsweise in Verbindung mit Glühlampen, Kerzen oder der Sonne. Jedoch thematisiert diese Facharbeit nicht die vorher genannten Arten des Lichtes, sondern drei verschiedene Prozesse, in deren Verlauf Licht sichtbar wird. Zum einen der Vorgang, bei dem durch die Anregung mit UV-Licht verschiedene Substanzen zum Leuchten gebracht werden, die sogenannte Fluoreszenz. Zum anderen die Chemolumineszenz, bei der durch Reaktionen verschiedener chemischer Substanzen Licht abgesondert wird. Des Weiteren die Nutzung dieser genannten chemischen Verfahren zur Lichterzeugung in Organismen, bezeichnet als Biolumineszenz.

Aufgrund des zeitlichen Rahmens und des Umfanges der Facharbeit muss jedoch erwähnt werden, dass der Schwerpunkt dieser auf den zuvor beschriebenen Themen liegt, wobei noch weitere existierende Arten der Lumineszenz vernachlässigt werden mussten.

Zusätzlich thematisiert diese Arbeit die Kriminalistik, welche ein wichtiges Anwendungsbeispiel der Lumineszenz darstellt.

Gegenwärtig wird die Thematik der Facharbeit auch durch Wissenschaftler aus aller Welt erforscht, was die Relevanz dieses Themas deutlich beweist.

Mit dieser Ausarbeitung soll eine theoretische Recherche von naturwissenschaftlichen Hintergründen betrieben werden, um die Ursachen der genannten Prozesse zu analysieren und diese zu begründen. Dabei hilft die Strukturaufklärung der Leuchtstoffe und selbst ausgeführte Experimente mit deren Auswertungen. Die qualitativen und quantitativen Versuche beinhalten unter anderem den Blutnachweis mit Luminol, die Fluoreszenz von Getränken sowie von Waschmitteln und es wurden außerdem eigene Knicklichter nach dem handelsüblichen Vorbild hergestellt.

Darüber hinaus wurden weitere Informationen bei einem Besuch in der Rechtsmedizin Jena, dem Biotechnikum und bei einem E-Mail-Austausch mit einem Kriminalhauptkommissar gesammelt.

2 Fluoreszenz

2.1 Erklärung des Begriffes

Der Begriff Fluoreszenz stammt ursprünglich von dem fluoreszierenden Mineral Fluorit ab und stellt eine Unterform der Lumineszenz dar.¹ Dies ist eine

„spontane Emission von Licht, welche beim Übergang eines elektronisch angeregten Systems wieder in den Zustand niedrigerer Energie erfolgt“.²

Hierbei ist die emittierte Wellenlänge der Fluoreszenz meist größer, als die Wellenlänge der Anregungsenergie. Die Zeit, welche für eine Anregung benötigt wird, beträgt 10^{-15} bis 10^{-14} Sekunden, dies entspricht dem Billiardstel einer Sekunde.³ Die Fluoreszenz ist außerdem dadurch gekennzeichnet, dass diese nach der Beendigung der Bestrahlung, welche durch eine geeignete Lichtquelle geschieht, rasch endet.⁴

2.2 Voraussetzungen der Reaktion

Damit eine starke und sichtbare Fluoreszenz erfolgen kann, sind einige Voraussetzungen zu erfüllen. Für das Hervorrufen einer Fluoreszenz wird eine geeignete Lichtquelle benötigt. Hierbei eignet sich eine UV-Lampe besonders, da die meisten Stoffe eine Absorptionsbande im UV-Bereich von λ (Lambda) = 380 nm bis λ = 1 nm besitzen.⁵

Des Weiteren muss für die Fluoreszenz eine Absorption von Strahlung erfolgen. Ausschlaggebend für diese im sichtbaren und ultraviolettem Bereich sind die π - π^* -Übergänge. Das bedeutet, das Molekül erscheint farbig, wenn die Energie der π - π^* -Übergänge im sichtbaren Bereich des Lichts liegt.³⁹

Des Weiteren beschränkt sich die Fluoreszenz auf Verbindungen mit einem System konjugierter Doppelbindungen. Das bedeutet, dass nur Moleküle mit einer konjugierten Doppelbindung für eine Fluoreszenz geeignet sind. Hierbei sind die Atome leicht anzuregen, da die Elektronen über mehrere

Atome verteilt sind.⁶

Ein Parameter für die Fluoreszenzreaktion ist die Quantenausbeute Φ_F . Diese

„gibt das Verhältnis aus emittierten zu absorbierten Photonen an“.⁷ Die Fluoreszenzintensität ist in stark verdünnten Lösungen direkt proportional zu der Intensität der anregenden Strahlung.⁸

2.3 Allgemeiner Reaktionsmechanismus

„Energie wird in Form von energiereichem Licht absorbiert, vorallem durch UV- Licht. Durch die Absorption der Photonen, gelangen die Teilchen des Stoffs (Moleküle) in einen energetisch höheren Zustand. Photonen haben Elektronen der Teilchen von ihrem Grundzustand auf höhere Energieniveaus gebracht.“⁹

Diese Zustände sind nicht sehr stabil, deshalb wird ein Teil der Energie, beispielsweise durch Bewegungen oder Schwingungen abgegeben bis sich die angeregten Elektronen im niedrigsten angeregten Zustand, dem Singulett- Zustand (S_1) befinden. Vom S_1 - Zustand gehen Elektronen wieder in ihren Grundzustand (S_0) über, indem sie ihre restliche Energie in Form von Licht abgeben. Energie des abgegebenen Lichts ist kleiner als vorher aufgenommene Energie, aber genauso viel, dass Licht im sichtbaren Bereich erhalten wird. Durch das energiereiche Licht erfolgt eine Anregung. Die Abgabe erfolgt sehr schnell danach, deshalb ist Affekt auch recht schnell vorbei.¹⁰

Die Wahrscheinlichkeit, tatsächlich mit der Anregung eines Fluorophors zur Emission eines Fluoreszenzphotons führt, nennt man Quantenausbeute.¹¹

2.4 Fluoreszenzlöschung - das Licht erlischt

Der Begriff Fluoreszenzlöschung (oder auch Quenching) bezeichnet verschiedene Vorgänge, deren Folge es ist, dass die Fluoreszenzintensität eines Fluorophors abnimmt.¹² Der angeregte Zustand des Fluorophors wird deaktiviert, aber die Absorption des anregenden Lichts bleibt unverändert. So absorbiert zum Beispiel Chinin in Natriumsulfatlösung genau so viel Licht wie in Kaliumchloridlösung, wobei sich allerdings die Fluoreszenzintensität deutlich unterscheidet.¹³

Die Fluoreszenzlöschung kann dabei auf verschiedene Weise stattfinden und daraus resultieren mehrere Arten. Die typischsten sind die Eigenlöschung (oder Konzentrationslöschung), bei der durch eine Erhöhung der Konzentration des fluoreszierenden Stoffes, die Intensität des Leuchtens abnimmt, die Temperaturlöschung durch eine Erhöhung der Temperatur und die Fremdlöschung, die durch andere Stoffe (Löcher oder Quencher genannt) erfolgt.¹⁴ (siehe Experiment 1)

Die Eigenlöschung geschieht durch eine teilweise Absorption des anregenden Lichts, wodurch die Fluoreszenzintensität gemindert wird. Bei dieser Art der Löschung existieren weitere Typen, eine ausführliche Nennung erfolgt jedoch aufgrund der Vielzähligkeit nicht. Im Allgemeinen hängen sie jedoch von Einflüssen wie beispielsweise Temperatur, Lösungsmittelviskosität oder Änderung der Fluoreszenzdauer ab, während sich das Verhalten der verschiedenen Fluoreszenzmoleküle gegenüber den Faktoren stark unterscheidet.¹⁵

Die Fremdlöschung kann unter anderem noch einmal in statische und dynamische Löschung unterschieden werden. Bei der statischen Löschung bilden das Löschermolekül und das Fluorophor einen nichtfluoreszierenden Komplex, wodurch die Fluoreszenz ganz ausbleibt oder verringert wird. Bei der dynamischen Löschung kollidieren Löschermolekül und das angeregte Fluorophor, wobei die Energie auf das Löschermolekül übertragen wird und letztendlich in Wärme übergeht.¹⁶

„Beide Prozesse hängen von der Konzentration der löschenden Moleküle ab und erfordern den direkten Kontakt zwischen Fluorophor und Löcher.“¹⁷

Fluoreszenzlöcher sind zum Beispiel Halogenidionen (Chlorid, Bromid, Iodid).
(siehe Experiment 1, c)

Die Fluoreszenzlöschung durch einen Löcher ist dabei reversibel. Sobald der Quencher entfernt wird, steigt die Fluoreszenzintensität wieder an.¹⁸ Dies konnte durch die durchgeführten Experimente mit den Limptar[®]N- Tabletten (siehe Experiment 1) bestätigt werden.

2.5 Chinin - ein Fluoreszenzfarbstoff

Der bekannte Fluoreszenzfarbstoff Chinin ($C_{20}H_{24}N_2O_2$) ist ein weißes, sehr schwer in Wasser lösliches, kristallines Pulver und zeichnet sich besonders durch einen stark bitteren Geschmack aus. Unter UV-Licht in saurer Lösung fluoresziert es in einem hellen Blau. Die französischen Apotheker Pelletier und Caventou isolierten das Chinin 1820 aus der Rinde der Chinarindenbäume (beispielsweise *Chinchona pubescens*), in welchen es als Alkaloid vorkommt. 1824 gelang dann dem deutschen Apotheker F. Koch die erste fabrikmäßige Extraktion der Chinarinde, um reines Chinin zu gewinnen.¹⁹

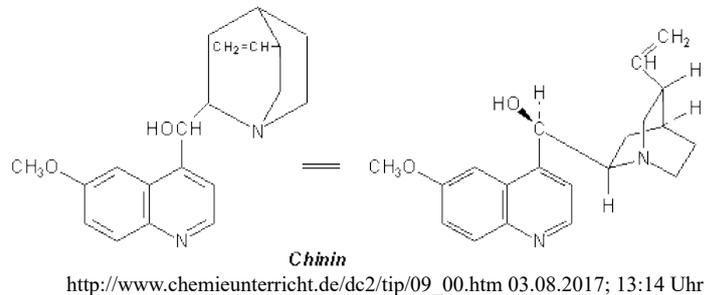


Abb.1: Struktur des Chinins

Chinin wird in der Medizin verwendet und dient zur Prophylaxe und Bekämpfung des Sumpffiebers (Malaria). Die Plasmodien können bei einem Stich der Anophelesstechmücke auf den Menschen übertragen werden.²⁰ Das Chinin hemmt den Entwicklungszyklus des Erregers und wirkt auf ihn letal. Außerdem senkt es das Fieber²¹, wirkt schmerzstillend und muskelentspannend. Aufgrund dessen wird es auch gegen Wadenkrämpfe verschrieben.²²

In Lebensmitteln wird Chinin (meist als Chininsulfat) wegen des charakteristisch bitteren Geschmacks einigen alkoholfreien Erfrischungsgetränken, zum Beispiel Tonic Water und verschiedenen Spirituosen, zugesetzt.²³ Lebensmittel, die Chinin enthalten, müssen im Zutatenverzeichnis auf der Verpackung als „Aroma Chinin“ oder „chininhaltig“ gekennzeichnet werden²⁴ und können unter UV-Licht auf Verwendung von Chinin geprüft werden. (siehe Experiment 2)

Die erlaubten Höchstmengen an reinem Chinin liegen in alkoholfreien Getränken bei maximal 100 mg/l und in Spirituosen bei maximal 250 mg/l.²⁵ Im erlaubten Rahmen steht es den Herstellern jedoch frei, wie viel Chinin sie verwenden wollen und so ergeben sich Unterschiede im Geschmack der chininhaltigen Getränke, beispielsweise sind in den im Experiment verwendeten Getränken "Tonic Water" der Firma Schweppes® 68 mg/l²⁶ und "Tonic Water" der Firma River 54 mg/l²⁷ Chinin enthalten. Die Höchstmengen sind damit zu begründen, dass große Mengen (etwa 8-10 g) letal wirken können, da es sich bei Chinin um ein Zellgift handelt, welches enzymatische Vorgänge hemmen kann.²⁸

Eine weitere Besonderheit des Chinins, neben dem Geschmack, ist der Effekt einer blauen Fluoreszenz, der besonders in Discos, welche häufig mit Schwarzlicht beleuchtet werden, auftritt. Für diesen Effekt, die Fluoreszenz, ist die Struktur des Chinin-Moleküls verantwortlich (siehe Abb.1), welches das UV-Licht aufnimmt. Durch das Absorbieren der Photonen aus dem UV-Licht werden die Elektronen im Chininmolekül angeregt und erreichen dadurch ein höheres Energieniveau. Das sichtbare Leuchten entsteht dadurch, dass die Elektronen das Energieniveau nicht halten können und auf ihr ursprüngliches Energieniveau zurückfallen. „Die aufgenommene Energie wird wieder freigesetzt – es kommt zur Emission von Licht.“²⁹ Es erscheint blau, da das emittierte Licht nicht genau so energiereich ist, wie das UV-Licht, welches zur Anregung verwendet wurde. Das nun sichtbare Licht hat eine andere Wellenlänge, als das unsichtbare UV-Licht. Es liegt im blauen Spektralbereich.³⁰ Selbst bei einer Verdünnung von 1:100.000 fluoresziert das Chinin noch sichtbar.³¹ Die Fluoreszenz des Chinins weist weitere Besonderheiten auf: Sie kann beispielsweise durch Halogenid-Ionen gelöscht werden, weswegen Chinin auch als Sensor für Chlorid-Ionen verwendet werden kann.³² (siehe Experiment 1, c) Die Fluoreszenzlöschung des Chinins kann als ein dynamischer Prozess (siehe 2.4), der die Bildung eines aktivierten Komplexes beinhaltet, dessen

Deaktivierungsgeschwindigkeit von der Ionenstärke der Löscherionen abhängig ist, beschrieben werden. Das Halogenid-Ion Bromid löscht das Chinin noch effizienter und 28 % schneller, als die Chlorid-Ionen.³³

Außerdem ist die Fluoreszenz des Chinins vom pH-Wert der Lösung abhängig, denn der Stoff fluoresziert nur im sauren Bereich (pH-Wert 1-6), wie es auch im Experiment (siehe Experiment 1, b) zu erkennen ist.

Dies ist mit der Struktur des Chinins zu erklären. Es besitzt zwei Stickstoffatome, eines der beiden in einem nichtaromatischen Ringsystem und das andere in einem aromatischen Ringsystem. Beide reagieren basisch, sind also Protonenakzeptoren oder, nach Lewis, Elektronenpaardonatoren. Wird die wässrige Lösung von Chinin angesäuert, lagern sich Protonen zuerst an das nichtaromatische und dann an das aromatische Stickstoffatom an, diese werden protoniert und es bilden sich Kationen. Durch die Protonierung der Stickstoffatome verändert sich die Elektronenverteilung im Molekül und die Emission von Licht verschiebt sich in den sichtbaren Bereich. In einer basischen Lösung wird die Protonierung aufgehoben (die Lösung wird neutralisiert). Es bildet sich die ursprüngliche Elektronenverteilung wieder heraus und die Emission erfolgt im nicht sichtbaren Bereich. Deshalb erlischt die Fluoreszenz im basischen Bereich (pH-Wert über 7).³⁴

Aufgrund dieser Abhängigkeit ist auch eine andere Intensität des Leuchtens von verschiedenen Getränken, die Chinin enthalten, nachzuweisen. So leuchtet ein Getränk, welches durch andere Zusätze einen niedrigeren pH-Wert hat stärker, als ein Getränk mit höherem pH-Wert. (siehe Experiment 2)

In den durchgeführten Experimenten wurde Chininsulfat verwendet, da dieses eine bessere Wasserlöslichkeit besitzt, als reines Chinin.

2.6 Optische Aufheller - weißer als weiß

Natürliche Fasern, wie beispielsweise Baumwolle, erscheinen von Natur aus mehr beige bis gelb und nicht strahlend weiß, wie es heutzutage gewünscht wird. Um den Weißheitsgrad und die Helligkeit der Wäsche zu erhöhen und der Vergilbung entgegenzuwirken, werden optische Aufheller verwendet. Darunter werden Stoffe verstanden, die UV-Licht absorbieren und blaues Licht emittieren.³⁵ Dieser Effekt ist dort gut zu beobachten, wo Materialien mit UV-Licht bestrahlt werden. So scheint zum Beispiel in einer Diskothek alles, was bei Tageslicht weiß ist, blau zu leuchten, beispielsweise weiße T-Shirts oder Schnürsenkel.³⁶

Wird ein Kleidungsstück mit optischen Aufhellern behandelt, die in Vollwaschmitteln enthalten sind, verbindet sich der Aufheller mit den Textilfasern³⁷ und es findet, unter Einwirkung von UV-Licht, eine Fluoreszenzreaktion statt. Doch nicht nur das behandelte Kleidungsstück leuchtet. Wird Vollwaschmittel, welches optischen Aufheller enthält, mit UV-Licht bestrahlt, strahlt das reine Waschmittel genau so stark in einem hellen Weiß-Blauton, wie Vollwaschmittel in einer Lösung mit Wasser und wie das Kleidungsstück, welches mit dem Waschmittel gewaschen wurde. (siehe Experiment 3)

Der Effekt geschieht dadurch, dass der Aufheller unsichtbares, kurzwelliges UV-Licht (bei 290- 400 nm) absorbiert und den größten Teil davon als sichtbares blaues Fluoreszenzlicht (bei 400- 480 nm) emittiert.³⁸ Dadurch „erhöht sich die Reflexion auf über 100 %“⁴⁰ und das mit optischem Aufheller behandelte Material erscheint heller, in einem strahlenden Weiß und sogar nahezu „weißer als weiß“.⁴¹

Dies funktioniert nicht nur in der Disco, sondern ebenso bei Tageslicht, denn auch das natürliche Licht der Sonne enthält zu etwa 3-5 % UV-Licht⁴², welches den optischen Aufheller anregt und so eine leicht bläuliche Emission erfolgen lassen kann.

Auch die blaue Farbe des leuchtenden Aufhellers wirkt zusätzlich durch dessen Komplimentärfarbenwirkung dem Gelbstich der Wäsche entgegen⁴³ und es erfolgt eine

„Umtönung von gelblichen Farbnuancen in ein blaunuanciertes Weiß, da das menschliche Auge blaue Farbtöne wesentlich intensiver erfasst und mit Weiß assoziiert.“⁴⁴

Früher wurde dies mithilfe blauer Farbstoffe (zum Beispiel Waschblau, auch Ultramarin genannt)

erreicht, die beim Waschen hinzugegeben wurden.⁴⁵

Der Effekt der optischen Aufhellung, die eine bessere Wirkung, als bloße Einfärbung erzielt, weil die optischen Aufheller auch nicht so schnell ausgewaschen werden können,

„wurde erstmals von P. Kraus entdeckt, der Wolle und Flachs mit Aesculin- haltigen Extrakten der Roßkastanie versetzte und eine deutliche optische Aufhellung erzielte.“⁴⁶

Der erste industriell hergestellte Aufheller (Methylumbelliferon, C₁₀H₈O₃) wurde von diesem Fluoreszenzfarbstoff, Aesculin, abgeleitet und ist heute einer von circa 400 verschiedenen optischen Aufhellern, die sich in sechs Gruppen einteilen lassen.⁴⁷ (siehe Bildmaterial M1)

Optische Aufheller werden jedoch nicht nur zur Behandlung von Kleidungsstücken und in der Waschmittelindustrie genutzt. Während sie für Buntwäsche nicht verwendet werden sollten, da die Farben unter Beimischung der Aufheller verblassen können⁴⁸, enthalten die meisten weißen Materialien heute optische Aufheller. So werden sie auch beispielsweise bei der Herstellung der meisten Papierarten (zum Beispiel Magazin-, Briefmarken- oder Plakatpapier) und in der Kunststoffindustrie eingesetzt.⁴⁹

3 Chemolumineszenz - das „kalte Licht“

3.1 Erklärung des Begriffes

Im Begriff Chemolumineszenz ist das lateinische Wort „lumen“ enthalten, das auf deutsch „Licht“ bedeutet und sofort auf eine wichtige Eigenschaft der Chemolumineszenz verweist.⁵⁰ Diese Eigenschaft beruht darauf, dass durch eine freiwillige chemische Reaktion und ohne äußere Energiezufuhr (beispielsweise durch Bestrahlung mit UV-Licht oder durch Erhöhung der Temperatur) sichtbares Licht emittiert wird.⁵¹

Dadurch, dass die Temperatur einer Chemolumineszenzreaktion „deutlich unterhalb der Glühtemperatur der beteiligten Substanzen.“⁵² liegt, also keine Wärmeentwicklung stattfindet, wird das emittierte Licht auch als „kaltes Licht“ bezeichnet.⁵³

Hier und in den folgenden Ausführungen wird der Ausdruck Chemolumineszenz genutzt, wobei der Begriff Chemilumineszenz auch synonym verwendet werden kann.⁵⁴

3.2 Voraussetzungen der Reaktionen

Damit eine relativ starke und gut sichtbare Chemolumineszenz erfolgen kann, sind einige Voraussetzungen zu erfüllen.

Die Reaktion muss exergon sein und in einem Schritt Energiebeträge freisetzen, die zur Anregung der Elektronen genügen. Das sind etwa 175 kJ/mol, um rotes Licht mit einer Wellenlänge von 770 nm zu emittieren und etwa 300 kJ/mol, um blauviolett Licht mit einer Wellenlänge von 380 nm zu emittieren. Diese Energiefreisetzung muss auf einmal, also nicht in mehreren Stufen stattfinden.⁵⁵ Des Weiteren müssen Atome oder Moleküle enthalten sein,

„die sich unter den gegebenen Bedingungen in einen geeigneten elektronisch angeregten Zustand überführen lassen“,⁵⁶ sich also durch die Reaktion anregen lassen.

Ein Maß für den Wirkungsgrad einer chemolumineszenten Reaktion ist die Quantenausbeute (Φ_{CL}), das heißt die Anzahl der ausgesendeten Lichtteilchen (Photonen) pro reagierenden Molekül.

$$\Phi_{CL} = \Phi_R * \Phi_{ES} * \Phi_F$$

Φ_R = Ausbeute an Reaktionsprodukt

Φ_{ES} = Ausbeute an Reaktionsprodukt im elektronisch angeregtem Zustand

Φ_F = Fluoreszenzquantenausbeute⁵⁷

Die meisten starken Chemolumineszenzen sind Oxidationsreaktionen unter Beteiligung von Sauerstoff.⁵⁸

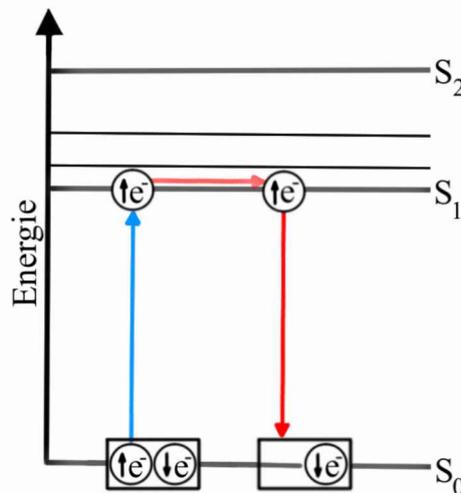
3.3 Allgemeiner Reaktionsmechanismus

Die Chemolumineszenz ist eine Lumineszenzart und gleicht in ihrem Reaktionsmechanismus (siehe Abb.: 2) stark der Fluoreszenz. Der Unterschied zu dieser liegt jedoch bei der Anregung der Teilchen. Dies geschieht bei der Chemolumineszenz durch eine chemische Reaktion.

Die meisten Moleküle befinden sich in ihrem Normalzustand im Singulett- Grundzustand (S_0) und dort ist ein Orbital von zwei Elektronen mit antiparallelen Spins besetzt. Durch eine chemische Reaktion werden die Moleküle oder Atome angeregt, nehmen also Energie auf. Ein Elektron wird dabei auf einen höheren Energiezustand, einen angeregten Singulett- Zustand (S_1) befördert (siehe blauer Pfeil, Abb.: 2) und verliert so schon etwas der Energie, die es aufgenommen hat.⁵⁹

„Das Elektron besetzt nun ein vom Kern weiter entferntes Orbital als zuvor. Der Spin des Elektrons und somit der Gesamtspin ändert sich nicht.“⁶⁰

Der höhere S_1 - Zustand kann allerdings nicht aufrecht erhalten werden, da dieser instabil und dementsprechend kurzlebig ist. Deswegen fällt das Elektron, unter Abgabe von weiterer Energie, zurück in den Singulett- Grundzustand (siehe roter Pfeil, Abb.: 2). Diese Energie ist die typische Emission von Licht im infraroten, ultravioletten oder sichtbaren Spektrum, wobei hier dem infraroten und ultravioletten Bereich keine weitere Aufmerksamkeit geschenkt wird. Die emittierte Strahlung ist energieärmer, als die Energie, welche zur Anregung benötigt wurde.⁶¹



Eigene Darstellung nach <https://youtu.be/-qKgBIF7tAo> 01.08.2017; 15:29 Uhr

Abb.2: Allgemeiner Reaktionsmechanismus einer Chemolumineszenzreaktion

Auch Triplett- Zustände sind möglich, doch in den meisten Fällen ist von Singulett- Zuständen auszugehen. Triplett- Zustände sind zu langlebig für die Chemolumineszenz, weswegen nur eine strahlungslose Desaktivierung, also eine Löschung des Lichtes stattfindet.⁶²

3.4 Luminol - ein Chemolumineszenzstoff

Der wohl berühmteste Chemolumineszenzstoff ist das Luminol ($C_8H_7N_3O_2$), auch unter dem Namen 5-Amino-2,3-dihydrophthalazin-1,4-dion oder 3-Aminophthalhydrazid bekannt. Der Trivialname Luminol wird von dessen Eigenschaft, Licht zu emittieren, also zu lumineszieren (Chemolumineszenz) hergeleitet.⁶³

Luminol wurde im späten neunzehnten Jahrhundert entdeckt, doch für etwa ein halbes Jahrhundert blieb es für Chemiker ohne Nutzen. Erst der deutsche Chemiker Herbert Otto Albrecht⁶⁴ (Lebensdaten nicht bekannt) stellte 1928 fest, dass der Stoff bei Zugabe von Wasserstoffperoxid ein helles Leuchten hervorbringt.⁶⁵

Das in Reinform gelb-weißliche, kristalline Pulver ist in reinem Wasser unlöslich, löst sich aber in

organischen Lösungsmitteln und alkalischen, wässrigen Lösungen. Die Darstellung von Luminol geschieht durch eine Nitrierung von Phthalsäure (siehe Abb.: 3, I) zu 3 Nitrophthalsäure (siehe Abb.: 3, II), die dann mit Hydrazin zu 3-Nitrophthalsäurehydrazid (siehe Abb.: 3, III) umgewandelt und durch Natriumdithionit zu Luminol (siehe Abb.: 3, IV) reduziert wird.⁶⁶ Es gibt noch weitere Darstellungsverfahren, auf die hier aber nicht weiter eingegangen werden soll.

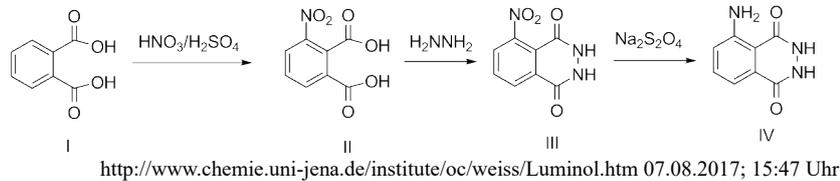


Abb.3: Darstellung von Luminol

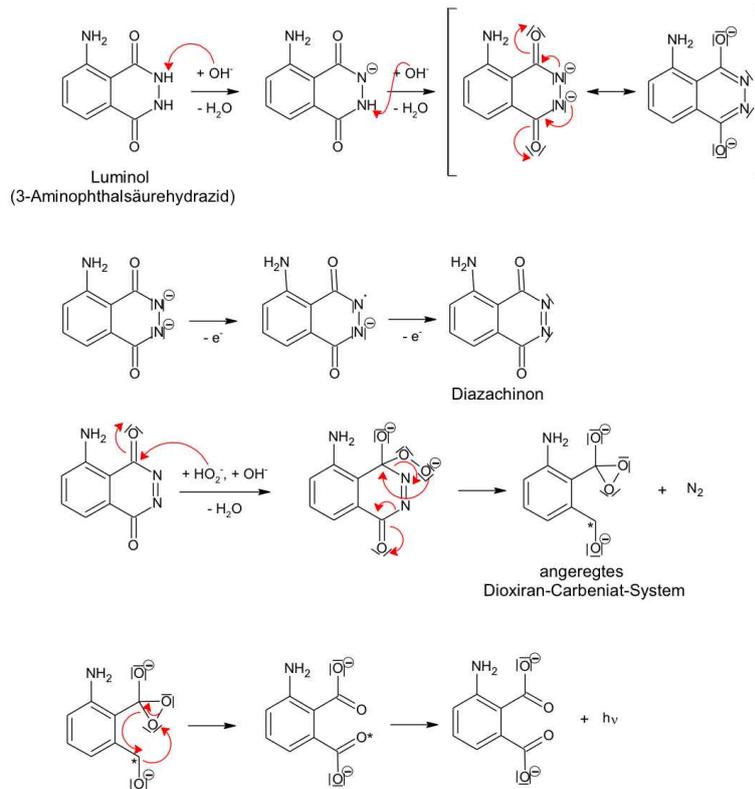
Die Chemolumineszenz des Luminol tritt nur in alkalischer Lösung auf, wenn es mit einem Oxidationsmittel und Schwermetall- Ionen reagiert.⁶⁷

Es handelt sich hier um eine Oxidationsreaktion, die durch Peroxide (beispielsweise Wasserstoffperoxid) in alkalischer Lösung gestartet wird und sehr langsam erfolgt, wobei das emittierte Licht mit bloßem Auge kaum sichtbar wird. Deswegen kommen verschiedene Schwermetallkatalysatoren, wie Kupfer- oder Eisenkomplexe zum Einsatz, solche sind zum Beispiel Kaliumhexacyanoferrat-(III) ($K_3[Fe(CN)_6]$) oder das, aus dem Hämoglobin des Blutes stammende Häm. Die Katalysatoren beschleunigen die Reaktion,⁶⁸

„so dass genügend Photonen pro Zeiteinheit freigesetzt werden und man die blaue Chem[i]olumineszenz gut sehen kann.“⁶⁹

Mit Hilfe der Katalysatoren erfolgt also die Chemolumineszenz sehr schnell, allerdings ist die Abklingzeit auch deutlich kürzer.

„Für die Luminolreaktion werden verschiedene Mechanismen postuliert, bei denen unklar ist, ob radikalische Zwischenstufen auftreten oder nicht. Hier soll nun ein Mechanismus angegeben werden, der von zwei nacheinander ablaufenden Ein-Elektronen- Oxidationen ausgeht. Die Hydroxid-Ionen deprotonieren in einem ersten Schritt am Hydrazid, sodass ein Dianion gebildet wird, welches über Mesomerie stabilisiert wird. Durch die Ein- Elektronen- Übergänge kommt es zur Bildung des Diazachinons. Dieses kann im Folgenden durch das Hydroperoxid-Anion angegriffen werden, so dass sich eine Luminolperoxid-Verbindung bildet. Die anschließende Dreiringbildung führt unter Abspaltung von Distickstoff zu einem angeregten Dioxiran-Carbeniat-System, das unter Ringöffnung zum angeregten Dicarboxylat führt. Dieses kehrt schließlich unter Lichtemission in den elektronischen Grundzustand zurück.“⁷⁰ (siehe Abb.: 4)



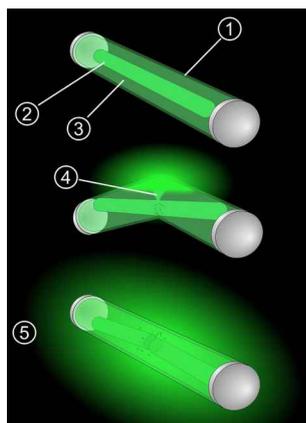
http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 06.08.2017; 17:49 Uhr

Abb.4: Reaktionsmechanismus der Luminolreaktion

Auch eine Änderung der Farbe der Chemolumineszenz des Luminols ist möglich. Dazu können Farbstoffe, wie zum Beispiel Fluorescein oder Rhodamin B verwendet werden. (siehe Experiment 4) Luminol kann unter anderem zur Herstellung von Kaltlichtfackeln genutzt werden⁷¹, in der biochemischen und medizinischen Analytik für den Nachweis von beispielsweise Wasserstoffperoxid oder Singulett- Sauerstoff in Zellen und Geweben, oder im Bereich der Kriminalistik, als Nachweis für Blut.⁷² (siehe 4.3.2) Dabei spielt die Chemolumineszenz eine große Rolle, die bei Kontakt von Luminol mit den jeweilig nachzuweisenden Substanzen eintritt.

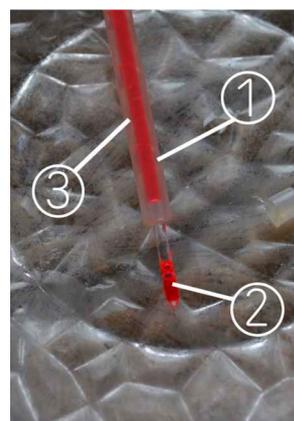
3.5 Das Knicklicht - eine Anwendung der Chemolumineszenz

Knicklichter, oder auch Leuchtstäbchen genannt, sind dünne Stäbe, die von allein farbig zu leuchten beginnen, wenn sie geknickt werden. Diese Eigenschaft fasziniert die Menschen, macht die Stäbe somit beliebt auf Partys oder bei Kindern und beruht auf dem Prinzip der Chemolumineszenz. Die Stäbe bestehen außen aus bruchfestem, biegsamen Plastik (siehe Abb. 5a/b, 1) und haben im Inneren ein abgedichtetes Röhrchen aus Glas, wodurch zwei getrennte Kammern entstehen. In beiden Kammern ist jeweils eine Chemikalienlösung enthalten. Meist ist innen ein Oxalsäureester mit einer fluoreszierenden Farbstofflösung (siehe Abb. 5a/b, 2) und außen Wasserstoffperoxid (siehe Abb. 5a/b, 3). Die Abtrennung durch das Glasröhrchen dient dazu, dass die beiden Chemikalien nicht schon vor beabsichtigter Verwendung miteinander in Kontakt treten und so schon zu früh reagieren.⁷³



<https://www.simplyscience.ch/teens-wissen/articles/wie-funktioniert-ein-knicklicht.html>
01.10.2017; 17:19 Uhr

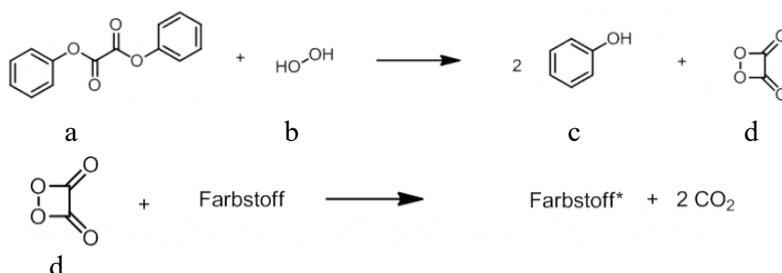
Abb.5a: Aufbau eines Knicklichtes im Modell



Eigenes Foto aus Bildsammlung
12.08..2017; 15:21 Uhr

Abb.5b: Aufbau eines herkömmlichen Knicklichtes

Beim Knicken zerbricht das dünne Glasröhrchen (siehe Abb. 5a, 4) und gibt die Chemikalienlösung aus seinem Inneren frei, die mit der zweiten Chemikalienlösung in Kontakt kommt. Sie vermischen sich und es erfolgt eine chemischen Reaktion. Zuerst reagiert der Oxalsäureester (siehe Abb. 6, a) aus der einen Kammer mit dem Wasserstoffperoxid (siehe Abb. 6, b) aus der anderen Kammer zu zwei Teilen Phenol (siehe Abb. 6, c) und dem sehr instabilen Peroxyoxalat (siehe Abb. 6, d). Das entstandene Peroxyoxalat ist allerdings sehr instabil und zerfällt schnell wieder, wobei die freigesetzte Energie auf den in den Leuchtstäben enthaltenen Farbstoff übertragen und dieser in den angeregten Zustand gehoben wird. Kehrt das angeregte Farbstoffmolekül in den Ausgangszustand zurück, wird dabei Licht freigesetzt, das Knicklicht leuchtet (siehe Abb. 5a, 5).⁷⁴



vgl. <https://www.simplyscience.ch/teens-wissen/articles/wie-funktioniert-ein-knicklicht.html> 01.20.2017; 17:23 Uhr

Abb. 6: Reaktionsmechanismus eines industriell hergestellten Knicklichtes

Die Farbe des Lichts kann durch Verwendung von verschiedenen Farbstoffen verändert werden. Meist sind dies aromatische Verbindungen (Arene).⁷⁵

Die Reaktion ist irreversibel, das heißt die Knicklichter können nach vollendeter Reaktion nicht mehr verwendet werden. Außerdem ist sie temperaturabhängig, deshalb läuft die Reaktion bei höherer Temperatur lichtintensiver, aber kürzer ab, während sie gekühlt langsamer und weniger intensiv ist.⁷⁶ In den Experimenten mit den selbst gebauten Knicklichtern wurde der Stoff Luminol verwendet. (siehe 3.4) Durch diesen Stoff ist der Reaktionsmechanismus bezüglich der Farbstoffe ein anderer, als der zuvor beschriebene. Bei den käuflich zu erwerbenden Knicklichtern dient der Farbstoff als Elektronenfänger, welcher dann Licht emittiert.

Bei den Experimenten wurden die verwendeten Farbstoffe (Rhodamin B und Fluorescein) nur zum Einfärben der Reaktionslösung verwendet, sind aber an der eigentlichen Lumineszenzreaktion nicht beteiligt.⁷⁷

4 Kriminalistik als Anwendungsgebiet der Lumineszenz

4.1 Die Rechtsmedizin - ein Teilgebiet der Forensik

Die Rechtsmedizin ist dafür zuständig, herauszufinden unter welchen Umständen ein Mensch um sein Leben gekommen ist.⁷⁸ Um Rückschlüsse auf die Ereignisse, welche zu dem Tod führten, ziehen zu können und eine Rekonstruktion des Tatablaufes aufstellen zu können, wird eine Obduktion der Leiche durchgeführt.

Ein Bereich dieser, stellt die Blutspurenanalyse, welche die Erfassung, Beschreibung, Dokumentation und Interpretation der Blutspuren beinhaltet. Dies geschieht durch die Sichtbarmachung der Blutspuren aufgrund einer Luminol-Reagenz, welche eine Chemolumineszenz hervorruft oder auch durch eine Fluorescein-Lösung (siehe 4.3.2), welche eine Fluoreszenz sichtbar macht. Im Anschluss erfolgt eine Unterscheidung der Spuren in beispielsweise Beschleunigungsspuren, Schlagspuren und Tropf- oder Spritzspuren, um Rückschlüsse auf die Blutungsquelle ziehen zu können.

Die Blutspurenanalyse erfolgt durch eine Besichtigung des Tatortes oder auch im Nachhinein durch Bilder des Tatortes. Von Bedeutung ist die Miteinbeziehung der Ergebnisse anderer Untersuchungen, unter anderem von Kleidungsstücken oder der Tatgegenständen. Nur wenn dies geschieht, ist ein Vergleich der Blutspuren des Opfers mit den Blutspuren des Verursachers möglich und es kann eine Rekonstruktion des Geschehensablaufs erfolgen.⁷⁹

4.2 Der Fingerabdrucknachweis - ein alltägliches Hilfsmittel der Kriminalpolizei

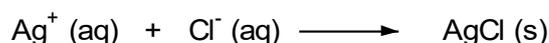
Die angewandten Verfahren für die Sichtbarmachung der Fingerabdrücke sind von Dienststelle zu Dienststelle unterschiedlich und richten sich sowohl nach der Ausstattung der jeweiligen Labore als auch nach der Schwere der Straftat.

In einer ländlichen Gegend erfolgt am Tatort häufig die Anwendung des Adhäsionsverfahrens, welches mithilfe eines Spezialrußpulvers oder anderen farbigen Pulvern durchgeführt wird. Ungefähr seit den neunziger Jahren finden in den Kriminallaboren die Cyanacrylatbedampfung, welches ein Bestandteil vom Sekundenkleber ist, und das Ninhydrinspray Anwendung. Letzteres zeigt durch eine Reaktion mit den Fingerabdrücken eine deutliche Chemolumineszenz auf. Des Weiteren werden aufwendige Verfahren mit fluoreszierenden Pulvern für den Nachweis eingesetzt.⁸⁰ Dies geschieht jedoch nur, wenn der Aufwand mit dem erhofften Ergebnis im Verhältnis steht. Die speziellen chemischen Verfahren wurden bereits zu DDR-Zeiten in kriminaltechnischen Instituten, den sogenannten KTI's, eingesetzt.⁸¹

4.2.1 Der Fingerabdrucknachweis mithilfe von Silbernitrat

Eine häufig angewandte Methode für den Nachweis von Fingerabdrücken stellt der Fingerabdrucknachweis mit Silbernitrat dar. Aufgrund der Eigenschaften haftet diese Lösung nicht auf glatten Oberflächen und findet deshalb in der Kriminalistik auf saugenden und porösen Untergründen, wie beispielsweise Papier oder rauem Holz, Anwendung.⁸²

Für die Sichtbarmachung der Fingerabdrücke erfolgt das Auftragen einer Silbernitrat-Methanol-Lösung auf die zu untersuchenden Stellen am Tatort. Die Grundlage der entstehenden Chemolumineszenz stellen die verschiedenen Stoffe, welche die menschliche Haut absondert. Einer dieser Stoffe ist der Schweiß, welcher aus Natriumchlorid besteht. Ein großer Bestandteil dieses sind folglich die Chlorid-Ionen, welche bei der Reaktion mit den Silber-Ionen aus der Silbernitrat-Methanol-Lösung zu einem schwerlöslichen Silberhalogenid reagieren.



<https://crimeandscience.de/tl/Versuch-2-d--Nachweis-mit-Silbernitrat.htm> 24.09.2017 19:29 Uhr

Abb.7: Reaktion der Silber-Ionen mit Chlorid-Ionen zu Silberchlorid

Durch die Bestrahlung der zu untersuchenden Stellen mithilfe einer UV-Lampe erfolgt eine Reaktion, bei der die Silber-Ionen aus dem Silberchlorid zu elementarem Silber reduziert werden.⁸³



<https://crimeandscience.de/tl/Versuch-2-d--Nachweis-mit-Silbernitrat.htm> 24.09.2017 19:29 Uhr

Abb.8: Reaktion des Silberchlorids zu Silber und Chlor

Aufgrund der zuletzt genannten Reaktion werden die daktyloskopischen Spuren in einer braunen beziehungsweise schwarzen Farbgebung sichtbar.

Da die gesamte Fläche, welche mit der Lösung besprüht wurde, sich nach kurzer Zeit unter der UV-Lampe und unter Tageslicht vollständig schwärzt, ist es für die Kriminalisten von großer Bedeutung, schnellst möglich Fotos der Beweisspuren zu machen.⁸⁴

4.2.2 Der Fingerabdrucknachweis mithilfe von Ninhydrin

Eine weitere Möglichkeit für den Fingerabdrucknachweis an Tatorten oder auch für den Nachweis auf Dokumenten stellt die Behandlung der Spuren mit einem Ninhydrinspray dar. Dieses eignet sich besonders gut für die Sichtbarmachung latenter beziehungsweise blutverschmierter Fingerabdrücke, welche sich auf porösen Untergründen, wie beispielsweise Papier, Geldscheinen oder unbehandeltem Holz befinden.

Vorteile dieses Sprays stellen zum einen die sehr einfache Anwendung und zum anderen die Möglichkeit jahrealte Spuren sichtbar machen zu können dar.

Für die Hervorhebung der Spuren erfolgt durch die Kriminalisten eine Besprühung der Spuren mit dieser Allzweckreagenz. Diese reagiert anschließend mit den Aminosäuren und anderen Bestandteilen der Fingerabdrücke, welche der Täter auf dem Untergrund hinterlassen hat. Diese Komponenten setzen bei der Aufspaltung weitere Aminosäuren frei. Infolgedessen erzeugt das Ninhydrin ein farbiges Bild, welches aufgrund der Inhaltsstoffe und den Entwicklungsbedingungen durch eine Fluoreszenzreaktion eine orangene bis violette Färbung hervorrufen kann. Da die vollständige Entwicklung einige Wochen andauern kann, wird diese Reaktion sowohl durch Wärmezufuhr, als auch durch Feuchtigkeitzufuhr beschleunigt.⁸⁵

Des Weiteren findet das DFO-Spray in den Kriminallaboren Verwendung. Dies ist ein Ninhydrin-Analogen, welches nach dem Aufsprühen auf einen Spureträger mit den Aminosäuren der Körperproteine reagiert. Diese Reaktion findet in einem Wärmeschrank statt und wird aus Sicherheitsmaßnahmen nur unter einem Abzug durchgeführt. Durch diese Reaktion erfolgt eine Pinkfärbung des Fingerabdruckes. Aufgrund der fluoreszierenden Eigenschaften des Sprays, verstärkt die Lichteinwirkung durch eine UV-Lampe den Abdruck.

Diese beiden Varianten für den Nachweis von Fingerabdrücken mithilfe von Ninhydrin finden aufgrund einer Fluoreszenz statt und können nur durch diese sichtbar gemacht werden.⁸⁶

4.3 Der Blutspurennachweis - ein alltägliches Hilfsmittel der Rechtsmedizin Jena

Ein Möglichkeit für den Nachweis für Blutspuren an einem Tatort stellte der Kastle-Meyer-Test dar, welcher bei Vorhandensein einer Blutspur eine pinke Färbung des Indikators hervorrief.⁸⁷ Dieser Test bestand zum einen aus einer Kastle-Meyer-Reagenz, welche sich aus Kaliumhydroxid, Phenolphthalein und Zink zusammensetzte und zum anderen aus den Chemikalien Ethanol (96%) und Wasserstoffperoxid (35%).⁸⁸ Für die Durchführung dieses Testes erfolgte zunächst ein Befeuchten der zu testenden Probe mit dem Ethanol. Anschließend folgte die Zugabe eines Tropfens der Kastle-Meyer-Reagenz und eines Tropfens Wasserstoffperoxidlösung. Eine pinkfarbene Reaktion, welche bereits nach wenigen Minuten sichtbar wurde, zeigte ein positives Testergebnis an. Diese entstand, da die Peroxidase, welche sich in den roten Blutkörperchen befinden, die Reduktion des Wasserstoffperoxides katalysierte. Das Ergebnis dieser Reaktion war ein Aufschäumen. Dabei wurde der freiwerdende Sauerstoff auf das reduzierende Phenolphthalein übertragen und führte zu dieser pinken Farbreaktion (siehe M2). Dieser Test ist mit dem Blutnachweis mit Fluorescein vergleichbar

(siehe 4.3.2), für den an Stelle von Phenolphthalein Fluorescein verwendet wird. Für diesen Nachweis ist jedoch eine zusätzliche Lichtquelle nötig, welche die entstehende Fluoreszenz kenntlich macht. Der Kastle-Meyer-Test fand in der Rechtsmedizin bis ungefähr 2005 Verwendung. Da die Herstellung der Stammlösung, welche nur in einem frisch zusammengestellten Zustand verwendet werden konnte, sich als sehr zeitaufwendig erwies, greift das Kriminallabor nun auf ein kommerzielles Produkt zurück. Dies ist der Combur 10 Test, welcher sehr wenig Zeit in Anspruch nimmt, aber dafür sehr sensitiv arbeitet.⁸⁹ Das bedeutet, dass auch Blutspuren an Stellen nachgewiesen werden können, an denen diese nur vermutet werden, da bereits kleinste pathologische Veränderungen genügen, um eine Farbreaktion aufzuzeigen.⁹⁰

Der Combur 10 Test besteht aus einem Teststreifen, welcher in 10 Felder geteilt ist. Jedes einzelne dieser Felder besitzt dabei eine andere Funktion, da diese in der Lage sind verschiedene Parameter nachzuweisen. Um den Test durchzuführen, erfolgt zunächst das Anfeuchten des Testfeldes für Blut mit Wasser und anschließend das Drücken des Testers in die Probe. Bei Vorhandensein einer Blutspur, erfolgt eine Farbreaktion, welche sofort für das menschliche Auge sichtbar ist.⁹¹

4.3.1 Der Blutspurennachweis mit Fluorescein - eine schulische Möglichkeit

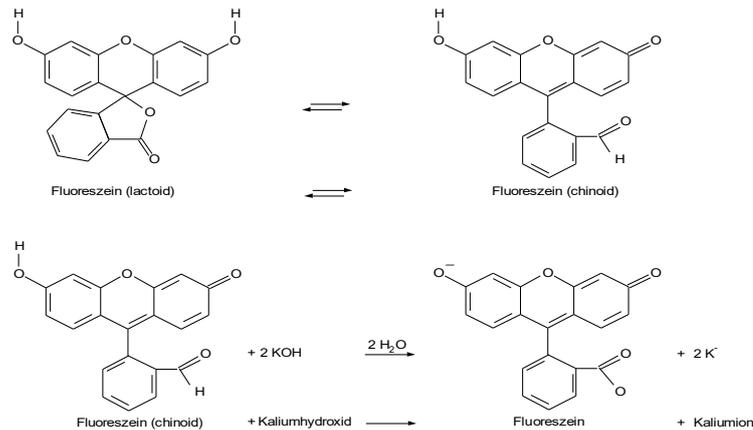
Der Blutspurennachweis mit Hilfe von Fluorescein wird seit Anfang des 20. Jahrhunderts in der Kriminalistik verwendet.⁹² Dieser Nachweis ist ein Screening-Test, welcher bei Vorhandensein einer Blutspur fluoresziert und somit leuchtet.

Ein Vorteil dieses Testes ist es, dass er Blutspuren bis zu einer Verdünnung von 1:10000 sichtbar machen kann, auch wenn diese mit Produkten gereinigt wurden, welche Bleichmittel enthalten.⁹³

Die Stammlösung dieses Testes ist als eine sämige Flüssigkeit vorzufinden, welche es ermöglicht Spuren an Wänden, Türen und anderen senkrechten Oberflächen nachzuweisen.⁹⁴ Dieser Test ist vergleichbar mit dem in der Kriminalistik angewendetem Kastle-Meyer-Test, da die Stammlösungen fast identisch sind.

Für den Nachweis der Blutspuren besprüht der Kriminalist zunächst die verdächtigen Proben mit der Fluorescein-Lösung, welche sich aus Fluorescein, destilliertem Wasser und Kaliumhydroxid zusammensetzt. Dieser Schritt ist jedoch noch nicht Auslöser der Fluoreszenz. Im Anschluss erfolgt eine Bestäubung der Stellen mit Wasserstoffperoxid. Bei Vorhandensein einer Blutspur ist im Anschluss unter der Verwendung einer UV-Lampe eine kräftige Fluoreszenz sichtbar.⁹⁵

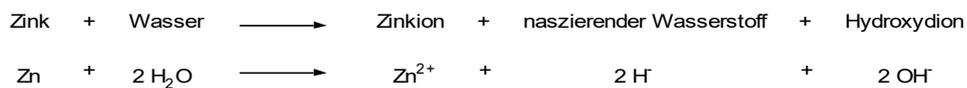
Der Farbstoff Fluorescein ist der Xanthenfamilie angehörig und zeigt seine Leuchtkraft erst durch eine Fluoreszenz.⁹⁶ Dies ist der Grund, warum das rote Pulver nicht gleich zu Beginn des Versuches leuchtet. In einer wässrigen Lösung, welche durch das Vermischen des Fluoresceins mit dem Zinkpulver, dem Kaliumhydroxid und dem destilliertem Wasser vorliegt, stellt sich ein chemisches Gleichgewicht zwischen den beiden Formen des Fluoresceins ein.⁹⁷ Dies ist zum einen die chinoide Form, die stabilere Art des Fluoresceins, welche eine offene Carbonsäureform darstellt und für die dunkelrote Kristallbildung verantwortlich ist.⁹⁸ Die rote Färbung wird durch das Vorhandensein einer konjugierten Doppelbindung, dem sogenannten Chromophor, erklärt. Die zweite Form ist die lactoide, welche weniger stabil ist und eine Ringform bildet. Sie besitzt ein Lacton als funktionelle Gruppe und daher auch eine Lactostruktur. Diese Form bildet eine gelbliche Farbentwicklung.⁹⁹ Das chemische Gleichgewicht verschiebt sich im alkalischen Milieu zu dem chinoiden Fluorescein, welches durch das Kaliumhydroxid zu dianionischen Fluorescein deprotoniert wird.



<http://illumina-chemie.de/leukofluorescein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top> 11.12.2016; 13:40 Uhr

Abb.9: Deprotonierung des chinoiden Fluorescein durch Kaliumhydroxid zu dianionischen Fluorescein

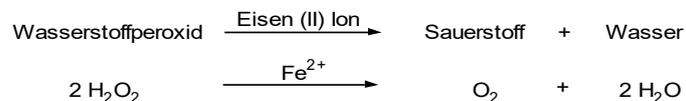
Da es sich bei diesem Vorgang um eine Säure-Base-Reaktion handelt, wird von dem chinoiden Fluorescein ein Proton abgespalten. Anschließend erfolgt eine Protonierung. Bei dieser Reaktion wird das Fluorescein zum Leukofluorescein durch naszierenden Wasserstoff reduziert. Dieser naszierende Wasserstoff ist durch die Reaktion des Zinks mit dem Wasser entstanden.



<http://illumina-chemie.de/leukofluorescein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top> 11.12.2016 13:40Uhr

Abb.10: Reaktion des Zinks mit Wasser zu naszierenden Wasserstoff

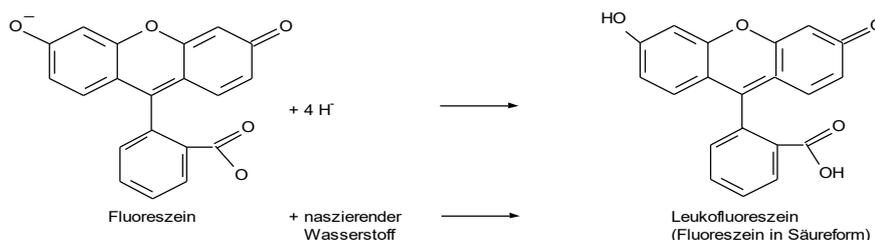
Nach diesen Reaktionen erfolgt eine Aufspaltung des Wasserstoffperoxides in Wasser und Sauerstoff. Dies geschieht durch das Häm, welches im Hämoglobin enthalten ist.



<http://illumina-chemie.de/leukofluorescein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top> 11.12.2016 13:40Uhr

Abb. 11: Aufspaltung des Wasserstoffperoxides in Wasser und Sauerstoff

OH-Radikale und HOO-Radikale sind Folgen dieser Reaktionen, welche eine Kettenreaktion auslösen und aufgrund dessen die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen.



<http://illumina-chemie.de/leukofluorescein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top> 11.12.2016 13:40Uhr

Abb. 12: Reaktion des Fluoresceins mit naszierenden Wasserstoff zu Leukofluorescein

Diese Nachweisreaktion findet aufgrund einer Fluoreszenz statt, welche durch das π -Elektronensystem in der Xanthen-Gruppe bewirkt wird. Hierbei wird die Energie in Form von UV-Licht absorbiert. Durch diese Absorption der Photonen, also des Lichtes, gelangt die Energie in einen energetisch höheren Zustand. Die Photonen haben sozusagen Elektronen der Teilchen von ihrem Grundzustand auf höhere Energieniveaus gebracht. Da die Zustände nicht sehr stabil sind, springen die Elektronen auf das ursprüngliche Energieniveau zurück und geben ihre Energie in Form von energieärmeren, grünen Licht, also in Form von Emission, ab.¹⁰⁰ Diese Lichtabgabe erfolgt nur solange, wie die Strahlungseinwirkung von außen andauert.¹⁰¹ Dies ist der Grund, weshalb der Nachweis innerhalb weniger Sekunden stattfinden muss.

4.3.2 Der Blutspurennachweis mit Luminol - eine schulische Möglichkeit

Die Luminol-Reaktion dient ebenfalls für den Nachweis von Blutspuren. Der Katalysator dieser Reaktion ist entweder das Hämoglobin oder auch die Katalase. Diese zwei Proteine sind dafür bekannt, dass sie in ihrem aktiven Zentrum einen Eisenkomplex tragen.¹⁰² Das im Blut enthaltene Enzym Hämokatalase, besitzt die Eigenschaft aus Wasserstoffperoxid Sauerstoff freisetzen zu können. Diese Reaktion ist als eine Schaumbildung auf dem Blutfleck ersichtlich, welche durch eine Gasentwicklung hervorgerufen wird. Der entstandene Sauerstoff und die sauerstoffübertragende Funktion des roten Blutfarbstoffes Hämoglobin, wird für diesen Versuch als chemische Leuchtreaktion genutzt. Bereits eine sehr geringe Menge Blut katalysiert die beschriebene Luminol-Nachweisreaktion. Außerdem ist eine geringe Menge an Sauerstoff nötig, welche die Chemolumineszenz hervorruft. Dieser Nachweis besitzt den Vorteil, dass er auch für alte, eingetrocknete und kalt ausgewaschene Blutspuren geeignet ist, da die Hämokatalase ein sehr stabiles Enzym ist.¹⁰³

Die Kriminalisten setzen das Luminolgemisch an verschiedenen Tatorten ein, um für das Auge nicht sichtbare Blutspuren sichtbar zu machen. Dazu besprühen diese die verdächtigen Bereiche mit dem Luminol und der Wasserstoffperoxidlösung.¹⁰⁴ Das in der Reinform gelb-weißlich, kristalline Pulver Luminol ist ein sehr bekannter Chemolumineszenzstoff und zeigt aufgrund dessen seine Leuchtkraft erst durch eine Chemolumineszenz, welche durch die Wasserstoffperoxidlösung hervorgerufen wird. (siehe 3.4) Dies ist der Grund, warum dieser Stoff nicht gleich zu Beginn des Versuches leuchtet, sondern erst in Verbindung mit einer alkalischen Wasserstoffperoxid-Lösung eine bläuliche Chemolumineszenz zeigt.

Bei diesem Versuch handelt es sich um eine Reaktion des Enzyms Hämokatalase, welche auch Peroxidase genannt wird. Zu Beginn erfolgt eine Oxidation von Luminol zu einer energiereichen Verbindung. Dabei wird der Sauerstoff mithilfe des Enzyms aus dem zugesetzten Wasserstoffperoxid gebildet. Die energiereiche Verbindung setzt in einer Retro-Diels-Alder-Reaktion, die durch das im Blut (genauer im Hämoglobin) enthaltene Protohäm katalysiert wird, Stickstoffdioxid frei. Dabei wird das Dinatriumsalz der 3-Aminophthalsäure in einem energetisch höherem Zustand gebildet. Der rote Blutfarbstoff Hämoglobin kann den zuvor gebildeten Sauerstoff auf geeignete Substrate übertragen, diese also oxidieren. Bei dieser Reaktion wird der Sauerstoff auf das zunächst noch farblos vorliegende Luminol übertragen und somit in einen energetisch tieferliegenden und damit günstigeren Zustand gebracht. Beide Stoffe reagieren zusammen zu einem lumineszierenden Produkt, welches nur kurzzeitig unter einer UV-Lampe bläulich aufleuchtet. Durch dieses Leuchten gibt das entstandene Produkt seine überschüssige Energie an die Umgebung ab. Es handelt sich folglich um eine Chemolumineszenz.¹⁰⁵

Damit dieser Versuch als ein anerkanntes Beweisstück vor dem Gericht verwendet werden kann, nehmen die Kriminalisten das Leuchten der Chemolumineszenz mithilfe einer Kamera und verschiedenen UV-Filtern auf.¹⁰⁶ (siehe 3.3)

5 Fazit und Schlussbemerkungen

Nach umfassenden Recherchen, Bearbeitung der einzelnen Themengebiete und Experimenten ist in vielerlei Hinsicht ein Ergebnis entstanden, welches meist den Erwartungen und den in der Literatur gefundenen Fakten entspricht.

Im Laufe der Erstellung dieser Arbeit ist klar geworden, dass die Lumineszenz unbewusst eine große Rolle im Leben der Menschen spielt. Die meisten Menschen haben keine Vorstellung, wenn sie den Begriff Lumineszenz hören, doch sobald die Wörter Knicklicht und Glühwürmchen genannt werden, welche verschiedene Einsatzgebiete der Lumineszenz darstellen, haben sie dazu manchmal sogar schon seit ihrer Kindheit einen Bezug. Dies macht die Facharbeit nur noch interessanter.

Die Lumineszenz teilt sich in viele Unterpunkte, welche von der Art der Anregung ausgehen. So zeigt sich eine Fluoreszenz beispielsweise durch eine Anregung mit UV-Licht. Die Fluoreszenz findet ihre Anwendung zum Beispiel bei optischen Aufhellern in Vollwaschmitteln, um die Kleidung strahlend weiß zu machen. Auch Chinin, das zum Beispiel in Getränken als Bitterstoff verwendet wird, ist ein Fluoreszenzstoff. Die Fluoreszenz des Chinins findet nur in saurer Lösung statt, kann durch Halogenidionen gelöscht werden und wird durch eine Konzentrationserhöhung nicht verstärkt.

Chemolumineszenz zeigt sich durch eine chemische Reaktion, die meist einen komplizierten Mechanismus darstellt. Ein bekannter Chemolumineszenzstoff ist das Luminol, welches auch Anwendung in der Kriminalistik findet.

In der Kriminalistik stellt die Daktyloskopie seit ungefähr 100 Jahren eine Ermittlungsmethode für die Aufdeckung von Straftaten dar. Auch gegenwärtig ist diese noch von großer Bedeutung, da die Ergebnisse der Untersuchungen als Beweisgrundlage vor Gericht anerkannt werden. Aufgrund der Fingerabdruck-Datenbanken, welche in vielen Ländern der Welt geführt werden, ist es den Kriminalisten in Zukunft möglich, die Dokumentation und Auswertung der Fingerabdrücke schneller durchzuführen.

Im Laufe der Jahre vollzog auch die Blutspurenanalyse eine große Entwicklung. Aus diesem Grund sind heutzutage verschiedene Methoden, die auf der Grundlage der Lumineszenzforschung basieren, bekannt.

Das Thema dieser Facharbeit bietet noch weitere Aspekte, die erforscht und ergründet werden könnten, besonders im Hinblick auf verschiedene, in dieser Arbeit nicht genauer beschriebene Fluorophore, beispielsweise Oxalsäureester (DNPO und TCPO). Dies würde Stoff für weitere Facharbeiten bieten.

Anhang

Auswertung der Experimente/ Protokolle

Experiment 1: Fluoreszenz des Stoffes Chinin - Limptar[®]N- Tabletten

1. Aufgabe:

Beobachtung der Fluoreszenz von Chinin in Limptar[®]N- Tabletten bezüglich der Punkte

- a) Konzentration
- b) pH- Wert
- c) Chlorid- Ionen Abhängigkeit
- d) Abhängigkeit ausgewählter Ionen
(siehe M3-M8)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

Erlenmeyerkolben
pH-Meter
Reagenzgläser
Reagenzglasalter
Rührstab oder Magnetrührer
Filterpapier
Trichter
Pipetten
Bechergläser
2 l
Mörser und Pistill

Chemikalien:

Limptar[®]N- Tabletten (1 Filmtablette enthält 200 mg Chininsulfat, entsprechend 165,7 mg Chinin, Konzentration Chinin in 100 ml Wasser: 5,1 mmol/l)¹⁰⁷

destilliertes Wasser (H₂O)
Salpetersäure (HNO₃)
Natriumchlorid (NaCl)
Silbernitrat (AgNO₃)
Natriumhydroxid (NaOH)
Kaliumchlorid (KCl)
Kaliumbromid (KBr)
Kaliumiodid (KI)
Kaliumnitrat (KNO₃)
Natriumsulfat (NaSO₄)
Kaliumhydrogensulfat (KHSO₄)
Dikaliumhydrogenphosphat (K₂HPO₄)
Kaliumdihydrogenphosphat (KH₂PO₄)
Kaliumdisulfit (K₂S₂O₅)
Kaliumcarbonat (K₂CO₃)

Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P- Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Es werden Kaliumionen und Natriumionen als Salzbestandteile verwendet, da diese keinen Einfluss

auf die Fluoreszenzreaktion haben.

- a) Mit höherer Konzentration des Chinins wird auch die Fluoreszenz und somit das Leuchten stärker, da ein höherer Anteil des Fluoreszenzfarbstoffes in der Lösung vorhanden ist.
- b) Der pH-Wert beeinflusst das Leuchten. Es wird vermutet, dass die chininhaltige Lösung bei niedrigerem, sauren pH-Wert (pH-Wert 1-6) stärker fluoresziert, als im höheren, basischen pH-Wert (pH-Wert 8-13). Außerdem kann auch eine Fluoreszenz im neutralen Bereich (pH-Wert 7) vermutet werden.
- c) Die Fluoreszenzreaktion ist von Chlorid-Ionen abhängig. Bei Zugabe von Chlorid Ionen zur chininhaltigen Lösung ist eine Auslöschung der Fluoreszenzreaktion zu erwarten.
- d) Da die Fluoreszenzreaktion von Chlorid-Ionen abhängig ist, ist zu vermuten, dass sie außerdem von anderen Elementen der siebten Hauptgruppe (Bromid, Iodid) abhängt und bei Zugabe dieser ebenfalls keine Fluoreszenzreaktion zu erwarten ist. Außerdem ist zu vermuten, dass auch andere Ionen Auswirkung auf die Reaktion haben.

4. Durchführung:

Alle Experimente werden unter UV- Licht in einem abgedunkeltem Raum durchgeführt.

- a) Drei Bechergläser werden mit je 50 ml destilliertem Wasser befüllt. In das erste wird eine zerstoßene Limptar[®]N- Tablette hinzugegeben, in das zweite Becherglas zwei und in das dritte drei Tabletten. Die drei Gemische werden 30 min lang gerührt, im Anschluss filtriert und je ein Reagenzglas bis zur Hälfte mit dem Filtrat befüllt. Unter UV-Licht wird die Reaktion beobachtet. Das Reagenzglas mit der einen Limptar[®]N- Tablette wird anschließend in einen 2 l Messzylinder gegeben und dann langsam mit destilliertem Wasser bis zur 2- Liter- Marke aufgefüllt und wiederum unter UV- Licht beobachtet.
- b) Drei zerstoßene Limptar[®]N- Tabletten werden in 150 ml destilliertes Wasser gegeben, 30 min verrührt und im Anschluss filtriert. Mit Hilfe des pH-Meters werden in 13 Erlenmeyerkolben die pH- Werte 1-13 eingestellt. Dies erfolgt bei den pH-Werten 1- 6 durch die Zugabe unterschiedlicher Mengen an Salpetersäure (HNO₃) in destilliertes Wasser und bei den pH-Werten 8- 13 durch die Zugabe unterschiedlicher Mengen Natriumhydroxid (NaOH) in destilliertes Wasser. In den Erlenmeyerkolben für den pH Wert 7 wird ausschließlich destilliertes Wasser gegeben. Die fertig eingestellten Lösungen werden in die entsprechenden Reagenzgläser umgefüllt, wobei darauf geachtet wird, dass alle Reagenzgläser in etwa den gleichen Füllstand aufweisen. Unter UV-Licht wird mit Pipetten je 1 ml des Filtrats der Limptar[®]N- Tablettenlösung zu den Lösungen in den 13 Reagenzgläsern hinzugegeben und beobachtet.
- c) Eine Limptar[®]N- Tablette wird in 50 ml destilliertes Wasser gegeben, 30 min verrührt und im Anschluss filtriert. Das Filtrat wird auf drei Reagenzgläser verteilt. Alle weiteren Arbeitsschritte werden unter UV- Licht durchgeführt. Mit einer Pipette werden je 3 Tropfen verdünnte Salpetersäure in alle drei Reagenzgläser hinzugegeben, um das Leuchten zu verstärken (durch Erniedrigung des pH- Werts). Zu zwei der drei Reagenzgläser wird je 1 ml konzentrierte Natriumchloridlösung (NaCl) hinzugegeben und beobachtet. Danach wird zu einem der beiden Reagenzgläser mit NaCl-Lösung tropfenweise Silbernitratlösung (AgNO₃) gegeben, bis ein Niederschlag sichtbar wird und das Leuchten wieder erscheint.
- d) Eine Limptar[®]N- Tablette wird in 50 ml destilliertes Wasser gegeben, 30 min verrührt und im Anschluss filtriert. Die zu untersuchenden Ionen werden in jeweils halbvolle Reagenzgläser mit destilliertem Wasser gegeben. Unter UV-Licht wird je 1 ml der filtrierten Limptar[®]N- Tablettenlösung zu den Ionenlösungen in den verschiedenen Reagenzgläsern hinzugegeben und beobachtet.

5. Beobachtung:

Die Limptar[®]N- Tabletten leuchten unter UV-Licht in einem hellen Blau.

- a) Alle drei Reagenzgläser mit unterschiedlichen Konzentrationen der Limptar[®]N- Tabletten fluoreszieren gleich stark und somit ist bei allen drei dieselbe Stärke des Leuchtens zu erkennen. Auch bei einer starken Verdünnung, mit 2 l destilliertem Wasser, leuchtet es genau so stark weiter.
- b) Im sauren Bereich, bei pH-Wert 1-4 ist das Leuchten am stärksten. Bei pH-Wert 5-7 ist es noch leicht zu sehen. Im basischen Bereich, bei pH-Wert 8-13 nimmt das Leuchten immer weiter ab und leuchtet im stark basischen Bereich (pH- Wert 12-13) gar nicht mehr.

c) Bei Zugabe von Chlorid-Ionen hört das Leuchten sofort auf. Werden diese durch Silbernitrat ausgefällt, erscheint erst ein Niederschlag, der langsam erneut zu leuchten beginnt, allerdings nicht mehr so stark.

d) Zu untersuchende Ionen und die Beobachtung:

(KCl) - kein Leuchten

(KBr) - kein Leuchten

(KI) - kein Leuchten

(KNO₃) - starkes Leuchten

(NaSO₄) - kaum Leuchten

(KHSO₄) - sehr starkes Leuchten

(K₂HPO₄) - kein Leuchten

(KH₂PO₄) - sehr starkes Leuchten

(K₂S₂O₅) - kaum Leuchten

(K₂CO₃) - kein Leuchten

6. Auswertung:

Das blaue Leuchten der Limptar[®]N- Tabletten in Lösung kommt von dem darin enthaltenen Chinin, welches ein Fluoreszenzfarbstoff ist und unter UV-Licht die typische blaue Fluoreszenz zeigt.

a) Die Veränderung der Intensität des Leuchtens findet bei einer so geringen Konzentrationserhöhung von 165,7 mg Chinin pro hinzugefügter Tablette nicht statt. Bei einer Konzentrationserniedrigung des Chinins, wie bei einer Verdünnung mit Wasser in einem 2 l Messzylinder ist das Leuchten noch zu sehen, da es bis zu einer Verdünnung von 1:100.000 sichtbar ist. Die Vorüberlegung hat sich nicht bestätigt.

b) Chinin fluoresziert aufgrund einer Besonderheit in der Struktur des Stoffes (siehe 2.5) nur in einer sauren Lösung. In einer basischen Lösung ist die Emission des Lichts nicht sichtbar. Die Vorüberlegung hat sich bestätigt.

c) Die Fluoreszenz des Chinins kann durch Halogenidionen gelöscht werden. Deswegen ist bei Zugabe von Chloridionen keine Fluoreszenz mehr zu sehen. Dies ist aber reversibel und so kehrt das Fluoreszenzlicht bei Zugabe von Silbernitrat wieder zurück, denn die Silberionen bilden mit den Chloridionen einen schwerlöslichen Niederschlag (AgCl) und entfernen so diese aus der Lösung. Die Vorüberlegung hat sich bestätigt.

d) Auch Bromid und Iodid sind Halogenidionen und löschen das Fluoreszenzlicht. Die anderen Ionen verstärken das Leuchten, wenn sie einen sauren pH-Wert haben, oder vermindern es, wenn sie im basischen Bereich liegen, denn das Chinin fluoresziert nur in saurer Lösung. Die Vorüberlegung hat sich bestätigt.

(KCl) - kein Leuchten, denn die Lösung enthält Chloridionen

(KBr) - kein Leuchten, denn die Lösung enthält Bromidionen

(KI) - kein Leuchten, denn die Lösung enthält Iodidionen

(KNO₃) - starkes Leuchten, Erklärung siehe Fehlerbetrachtung

(NaSO₄) - kaum Leuchten, denn es liegt im neutralen pH-Bereich

(KHSO₄) - sehr starkes Leuchten, denn es liegt im sauren pH-Bereich

(K₂HPO₄) - kein Leuchten, denn es liegt im basischen pH-Bereich

(KH₂PO₄) - sehr starkes Leuchten, denn es liegt im sauren pH-Bereich

(K₂S₂O₅) - kaum Leuchten, denn es liegt im neutralen pH-Bereich

(K₂CO₃) - kein Leuchten, denn es liegt im basischen pH-Bereich

7. Fehlerbetrachtung:

a) Wird eine erhebliche Konzentrationserhöhung des Chinins vorgenommen, kann es sein, dass das Leuchten verstärkt oder gelöscht wird (siehe 2.4). Im Experiment konnte dies jedoch nicht weiter nachgeprüft werden, da so große Mengen an Chinin nicht vorhanden waren.

b) Die Ergebnisse können abweichen, da es zu Fehlern bei der Eichung des pH-Meters sowie zu kleineren Fehlern bei der Messung des pH-Wertes der einzelnen Lösungen kommen kann.

c) Die Silberionen müssen in einem deutlichen Überschuss hinzugegeben werden, um tatsächlich alle Chloridionen zu entfernen. Geschieht dies nicht, wird die Fluoreszenz weiterhin gehemmt.

d) Das KNO_3 liegt im neutralen pH-Wertbereich und sollte deswegen, laut Auswertung, kaum oder höchstens so stark wie die Lösung mit dem Chinin ohne zugegebene Ionen leuchten. Da es im Experiment allerdings stärker geleuchtet hat, wurde der Versuch mit dem KNO_3 erneut durchgeführt (siehe M8). In diesem Versuch konnte festgestellt werden, dass die Lösung genau so stark leuchtete wie die Lösung mit dem Chinin ohne zugegebene Ionen, wodurch die Auswertung auch auf das KNO_3 zutrifft. Möglicherweise war das Reagenzglas mit dem KNO_3 im zuerst durchgeführten Experiment verschmutzt, so dass die Versuchsergebnisse beeinflusst wurden.

Experiment 2: Fluoreszenz des Stoffes Chinin- Erfrischungsgetränke¹⁰⁸

1. Aufgabe:

Beobachtung der Fluoreszenz von Chinin im Erfrischungsgetränk Tonic Water zweier großer Hersteller (River, Schweppes®). (siehe M9)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

Reagenzgläser
Reagenzglashalter
Pipetten

Chemikalien:

destilliertes Wasser (H_2O)
Tonic Water der Firma Schweppes® (enthält 68 mg/l Chinin)¹⁰⁹
Tonic Water der Firma River (enthält 54 mg/l Chinin)¹¹⁰

Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P- Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Da in beiden Erfrischungsgetränken der Fluoreszenzfarbstoff Chinin enthalten ist, kann bei beiden ein Leuchten unter UV-Licht erwartet werden.

4. Durchführung:

Es werden je ein Reagenzglas mit destilliertem Wasser zum Vergleich, ein Reagenzglas mit Tonic Water der Firma Schweppes® und ein Reagenzglas mit Tonic Water der Firma River befüllt. Alle drei Reagenzgläser werden unter UV-Licht beobachtet.

5. Beobachtung:

Das destillierte Wasser im ersten Reagenzglas leuchtet nicht. Beide Erfrischungsgetränke fluoreszieren unter UV-Licht in einem hellen Blau. Das Tonic Water der Firma River leuchtet geringfügig heller, als das der Firma Schweppes®.

6. Auswertung:

Destilliertes Wasser fluoresziert unter UV-Licht nicht, da es keine Stoffe (Fluorophore) enthält, die dazu fähig sind, das UV-Licht zu absorbieren und wieder sichtbares Licht zu emittieren. Beide Erfrischungsgetränke leuchten, da in beiden Getränken der Fluoreszenzfarbstoff Chinin enthalten ist, welcher aufgrund seiner Struktur UV-Licht absorbiert und dadurch angeregt wird. Die Elektronen des Chinins erreichen ein höheres Energieniveau und emittieren, bei Zurückfallen in ihr ursprüngliches Energieniveau, sichtbares Licht.

Nach einer Messung der beiden Erfrischungsgetränke mit einem pH-Meter kann festgestellt werden, dass das Tonic Water der Firma River im Vergleich einen leicht niedrigeren pH-Wert (2,37) als das der Firma Schweppes® (2,41) hat. Dieser geringfügige Unterschied erklärt das etwas intensivere Leuchten des Tonic Waters der Firma River, da das Fluoreszieren des Chinins vom pH-Wert abhängig ist. Chinin leuchtet im niedrigeren, sauren pH-Wert stärker, als im höheren, basischen pH-Wert. (Experiment 1)

Die Vorüberlegung hat sich bestätigt.

Experiment 3: Optischer Aufheller im Vollwaschmittel¹¹¹

1. Aufgabe:

Beobachtung der Fluoreszenz von Vollwaschmittel und optischen Aufheller. (siehe M10)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

4 Reagenzgläser
Reagenzglashalter
Pipetten
Spatel

Chemikalien:

destilliertes Wasser (H₂O)
Vollwaschmittel der Firma Tandil
Optischer Aufheller (Tinopal CBS-X)

Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P- Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Sowohl beim optischen Aufheller in Reinform, als auch beim Waschmittel, dessen Bestandteil unter anderem optischer Aufheller ist, kann ein Leuchten unter UV-Licht erwartet werden.

4. Durchführung:

Ein Reagenzglas wird bis zur Hälfte mit destilliertem Wasser befüllt.

In ein zweites Reagenzglas wird das reine Vollwaschmittel gegeben, um einen optimalen Vergleich zwischen den verschiedenen Reagenzen zu erreichen.

Ein drittes Reagenzglas wird bis zur Hälfte mit destilliertem Wasser befüllt und mehrere gehäufte Spatelspitzen Vollwaschmittel hinzugegeben.

Ein viertes Reagenzglas wird erneut mit destilliertem Wasser befüllt und eine Spatelspitze optischer Aufheller hinzugefügt.

Alle vier Reagenzgläser werden unter UV-Licht beobachtet.

5. Beobachtung:

Das destillierte Wasser im ersten Reagenzglas leuchtet nicht. Das reine Vollwaschmittel leuchtet in einem hellen Weiß-Blau. Auch das gelöste Vollwaschmittel und der optische Aufheller in Lösung leuchten im selben Farbton, wobei die Vollwaschmittellösung etwas trüber wirkt.

6. Auswertung:

Destilliertes Wasser fluoresziert unter UV-Licht nicht, da es keine Stoffe (Fluorophore) enthält, die dazu fähig sind, das UV-Licht zu absorbieren und wieder sichtbares Licht zu emittieren. Sowohl das Vollwaschmittel in Reinform und in Lösung fluoresziert, da in beiden optischer Aufheller enthalten ist. Dieser Aufheller wird verwendet, um der Vergilbung der mit dem Waschmittel gewaschenen Kleidung entgegenzuwirken. Die Aufheller absorbieren dazu das UV- Licht und geben es als blaues Licht wieder ab. Das erklärt auch die Fluoreszenz des optischen Aufhellers (Tinopal CBS-X) in Reinform. Die Vollwaschmittellösung wirkt etwas trüber, da in dem Waschmittel noch weitere Stoffe (wie unter anderem Tenside, Enzyme, Gerüststoffe oder Schauminhibitoren) enthalten sind, die sich durch die hohe Waschmittelkonzentration nicht im Wasser gelöst haben. Die Vorüberlegung hat sich bestätigt.

Experiment 4: Chemolumineszenz von Luminol und Einfärbung mit Farbstoffen¹¹²

1. Aufgabe:

Beobachtung der Chemolumineszenz von Luminol (Versuch A) und Einfärbung des Chemolumineszenzstoffes mit den Farbstoffen Fluorescein (Versuch B) und Rhodamin B (Versuch C). (siehe M11-M13)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

kleine und große Bechergläser
Erlenmeyerkolben
Pipetten
Spatel
Waage

Chemikalien:

Luminol (5-Amino-2,3-dihydrophthalazin-1,4-dion)
10%ige Natriumhydroxidlösung (NaOH)
Kaliumhexacyanoferrat(III) ($K_3[Fe(CN)_6]$)
30%ige Wasserstoffperoxidlösung (H_2O_2)
Fluorescein (6-Hydroxy-9-(2-carboxyphenyl)-(3H)-xanthen-3-on)
Rhodamin B (9-(2-Carboxyphenyl)-3,6-bis(diethylamino)xanthyliumchlorid)
Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P- Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Da Luminol ein Chemolumineszenzstoff ist, ist eine bläuliche Chemolumineszenz zu erwarten, welche durch die Farbstoffe verfärbbar sein sollte. Dabei müsste die Chemolumineszenz eine grünliche Färbung bei Zugabe von Fluorescein und eine rosa Färbung bei Zugabe von Rhodamin B annehmen.

4. Durchführung:

Es werden zwei Grundlösungen angesetzt:

Lösung 1: 0,25 g Luminol mit 12 ml 10%iger NaOH-Lösung in 100 ml H_2O

Lösung 2: 0,4 g $K_3[Fe(CN)_6]$ und 6 ml H_2O_2 in 120 ml H_2O

Die Lösung 1 wird auf drei Bechergläser aufgeteilt. Ebenso Lösung 2.

Der Raum wird abgedunkelt.

Für den Versuch A (Luminol ohne Farbstoffe) werden ein Becherglas der Lösung 1 und ein Becherglas der Lösung 2 in einen leeren Erlenmeyerkolben gegeben. Dabei wird die Reaktion im Erlenmeyerkolben beobachtet.

Für den Versuch B (Luminol mit dem Farbstoff Fluorescein) wird vorher in einen zweiten leeren Erlenmeyerkolben eine Spatelspitze des Farbstoffes Fluorescein gegeben. Dann wird wie bei Versuch A vorgegangen.

Für den Versuch C (Luminol mit dem Farbstoff Rhodamin B) wird vorher in einen dritten leeren Erlenmeyerkolben eine Spatelspitze des Farbstoffes Rhodamin B gegeben. Erneut wird wie bei Versuch A vorgegangen.

5. Beobachtung:

Versuch A: Nach Hinzugeben der beiden Grundlösungen in den leeren Erlenmeyerkolben ist eine sehr intensive, blaue Chemolumineszenz zu erkennen. Diese hält einige Sekunden an, bevor sie komplett abklingt.

Versuch B: Nach Hinzugeben der beiden Grundlösungen in den leeren Erlenmeyerkolben ist eine sehr intensive, grün- gelbliche Chemolumineszenz zu erkennen. Diese verklingt sehr viel schneller, als die Chemolumineszenz aus Versuch A.

Versuch C: Nach Hinzugeben der beiden Grundlösungen in den leeren Erlenmeyerkolben ist eine sehr

intensive, rosa Chemolumineszenz zu erkennen. Auch diese verklingt sehr viel schneller, als die Chemolumineszenz aus Versuch A.

6. Auswertung:

Das Eisen(III)-Ion im $K_3[Fe(CN)_6]$ dient als Katalysator.

Versuch A: Das Luminol reagiert in alkalischer Lösung (deswegen in NaOH) mit dem H_2O_2 , das den Sauerstoff liefert. Dabei findet eine Reaktion statt (siehe 3.4), bei der ein Elektron des Luminols in einen höheren Zustand gehoben wird und beim Zurückfallen blaues Licht emittiert. Versuche B und C: Bei beiden Versuchen wurde jeweils ein Farbstoff (einmal Fluorescein und bei dem anderen Versuch Rhodamin B) hinzugegeben. Diese Farbstoffe sind darüber hinaus auch Fluorophore. Da bei diesem Experiment aber kein UV-Licht verwendet wurde, wirken sie hier nur als Farbstoffe und sind so für die Färbung der Lösung verantwortlich, aber selbst nicht an der Reaktion beteiligt. Die Reaktion verklingt bei Hinzugabe der Farbstoffe schneller, weil die Umsetzung des H_2O_2 mit dem Luminol durch die Farbstoffe geringfügig gehemmt wird. Die Vorüberlegung hat sich bestätigt.

7. Fehlerbetrachtung:

Die Konzentrationen, der in den Grundlösungen enthaltenen Substanzen Luminol, H_2O_2 und NaOH sollten erhöht werden, um eine länger anhaltende Chemolumineszenzreaktion zu erhalten. Dies ist besonders bei den Versuchen mit den Farbstoffen (B und C) zu empfehlen.

Experiment 5: Licht zum Mitnehmen¹¹³

1. Aufgabe:

Produzieren eines bei Wasserzugabe lichtaussendenden Gemisches, bestehend aus Feststoffen. (siehe M14)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

Becherglas (oder bei Mitnahme ein verschließbares Glas z.B. Schnappdeckelglas)
Spatel
Waage

Chemikalien:

destilliertes Wasser (H_2O)
Luminol (5-Amino-2,3-dihydrophthalazin-1,4-dion)
Bleichmittel auf Natriumpercarbonatbasis ($Na_2CO_3 \cdot 1.5H_2O_2$)
Kupfer(II)-sulfat ($CuSO_4$)

Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P- Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Es ist zu erwarten, dass das Gemisch aus den Feststoffen erst bei Wasserzugabe reagiert und dann das für Luminol typische blaue Leuchten zeigt.

4. Durchführung:

Es werden 0,5 g Luminol, 2,5 g Bleichmittel auf Natriumpercarbonatbasis und eine Spatelspitze $CuSO_4$ in ein Becherglas (oder verschließbares Glas) gefüllt. Wenn die Reaktion und damit verbundene Lichtaussendung beabsichtigt ist, werden etwa 20 ml Wasser in das Glas hinzugegeben, geschüttelt und im Dunkeln beobachtet.

5. Beobachtung:

Bei Vermischung der Stoffe als Feststoffe findet keine Reaktion statt. Wird jedoch Wasser zu dem Gemisch hinzugegeben, beginnt es für einige Sekunden in einem hellen Blau zu leuchten.

6. Auswertung:

Die Luminolreaktion findet in basischer Lösung statt. Wenn also nur Feststoffe verwendet werden, passiert so lange nichts, bis Wasser hinzugegeben wird. Dann spaltet sich aus dem im Bleichmittel enthaltenen Natriumpercarbonat Wasserstoffperoxid ab und reagiert mit dem Luminol (siehe 3.4). Ein Elektron des Luminols wird so in einen höheren Zustand gehoben und emittiert beim Zurückfallen blaues Licht.

Das Kupfer(II)-Ion im CuSO_4 dient als Katalysator.

Da nur Feststoffe verwendet werden, kann das Gemisch ohne frühzeitig zu reagieren und ohne auszulaufen, einfach überall hin mitgenommen werden. Also: „Licht zum Mitnehmen“. Die Vorüberlegung hat sich bestätigt.

7. Fehlerbetrachtung:

Es ist darauf zu achten, dass das Glas trocken und sauber ist, damit die Reaktion nicht schon frühzeitig abläuft

Experiment 6: Selbstgebaute Knicklichter¹¹⁴

1. Aufgabe:

Bau von eigenen Knicklichtern in den Farben Rosa, Blau und Grün. (siehe M15-M18)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

kleine und große Bechergläser

Pipetten

Spatel

Waage

durchsichtiger Schlauch aus Plastik

große Stopfen mit Loch (pro Knicklicht einer)

große Stopfen ohne Loch (pro Knicklicht einer)

kleine Stopfen ohne Loch (pro Knicklicht einer)

dünnes Glasröhrchen (pro Knicklicht eins)

Brenner

Chemikalien:

Luminol (5-Amino-2,3-dihydrophthalazin-1,4-dion)

10%ige Natriumhydroxidlösung (NaOH)

Kaliumhexacyanoferrat(III) ($\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$)

30%ige Wasserstoffperoxidlösung (H_2O_2)

Fluorescein (6-Hydroxy-9-(2-carboxyphenyl)-(3H)-xanthen-3-on)

Rhodamin B (9-(2-Carboxyphenyl)-3,6-bis(diethylamino)xanthyliumchlorid)

Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P- Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Das Knicklicht enthält zwei Kammern mit verschiedenen Chemikalien, die dadurch voneinander getrennt sind. Wird es geknickt, können sich die beiden Chemikalien aus den zwei Kammern vermischen und es ist eine bläuliche Chemolumineszenz aufgrund des enthaltenen Stoffes Luminol zu erwarten. Wird noch Farbstoff hinzugegeben (für rosa Rhodamin B und für grün Fluorescein), so ist eine Chemolumineszenz in der gewünschten Farbe zu erwarten.

4. Durchführung:

Es werden zwei Grundlösungen angesetzt:

Lösung 1: 0,5 g Luminol mit 12 ml 10%iger NaOH-Lösung in 100 ml H_2O

Lösung 2: 0,4 g $K_3[Fe(CN)_6]$ und 12 ml H_2O_2 in 100 ml Wasser

Der durchsichtige Schlauch wird auf die gewollte Größe zugeschnitten (im Beispiel 20 cm). Mit einem großen Stopfen wird der Schlauch an einer der Seiten verschlossen. Die Lösung 1 wird mit einer Pipette in den Schlauch eingefüllt, sodass dieser etwa zu vier Fünfteln voll ist. Wird eine andere Leuchtfarbe der Knicklichter beabsichtigt, so wird der Grundlösung 1 vor dem Einfüllen noch eine Spatelspitze Farbstoff (für rosa Rhodamin B und für grün Fluorescein) hinzugegeben.

Erfolgt dies nicht, leuchtet das Knicklicht in blau.

Das Glasröhrchen wird mithilfe des Brenners an einer Seite erhitzt und verschlossen. Im Anschluss wird es leicht angeritzt, damit es leichter zu knicken ist. Danach wird das Glasröhrchen mit der offenen Seite in den großen Stopfen mit dem Loch eingespannt und vorsichtig in den durchsichtigen Schlauch mit der eingefüllten Lösung 1 gegeben, sodass der Stopfen an dem Glasröhrchen den Schlauch komplett verschließt. Der durchsichtige Schlauch ist nun an beiden Seiten fest durch zwei Stopfen verschlossen.

Die Lösung 2 wird durch den Stopfen mit dem Loch in das Glasröhrchen gegeben und mit einem kleinen Stopfen verschlossen. Nun ist das Knicklicht komplett verschlossen und enthält zwei Kammern: Im Inneren des Glasröhrchens Lösung 2 und außen die Lösung 1 (optional mit Farbstoff). Das Knicklicht wird im Dunkeln geknickt und beobachtet.

5. Beobachtung:

Nach dem Knicken strahlt das Knicklicht ohne Farbstoff für einige Sekunden ein helles, blaues Licht aus. Das Knicklicht mit dem Farbstoff Rhodamin B strahlt in einem Rosa und das Knicklicht mit Fluorescein in einem Grün. Die Knicklichter mit Farbstoff leuchten nicht so lange, wie das Knicklicht ohne Farbstoffe.

6. Auswertung:

Durch das Knicken zerbricht das Glasröhrchen im Inneren des Schlauches. Die beiden Lösungen aus den zwei Kammern, die vorher noch voneinander getrennt waren, vermischen sich und reagieren miteinander. In dem Knicklicht findet dieselbe Reaktion statt, die schon beim Experiment 4 abgelaufen ist. Nur die Konzentration der Stoffe Luminol und H_2O_2 wurden erhöht, damit die Reaktionen auch bei einem geringeren Volumen der Lösungen stattfinden können. Die Reaktion verklingt bei Hinzugabe von Farbstoffen schneller, weil die Umsetzung des H_2O_2 mit dem Luminol durch die Farbstoffe geringfügig gehemmt wird. Die Vorüberlegung hat sich bestätigt.

7. Fehlerbetrachtung:

Bei käuflich zu erwerbenden Knicklichtern werden andere Stoffe (meist Oxalsäureester) verwendet, welche die Reaktion langlebiger machen. Da diese in der Schule nicht vorhanden sind, wurde der Stoff Luminol verwendet, der auf demselben Prinzip (Chemolumineszenz) beruht und so vergleichbar genutzt werden kann. Das Abklingen der Reaktion findet allerdings sehr viel schneller statt und so leuchten die selbst hergestellten Knicklichter nur wenige Sekunden. Um eine Verlängerung der Reaktion mit den Farbstoffen zu erreichen, wäre eine Erhöhung des Stoffes H_2O_2 nötig. Durch die begrenzten technischen Möglichkeiten der Schule sind die Knicklichter des Weiteren auch viel größer und unhandlicher als die industriell hergestellten.

Es können auch Fehler auftreten, wenn nicht erreicht wird, dass die beiden Chemikalien durch die Kammern völlig voneinander getrennt werden. Das kann zum Beispiel passieren, wenn das Glasröhrchen über dem Brenner nicht vollständig verschlossen wurde oder einer der Stopfen undicht ist. Dadurch kann die Reaktion schon beim Zugeben der Chemikalien erfolgen, was eine erneute Reaktion nach Knicken unmöglich macht.

Experiment 7: Der Fingerabdrucknachweis mithilfe von Silbernitrat¹¹⁵

1. Aufgabe:

Beobachtung der Chemolumineszenz bei dem Nachweis von Fingerabdrücken mithilfe von Silbernitrat. (siehe M19, M20)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

Waage
Mörser und Pistill
Messbecher
Messzylinder
Sprühflasche
zu untersuchende Objekte
UV-Lampe

Chemikalien:

0,5g Silbernitrat (AgNO_3)
25ml Methanol (CH_3OH)

Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P-Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Aufgrund der Silbernitratlösung und bestimmten Stoffen aus unserer Haut kann unter einem UV-Licht ein Leuchten erwartet werden.

4. Durchführung:

Zu Beginn 1g Silbernitrat mithilfe einer Waage abmessen und anschließend in einem Mörser zerstampfen, damit es sich später besser löst. Das pulvrige Silbernitrat in einen Messbecher geben, welcher mindestens 30ml fassen kann. Im Anschluss 50ml Methanol in einem Messzylinder abmessen und in den Messbecher mit dem Silbernitrat füllen. Den Messbecher mit den zwei Chemikalien ungefähr 5 Minuten schwenken, damit sich das Silbernitrat vollständig auflöst. Die fertige Lösung in eine Sprühflasche mit einem feinem Zerstäuber füllen. Anschließend die zu untersuchenden Objekte, wie ein Blatt Papier oder einen Glasgegenstand mit Fingerabdrücken versehen. Die Objekte werden danach mit der Lösung besprüht und an der Luft getrocknet. Nach dem Trockenvorgang die Objekte unter der UV-Lampe beobachten.

5. Beobachtung:

Das zunächst gräuliche Silbernitrat ergab mit dem Methanol eine durchsichtige Lösung. Diese leuchtete unter der UV-Lampe sowohl auf dem schwarzen Papier als auch auf dem Glasgefäß nicht. Lediglich die Fingerabdrücke auf dem weißen Papier wurden unter dem UV-Licht sichtbar. Nach einer Weile färbte sich die gesamte Fläche, welche mit der Silbernitratlösung besprüht wurde, schwarz.

6. Auswertung:

Die Grundlage der entstehenden Chemolumineszenz stellen die verschiedenen Stoffe, welche unserer Haut absondert. Einer dieser Stoffe ist der Schweiß, welcher aus Natriumchlorid besteht. Ein großer Bestandteil dieses sind folglich die Chlorid-Ionen, welche bei der Reaktion mit den Silberionen aus der Silbernitrat-Methanol-Lösung zu einem schwerlöslichen Silberhalogenid reagieren. Durch die Bestrahlung der zu untersuchenden Stellen mithilfe einer UV-Lampe erfolgt eine Reaktion, bei der die Silber-Ionen aus dem Silberchlorid zu elementarem Silber reduziert werden. Aufgrund der zuletzt genannten Reaktion werden die daktyloskopischen Spuren in einer braunen beziehungsweise schwarzen Farbgebung sichtbar.

Experiment 8: Der Blutspurennachweis mithilfe des Leukofluorescein-Tests¹¹⁶

1. Aufgabe:

Beobachtung der Fluoreszenz bei dem Nachweis von Fingerabdrücken. (siehe M21)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

Waage
Becherglas
Messzylinder
Spatel
Heizplatte
Filterpapier
2 Sprühflaschen
zu untersuchendes Objekt (schwarzer und weißer Stoff)
UV-Lampe

Chemikalien:

0,1g Fluoreszein ($C_{20}H_{12}O_5$)
2g Zinkpulver (Zn)
1g Kaliumhydroxid (KOH)
30%-iger Wasserstoffperoxid (H_2O_2)
20ml destilliertes Wasser (H_2O)
99ml Wasser (H_2O)
Blutproben

Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P-Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Durch die Reaktion der Stammlösung, welche der des Kastle-Meyer-Test entspricht, mit dem Wasserstoffperoxid kann ein Leuchten unter UV-Licht erwartet werden.

4. Durchführung:

Zu Beginn die Stammlösung, bestehend aus den Chemikalien Fluoreszein, Zinkpulver und Kaliumhydroxid herstellen. Dazu zuerst die Chemikalien, 0,1g Fluoreszein, 2g Zinkpulver, sowie 1g Kaliumhydroxid mit einer Waage abwiegen und anschließend in ein Becherglas füllen. Des Weiteren 20ml destilliertes Wasser in einem Messzylinder abmessen und ebenfalls in das Becherglas geben. Anschließend die Chemikalien vermischen. Dies geschieht sowohl durch verrühren, mithilfe eines Spatel, als auch durch leichtes Schwenken des Becherglases, bis zur vollständigen Auflösung dieser. Die vorerst grün fluoreszierende Lösung nun mittels einer Heizplatte für ungefähr 30 Minuten erwärmen, bis diese sich vollständig entfärbt hat.

Anschließend 1ml der Lösung in 99ml Wasser dekantieren, damit die fertige Lösung frei von winzigen Feststoffen und sich nicht gemischten Flüssigkeiten ist. Dieses Dekantieren geschieht mit Hilfe eines Filterpapiers. Die nun fertige Stammlösung, bestehend aus 100ml Flüssigkeit, in eine Sprühflasche füllen.

In die zweite Sprühflasche die 30%-ige Wasserstoffperoxidlösung füllen.

Da die Stammlösung nur ein optimales Ergebnis erzielt, wenn sie frisch zubereitet ist, müssen die nächsten Schritte gleich im Anschluss erfolgen.

Zuerst die zu untersuchenden Stoffproben mit einer handelsüblichen UV-Lampe nach einer Eigenfluoreszenz überprüfen. Im Anschluss die Stammlösung auf die zu untersuchenden Stellen des Stoffes sprühen. Anschließend das Wasserstoffperoxid auf diesen Stellen zerstäuben und unter einer UV-Lampe beobachten.

5. Beobachtung:

Das Fluoreszein, welches zunächst als rotes, kristallines Pulver vorlag, ergab mit dem destilliertem Wasser und dem weißen Zinkpulver eine grünliche Lösung. Während des Erwärmens auf der Heizplatte färbte sich diese zunächst gelblich, bis sie nach ungefähr dreißig Minuten farblos wurde.

Beim anschließenden Dekantieren der Lösung blieben keine für das Auge sichtbaren Rückstände zurück.

Das Wasserstoffperoxid wurde bei diesem Versuch verdünnt verwendet, weshalb dieses als eine farblose Lösung vorlag.

Beim untersuchen der Stoffe wurde keine Eigenfluoreszenz festgestellt, da diese nicht anfangen zu leuchten.

Auch beim besprühen der Stoffe mit Stammlösung waren keine für das Auge ersichtlichen Veränderungen zu vernehmen. Nachdem das Wasserstoffperoxid auf den Stoffen versprüht und eine UV-Lampe auf diese gerichtet wurde, war ein Aufschäumen auf dem Stoff sichtbar. Gleichzeitig konnte auch ein grelles grünes Leuchten um die Blutproben vernommen werden.

6. Auswertung:

Das Fluoreszein zeigt seine Leuchtkraft erst durch eine Fluoreszenz.

In der wässrigen Stammlösung, stellte sich ein chemisches Gleichgewicht zwischen den beiden Formen des Fluoreszeins ein. Dies ist zum einen die chinoide Form, die stabilere Art des Fluoreszeins, welche eine offene Carbonsäureform darstellt und für die dunkelrote Kristallbildung verantwortlich ist. Die zweite Form ist die lactoide, welche weniger stabil ist und eine Ringform bildet. Diese Form zeigt eine gelbliche Farbentwicklung.

Das chemische Gleichgewicht verschiebt sich im alkalischen Milieu zu dem chinoiden Fluoreszein, welches durch das Kaliumhydroxid zu dianionischen Fluoreszein deprotoniert wird.

Anschließend erfolgte eine Protonierung. Bei dieser Reaktion wurde das Fluoreszein zum Leukofluoreszein durch naszierenden Wasserstoff, welcher durch die Reaktion des Zinks mit dem Wasser entstanden ist, reduziert.

Nach diesen Reaktionen erfolgte eine Aufspaltung des Wasserstoffperoxides in Wasser und Sauerstoff. Dies geschah durch das Häm, welches im Hämoglobin enthalten ist.

OH-Radikale und HOO-Radikale sind Folgen dieser Reaktionen, welche eine Kettenreaktion beginnen und aufgrund dessen die Reaktionsgeschwindigkeit erhöhen. Diese Nachweisreaktion findet aufgrund einer Fluoreszenz statt, welche durch das π -Elektronensystem in der Xanthen-Gruppe bewirkt wird. Hierbei wird die Energie in Form von UV-Licht absorbiert.

Experiment 9: Der Blutspurennachweis mithilfe von Luminol¹¹⁷

1. Aufgabe:

Beobachtung einer Chemolumineszenz bei dem Nachweis von Blutspuren. (siehe M22)

2. Geräte und Chemikalien:

Geräte:

Waage

Messzylinder

4 Bechergläser

Spatel

Sprühflasche

zu untersuchendes Objekt (schwarzer und weißer Stoff, sowie glatte Fließe)

handelsübliche UV-Lampe

Chemikalien:

8g Natriumhydroxid (NaOH)

10ml 30%-ige Wasserstoffperoxid-Lösung (H₂O₂)

0,05g Luminol (C₂₀H₁₂O₅)

90ml destilliertes Wasser (H₂O)

Blutproben

Für alle Chemikalien sind die entsprechenden H- und P-Sätze zu beachten. Bei der Arbeit mit den

Chemikalien ist Schutzkleidung, wie Kittel und Gesichtsschutz notwendig.

3. Vorüberlegung:

Durch die chemische Reaktion von Sauerstoff und Luminol kann ein Leuchten unter UV-Licht erwartet werden.

4. Durchführung:

Zu Beginn die drei Stammlösungen, bestehend aus den Chemikalien Natriumhydroxid, Wasserstoffperoxid und Luminol herstellen. Dazu als erstes die Chemikalien mit einer Waage abwiegen, beziehungsweise in einem Messzylinder abmessen. Daraus folgt, dass für die erste Stammlösung 8g Natriumhydroxid und 30ml destilliertes Wasser in ein Becherglas gefüllt werden. Das Mischen und Lösen der Chemikalien erfolgt sowohl durch verrühren, mithilfe eines Spatel, als auch durch leichtes Schwenken des Becherglases, bis zur vollständigen Auflösung des Natriumhydroxids.

Für die zweite Stammlösung folgt eine Vermischung von 10ml Wasserstoffperoxid, welches als eine verdünnte 30%-ige Lösung vorliegt und 30ml destilliertem Wasser in einem anderen Becherglas. Anschließend folgt die Vermischung von 0,05g Luminol, welches eine molare Masse von 0,0004 besitzt und 3,75ml Natriumhydroxid-Lösung der ersten Stammlösung, welche eine molare Masse von 0,4 besitzt, in einem dritten Becherglas. Diese entstandene Lösung ergibt die dritte Stammlösung. Anschließend folgt eine Verdünnung der drei Stammlösungen. Dazu 10ml von jeder Lösung mit 70 ml destilliertem Wasser mischen. Nach diesen Vorgängen findet eine Umfüllung der fertigen Reagenz in eine Sprühflasche statt.

Die einzelnen Stammlösungen sind mehrere Monate haltbar, die fertige Reagenz ist jedoch frisch zu verwenden, da diese nur ein optimales Ergebnis erzielt, wenn sie frisch zubereitet ist. Aufgrund dessen, müssen die nächsten Schritte gleich im Anschluss erfolgen.

Zuerst die zu untersuchenden Stoffproben mit einer handelsüblichen UV-Lampe nach einer Eigenfluoreszenz überprüfen. Danach das Blut mit dem Wasser zu je den selben Anteilen in einem weiteren Becherglas verdünnen. Nach diesem Vorgang die Blut-Wasserlösung auf den zu untersuchenden Objekten verteilen und an der Luft trocknen lassen. Anschließend die zu untersuchenden Stellen des Stoffes mit der fertigen Stammlösung besprühen. Zum Schluss erfolgt die Ausrichtung der UV-Lampe auf die zu untersuchenden Stellen.

5. Beobachtung:

Das Natriumhydroxid, welches zunächst als weiß-graue kleine Stückchen vorlag, ergab mit dem destilliertem Wasser eine erste Stammlösung. Durch das Vermischen und Auflösen des Luminols, wurde diese eine farblose Lösung. Da das Wasserstoffperoxid bei diesem Versuch verdünnt verwendet wurde, lag dies als eine farblose Lösung vor und ergab aus Folge dessen mit dem destillierten Wasser auch eine farblose Lösung. Das zunächst gelb-weißliche Luminol ergab mit der ersten Stammlösung ebenfalls eine durchsichtige Lösung.

Bei der Untersuchung der Stoffe, mithilfe einer UV-Lampe wurde keine Eigenfluoreszenz festgestellt, da diese nicht zu leuchten begannen.

Nach diesem Vorgang folgte die Verteilung der Blutlösung auf den zu untersuchenden Stoffen und der Fließe, so dass diese fast nicht mehr sichtbar waren.

Durch das Besprühen der Objekte mit der Stammlösung waren keine für das Auge ersichtlichen Veränderungen zu vernehmen. Nach der Ausrichtung der UV-Lampe auf die zu untersuchenden Objekte im dunklen Raum, konnte für eine kurze Zeit ein blau-weißes Licht vernommen werden, welches schnell an Intensität verlor.

6. Auswertung:

Das Luminol ist ein sehr bekannter Chemolumineszenzstoff, weshalb seine Leuchtkraft erst durch eine Chemolumineszenz sichtbar wird. (siehe 3.4)

Aus diesem Grund zeigt dieser Stoff erst in Verbindung mit einer alkalischen Wasserstoffperoxid-

Lösung eine bläuliche Chemolumineszenz.

Bei diesem Versuch handelt es sich um eine Reaktion des Enzyms Hämkatalase.

Zu Beginn erfolgt eine Oxidation von Luminol zu einer energiereichen Verbindung. Dabei wird der Sauerstoff mithilfe des Enzyms aus dem zugesetzten Wasserstoffperoxid gebildet.

Die energiereiche Verbindung setzt in einer Retro-Diels-Alder-Reaktion, die durch das im Blut (genauer im Hämoglobin) enthaltene Protohäm katalysiert wird, Stickstoffdioxid frei. Dabei wird das Dinatriumsalz der 3-Aminophthalsäure in einem energetisch höherem Zustand gebildet.

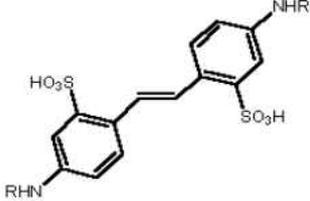
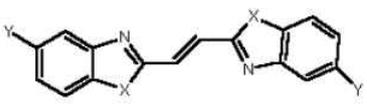
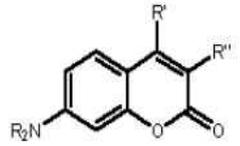
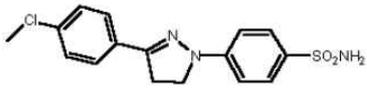
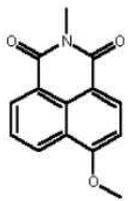
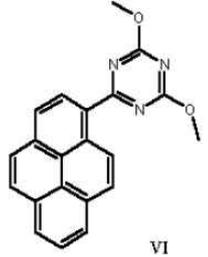
Der rote Blutfarbstoff Hämoglobin kann den zuvor gebildeten Sauerstoff auf geeignete Substrate übertragen, diese also oxidieren. Bei dieser Reaktion wird der Sauerstoff auf das vorliegende Luminol übertragen und somit in einen energetisch tieferliegenden und damit günstigeren Zustand gebracht.

Beide Stoffe reagieren zusammen zu einem lumineszierenden Produkt, welches bläulich aufleuchtet.

Durch dieses Leuchten gibt das entstandene Produkt seine überschüssige Energie an die Umgebung ab. Es handelt sich demzufolge um eine Chemolumineszenz.

Bildmaterial

M1

Gruppe	Vertreter	Eigenschaften	Verwendung
I Stilben-derivate		- etwa 80 % aller produzierten optischen Aufheller gehören dazu - charakteristisch: Doppelbindungs-system - wasserlöslich durch Sulfonsäurereste	- für Zellulose und Polyamide
II Ethylen-derivate		- enthalten zwei heteroaromatische Reste - ähnlich wie die Stilbenderivate aber wasserunlöslich	- als Zusätze in Schmelzspinnverfahren
III Coumarin-derivate		- erste optische Aufheller, vom Aesculin abgeleitet	- heute nicht mehr verwendet
IV 1,3-Diphenyl-2-pyrazoline		- kleine Gruppe	- für Proteinfasern, Zelluloseacetat und Polyamide
V Naphthal-imide		- sehr stabil	- für fast alle Materialien
VI Verbindungen aus kondensierten Aromaten mit Heteroaromaten			

<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/aufheller.htm> 04.07.2017; 16:55 Uhr

Gruppen der optischen Aufheller

M2

Gespräch mit Frau Dr. rer. nat. Juliane Sanft, Rechtsmedizin Jena (Gedankenprotokoll)

vom 27.06.2017, um 09:00 Uhr

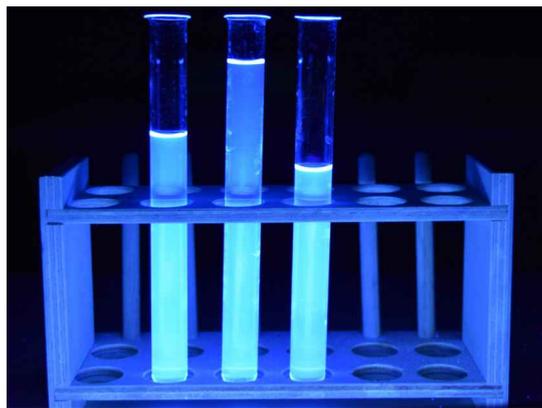
Welchen Combur-Test verwenden Sie in der Kriminalistik genau?

- Combur 10 (aber nur, weil dieser im Bestand des Klinikums ist)
 - ein Einfacherer würde auch reichen, da nur Blutfeld benötigt wird
- Welche Flüssigkeit wird auf den Teststreifen gegeben?
- Testfeld für Blut wird mit Wasser befeuchtet und auf trockene Probe gedrückt
- Wirkt diese Flüssigkeit wie ein Katalysator für den Nachweis und beschleunigt diesen?
- nein (ist nur Wasser)
- Weißt dieser Test nur menschliches Blut nach oder können auch falsch positive Ergebnisse entstehen?
- weist auch tierisches Blut nach
 - aus diesem Grund ist Ergebnis nicht falsch positiv, wenn anderes Blut vorliegt
 - falsch positive Ergebnisse können bei bestimmten Lebensmitteln auftreten, die Enzym enthalten, welches für Test als Nachweis genutzt wird
- Weshalb wird der Kastle-Meyer-Test heute nicht mehr angewendet?
- war ziemlich aufwändig die Kastle-Meyer-Reagenz herzustellen
 - bequemer ein kommerzielles Produkt zu verwenden, von welchem ausgegangen werden kann, dass dieses immer den gleichen Standard erfüllt
 - bei selbst hergestellten Lösungen müsste dies immer wieder überprüft werden
- In welchem Zeitraum wurde der Kastle-Meyer-Test bei Ihnen in der Kriminalistik ca. angewendet?
- in Jena bis ca. 2005
- Bestand die Stammlösung für den KMT aus Kaliumhydroxid, Phenolphthalein und Zinkpulver?
- ja, aber in Jena war das kein Zinkpulver, sondern ziemlich große Zinkpellets, welche die Reaktion katalysiert haben (dauerte ewig)
 - Lösung hat nicht lange gehalten und musste lichtgeschützt aufbewahrt werden, da diese sonst rosa wurde
- Wie lief der Kastle-Meyer-Test genau ab und welche Farbe zeigte er bei einer Blutspur?
- Vorbereitung der Proben vor dem Test:
 - 4 x 4cm Filterpapier wurde zweimal in der Mitte geknickt und mit gefalteter Ecke leicht über blutverdächtige Anlagerung gerieben
 - alternativ: bei Vorhandensein von ausreichend Spurenmaterial, konnte Probe des Spurenträgers mittels Schere und Pinzette ausgeschnitten werden und direkt dem Test unterzogen werden
 - Durchführung des Tests
 - Befeuchten der zu testenden Probe mit 96% Ethanol
 - Zugabe von einem Tropfen Kastle-Meyer-Reagenz
 - nach Zugabe eines Tropfens 35%-iger Wasserstoffperoxid-Lösung erfolgt Reaktion sofort
 - Ergebnis innerhalb von zwei bis drei Minuten ablesbar
 - Ablesen des Ergebnisses
 - positives Testergebnis: pinkfarbene Reaktion
 - bei frischen Blutspuren wird Vorhandensein von Blut zusätzlich durch Aufschäumen angezeigt
- Konnten bei dem Nachweis mit dem Kastle-Meyer-Test auch falsch positive Reaktionen (Ergebnisse) entstehen?
- Ja
 - Blutnachweis nach Kastle-Meyer ist enzymatischer Test und basiert auf Vorhandensein von Peroxidaseaktivität in roten Blutzellen
 - Peroxidase katalysiert Reduktion von Wasserstoffperoxid
 - Ergebnis dieser Reaktion ist Aufschäumung
 - freiwerdender Sauerstoff wird auf reduziertes Phenolphthalein übertragen und führt durch Oxidation zu Farbreaktion (pink)
 - mögliche Beeinflussung für falsch positive Ergebnisse
 - durch Kontamination der Spur mit chemischen Oxidantien (Waschmittel), bei Vorliegen von pflanzlicher Oxidase sowie bei nicht lichtgeschützter Lagerung der Kastle-Meyer-Reagenz
 - auch nach längerer Inkubation der zu testenden Probe kann es dazu kommen

Was geschieht mit den Blutspuren, wenn Sie diese nachweisen konnten? (Reihenfolge)

- Spuren werden nach blutverdächtigen oder sekretverdächtigen Anlagerungen untersucht
- dann folgt Blutvortest und Entnahme einer Probe aus diesem Bereich für die DNA-Analyse
- anschließend wird DNA extrahiert und menschliche DNA quantifiziert
- wenn diese in ausreichender Menge vorliegt, wird DNA in den Bereichen vervielfältigt, welche die Rechtsmediziner interessieren und nach Vervielfältigung wird dieses Produkt mittels Gel-Elektrophorese analysiert
- Ergebnis der Gel-Elektrophorese wird mit Ergebnis von Vergleichsproben von Personen verglichen
- zum Schluss wird geprüft, wer Spur verursacht hat

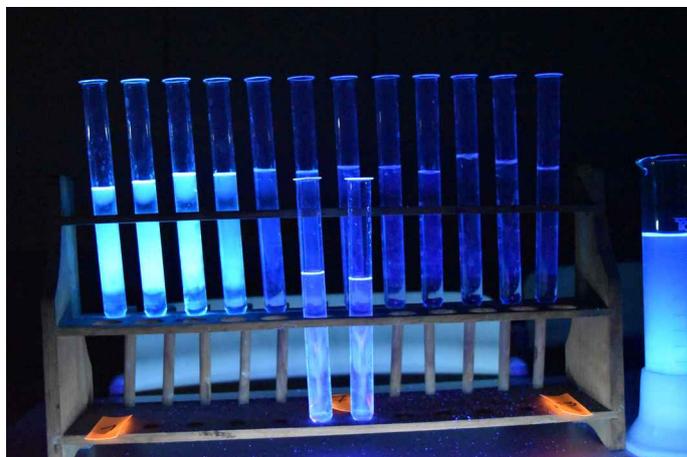
M3



Eigenes Foto aus Bildsammlung 19.04.2017; 14:36 Uhr

Limptar[®]N- Tablettenlösungen (links: 1 Tablette, Mitte: 2 Tabletten; rechts 3 Tabletten in H₂O)

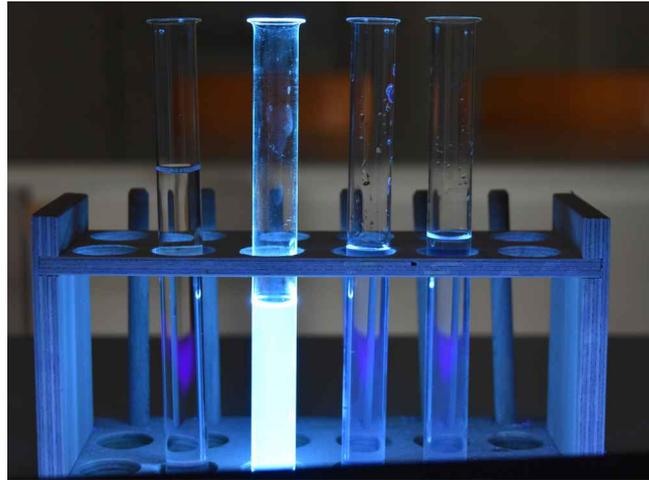
M4



Eigenes Foto aus Bildsammlung 07.06.2017; 13:19 Uhr

Limptar[®]N- Tablettenlösungen in den pH-Werten 1 (links) bis 13 (rechts) vorne pH-Wert 7

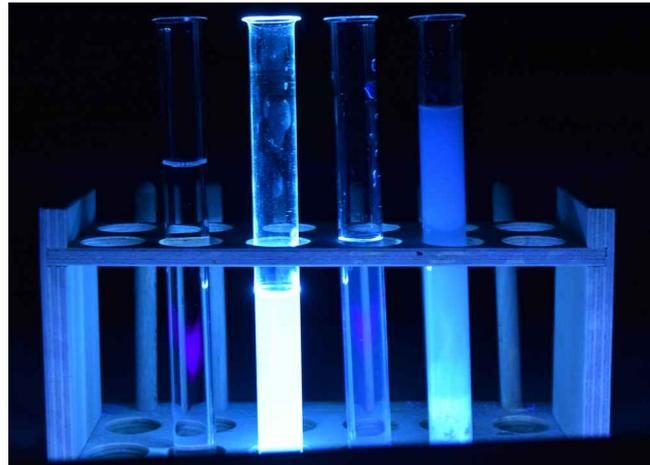
M5



Eigenes Foto aus Bildsammlung 19.04.2017; 14:39 Uhr

von links nach rechts: H_2O , Limptar[®]N- Tablettenlösung,
2 mal Limptar[®]N- Tablettenlösung und NaCl

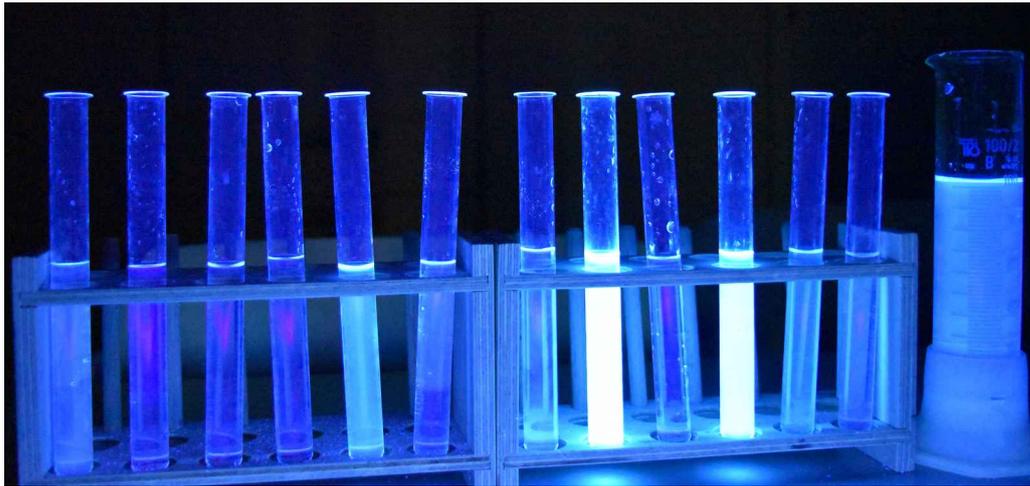
M6



Eigenes Foto aus Bildsammlung 19.04.2017; 14:40 Uhr

von links nach rechts: H_2O , Limptar[®]N- Tablettenlösung, Limptar[®]N- Tablettenlösung und NaCl,
Limptar[®]N- Tablettenlösung und NaCl nach Zugabe von AgNO_3

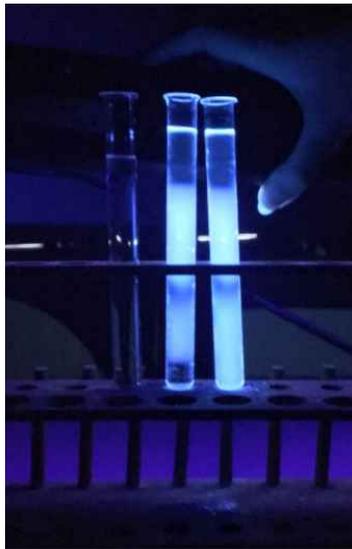
M7



Eigenes Foto aus Bildsammlung 07.06.2017; 13:04 Uhr

Limptar[®]N- Tablettenlösung in (von links nach rechts) H₂O, KCl, KBr, KI, KNO₃, NaSO₄, H₂O, KHSO₄, K₂HPO₄, KH₂PO₄, K₂S₂O₅, K₂CO₃

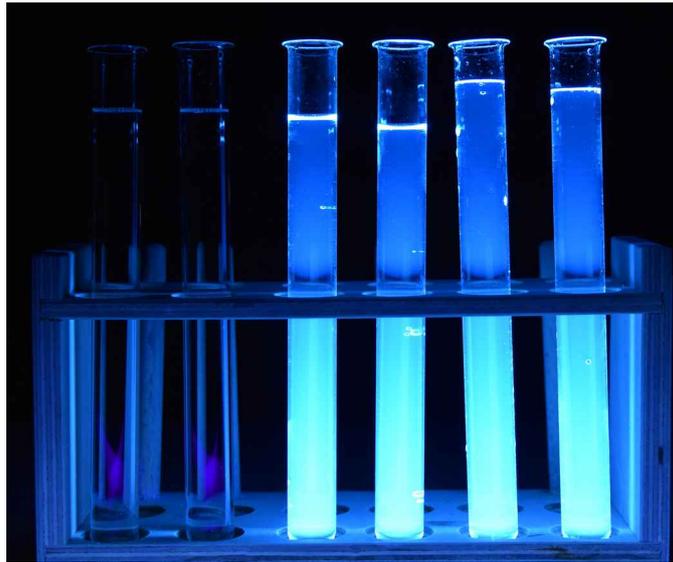
M8



Eigenes Foto aus Bildsammlung 29.09.2017; 09:13 Uhr

von links nach rechts: H₂O, Limptar[®]N- Tablettenlösung in KNO₃,
Limptar[®]N- Tablettenlösung

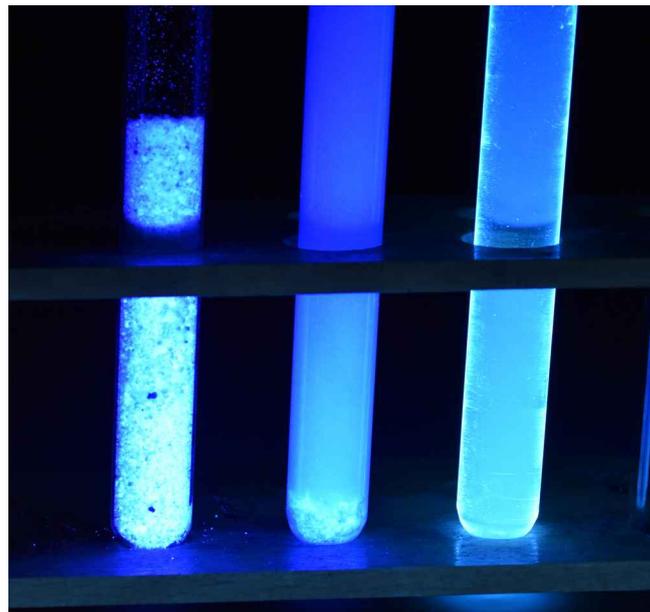
M9



Eigenes Foto aus Bildsammlung 18.04.2017; 11:58 Uhr

von links nach rechts: 2 mal H₂O, 2 mal Tonic Water der Firma Schweppes®,
2 mal Tonic Water der Firma River; unter UV-Licht

M10



Eigenes Foto aus Bildsammlung 19.04.2017; 11:43 Uhr

von links nach rechts: Vollwaschmittel, Vollwaschmittel in Lösung,
optischer Aufheller in Lösung; unter UV-Licht

M11



Eigenes Foto aus Bildsammlung 18.04.2017; 13:19 Uhr

Luminolreaktion ohne Farbstoffe

M12



Eigenes Foto aus Bildsammlung 18.04.2017; 13:20 Uhr

Luminolreaktion mit Farbstoff Fluorescein

M13



Eigenes Foto aus Bildsammlung 18.04.2017; 13:20 Uhr

Luminolreaktion mit Farbstoff Rhodamin B

M14



Eigenes Foto aus Bildsammlung 19.04.2017; 12:56 Uhr

„Licht zum Mitnehmen“

M15



Eigenes Foto aus Bildsammlung 08.06.2017; 13:11 Uhr

selbstgebaute Knicklichter (je links) im Vergleich zu den industriell hergestellten (je rechts)

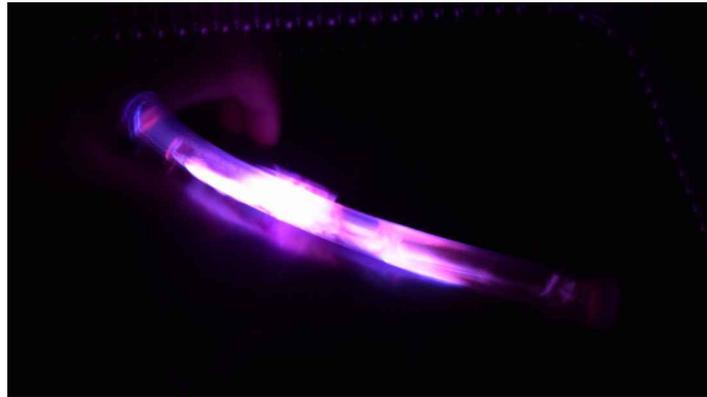
M16



Eigenes Foto aus Bildsammlung 08.06.2017; 13:16 Uhr

blaues Knicklicht im Vergleich zu dem industriell hergestellten nach dem Knicken

M17



Eigenes Foto aus Bildsammlung 08.06.2017; 13:21 Uhr

rosa Knicklicht nach dem Knicken

M18



Eigenes Foto aus Bildsammlung 08.06.2017; 13:24 Uhr

grünes Knicklicht nach dem Knicken

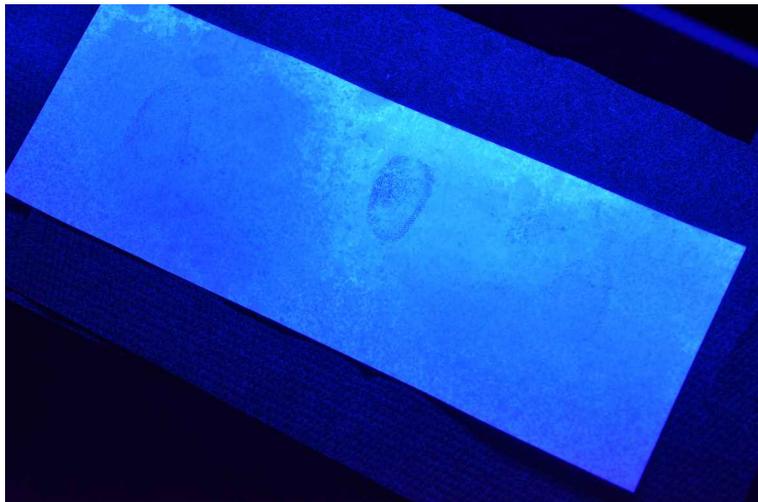
M19



Eigenes Foto aus Bildsammlung 06.06.2017; 10:45 Uhr

Versuchsdurchführung

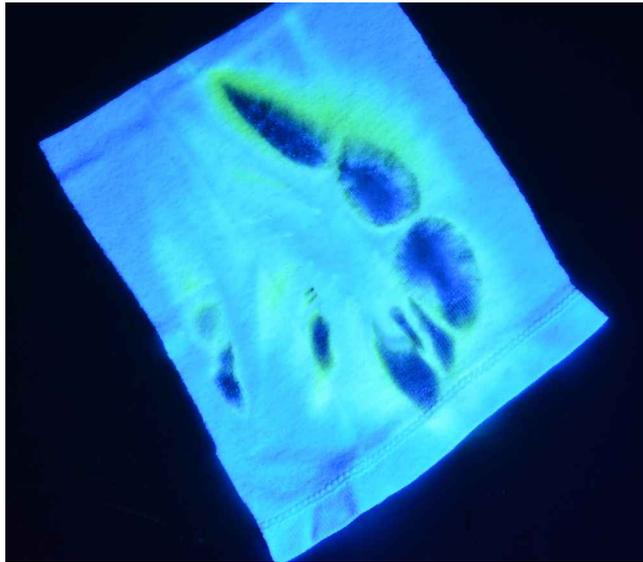
M20



Eigenes Foto aus Bildsammlung 06.06.2017; 11:03 Uhr

**Fingerabdrucknachweis mithilfe von Silbernitrat,
im Dunkeln unter UV-Licht**

M21



Eigenes Foto aus Bildsammlung 18.04.2017; 12:15 Uhr

Blutspurennachweis mithilfe von Fluorescein,
im Dunkeln unter UV-Licht

M22



Eigenes Foto aus Bildsammlung 19.04.2017; 13:19 Uhr

Blutspurennachweis mithilfe von Luminol,
im Dunkeln unter UV-Licht

Danksagung

Ohne fachkundige Hilfe wäre die Bearbeitung dieses Themas sicher nicht möglich gewesen. Aus diesem Grund möchte sich unsere Fachgruppe bei allen uns unterstützenden Personen bedanken.

Ein großer Dank gilt Frau Juliane Sanft, welche uns zahlreiche Informationen bezüglich der Rechtsmedizin Jena übermittelte und uns für weitere Fragen zur Verfügung stand.

Ein ebenso großes Dankeschön geht an Herrn Kriminalhauptkommissar Zborowski von der Kriminalpolizei für die zur Verfügung gestellten umfangreichen Materialien.

Unserer Fachlehrerin Frau Kerstin Jürgens und unserer Betreuerin Frau Clarissa Kaminski danken wir für die Zusammenarbeit während der Erstellung der Facharbeit. Sie standen uns immer tatkräftig zur Seite und halfen uns über Probleme hinweg.

Des Weiteren geht unser Dank an Herrn Möller, welcher bei unseren Experimenten Unterstützung leistete und uns mit seinem Wissen gerade bei der Erklärung chemischer Vorgänge weiterhalf.

Zusätzlich möchten wir uns bei unseren Eltern und Geschwistern bedanken, die uns stets neuen Mut zusprachen und uns durch kostbare Ratschläge unterstützten.

Literaturverzeichnis

Buchquellen:

- „Das Beste für den Tatort Kriminaltechnik-Forensik-Verkehrstechnik“ Ausgabe 2016/2017
Dr. ARNOLD, K., u.a., 2010, Chemie Oberstufe Gesamtband, Berlin: Cornelsen Volk und Wissen
Dr. rer. nat. PÖTSCH, W. R. u.a., 1988, Lexikon bedeutender Chemiker, VEB Bibliographisches Institut Leipzig
LYLE, D. P., CSI-Forensik FÜR DUMMIES, 3. Auflage 2016, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co.
ROESKY, H.W. und MÖCKEL, K., 1994, 1996, Chemische Kabinettstücke, VCH Weinheim

Internetquellen:

- http://www.chemie.de/lexikon/Optische_Aufheller.html 03.07.2017
https://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_560402
03.07.2017
http://www.chemieunterricht.de/dc2/wsuh/haush/kap_043.htm 04.07.2017
<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/aufheller.htm> 28.12.2016
http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 11.12.2016
<https://www.simplyscience.ch/teens-liesnach-archiv/articles/wie-funktioniert-ein-knicklicht.html> 12.08.2017
<http://www.kids-and-science.de/wiefunktioniert/detailansicht/datum/2009/10/20/wie-funktionierenknicklichter.html> 12.08.2017
<http://www.scienceinschool.org/de/2011/issue19/chemiluminescence#box3> 12.08.2017
<https://www.wissenschaft-im-dialog.de/projekte/wieso/artikel/beitrag/wieso-genannte-knicklichter/12.08.2017>
<http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/chemolumineszenz/chemolumineszenz.htm>
11.10.2016
http://timms.uni-tuebingen.de/Player/PlayerFlow/UT_20070324_001_bayersymp_0001 08.07.2017
http://www.chids.de/dachs/expvotr/593Chemilumineszenz_Flender_Scan.pdf 06.08.17
https://www.conatex.com/media/experiments/VADE/VADE_Chemie_Chemolumineszenz.pdf 06.08.2017
http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_lumin.html 06.08.2017
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/energie/luminol.htm> 06.08.2017
<http://www.chemie.de/lexikon/Luminol.html> 06.08.2017
<http://www.bookrags.com/research/luminol-chmc/#gsc.tab=0> 07.08.2017
<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/Luminol.htm> 07.08.2017
<https://www.degruyter.com/view/j/zpch.1928.136.issue-1/zpch-1928-13625/zpch-1928-13625.xml> 16.09.2017
<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/mitscherlich.htm> 16.09.2017
<http://www.chemie.de/lexikon/Quenching-Effekt.html> 26.07.2017
http://research.uni-leipzig.de/mop/lectures/VorlesungWS2012_2013/28.%20Vorlesung%2021.1.2013.pdf 26.07.2017
https://www.tu-ilmenau.de/fileadmin/media/mrt/documents/lab_courses/Fluoreszenz-Quenching_BTC.pdf 26.07.2017
<http://www.radicals.uni-freiburg.de/ak/mitarbeiterinnen/biskup/pcg-fluoreszenz> 26.07.2017
https://www.vis.bayern.de/ernaehrung/lebensmittel/gruppen/chinin_getraenke.htm 24.07.2017
<http://www.bild.de/ratgeber/evergreen/ratgeber/warum-leuchtet-tonic-water-unter->

[schwarzlicht-45448954.bild.html](http://www.schwarzlicht-45448954.bild.html) 26.07.2017
http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/09_00.htm 01.08.2017
<http://www.chemie.de/lexikon/Fluoreszenz.html> 08.09.2016
http://www.univie.ac.at/mikroskopie/3_fluoreszenz/definition/1_einleitung.htm 28.09.2017
<http://www.bdsoft.de/demo/index.htm?demo/physik/lexikon/f/fluoreszenz.htm> 28.09.2017
<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/fluoreszenz.htm> 28.09.2017
http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000002316/08_8_Fluoreszenz_Untersuchungen.pdf?hosts 28.09.2017
<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/fluoreszenz.htm> 28.09.2017
<http://chids.online.uni-marburg.de/dachs/expvotr/649.pdf> 08.07.2017
<https://studieren.de/forensik.0.html> 08.05.2017
<http://www.remed.uniklinikum-jena.de/Arbeitsbereiche+und+Dienstleistungen/Forensische+Medizin/Blutspurenmusteranalyse.html> 02.09.2017
<https://crimeandscience.de/tl/Versuch-2-d--Nachweis-mit-Silbernitrat.htm> 29.09.2017
<http://www.chemie.de/lexikon/Kastle-Meyer-Test.html> 26.07.2017
<https://www.praxisdienst.de/Laborbedarf/Tests/Harnteststreifen+und+Stuhltests/Urinsteststreifen/Combur+10+Test+100+Urinsteststreifen.html> 26.07.2017
<http://illumina-chemie.de/leukofluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html> 11.12.2016
<http://flexikon.doccheck.com/de/Fluorescein> 26.01.2017
<http://illumina-chemie.de/leukofluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top> 11.12.2016
<http://www.chemikalienlexikon.de/cheminfo/0221-lex.htm> 30.06.2017
<http://www.chemieunterricht.de/dc2/energie/luminol.htm> 28.06.2017
<https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/agnespockelslab/download/taeter/blutspuren.pdf> 30.09.2017
<http://www.scienceinschool.org/de/2011/issue19/chemiluminescence> 08.06.2017
<http://www.organik.chemie.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/pdf/erlebnis/forensik.pdf> 28.08.2017
<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/Luminol.htm> 16.08.2017
http://wiki2.benecke.com/index.php?title=2006_Archiv_f%C3%Bcr_Kriminologie:_Wirkung_des_Sp%C3%Bclmittels_%22Fit%22_auf_die_Luminol-Fluoreszenz 20.04.2017
<http://www.experimentalchemie.de/versuch-042.htm> 21.04.2017
<http://www.chemieonline.de/forum/archive/index.php/t-52302.htm> 25.07.2017
<http://www.grin.com/de/e-book/195839/forensische-chemie-die-kunst-der-analytik> 27.10.2016
<http://www.chemie.de/lexikon/Silbernitrat.html> 10.03.2017
<https://www.eviscan.com/de/82/methoden-zur-sichtbarmachung-von-fingerabdruecken/> 05.11.2016
<https://www.coloprint.de/kriminaltechnik/blutspurensicherung/kastle-meyer-test/> 28.07.2017
<http://www.sickingengymnasium.de/chemie/chemie-der-kriminalistik> 28.08.2017
<http://www.chemieonline.de/forum/showthread.php?t=104074> 05.10.2017
<http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/biolumineszenz.htm> 01.10.2017
<http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/biolumineszenz/8709> 01.10.2017
http://www.chemgapedia.de/vsengine/vlu/vsc/de/ch/8/bc/vlu/biokatalyse_enzyme/chemilumineszenz.vlu.html 01.10.2017
https://www.wissenschaft-aktuell.de/extra_rubriken/Biolumineszenz__Wenn_Lebewesen_leuchten.html 01.10.2017
<http://www.scienceinschool.org/de/content/lebendiges-licht-die-chemie-der-biolumineszenz-0> 24.09.2017
<http://frederikezeichnerin.blogspot.de/2014/10/biolumineszenz-facharbeit.html> 24.09.2017

<http://archiv.korallenriff.de/algen2003.html> 24.09.2017
<http://hallimasch-und-mollymauk.de/hallimasch-das-groesste-lebewesen-der-welt/> 24.09.2017
<http://www.chemieunterricht-interaktiv.de/lerneinheiten/lichtundfarbe/htmlseiten/kalteslicht/geschichte.html> 30.09.2017
<http://www.duden.de/rechtschreibung/absorbieren> 04.10.2017
<https://www.chemie-schule.de/KnowHow/Absorptionsbande> 04.10.2017
<https://prezi.com/m/q6-t7lre3wcv/sicherung-von-fingeradruken-und-blutspuren/> 04.10.2017
<http://www.chemie.de/lexikon/Chromophor.html> 04.10.2017
<http://www.chemgapedia.de/vsengine/glossary/de/deprotonierung.glos.html> 04.10.2017
<http://www.chemie.de/lexikon/Desaktivierung.html> 04.10.2017
<http://www.bedeutung-von-woertern.com/Dinoflagellaten> 04.10.2017
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Emission> 04.10.2017
http://www.chemie.de/lexikon/Exergone_und_endergone_Reaktion.html 04.10.2017
<http://www.duden.de/rechtschreibung/Fluorophor> 04.10.2017
<https://www.gesundheit.de/lexika/medizin-lexikon/immunoassay> 04.10.2017
<https://www.merriam-webster.com/dictionary/luciferase> 04.10.2017
<http://www.spektrum.de/lexikon/biochemie/luciferin/3683> 04.10.2017
<http://www.eineiige-zwillinge-online.de/unterschiede.htm> 04.10.2017
<http://www.chemie.de/lexikon/Protonierung.html> 04.10.2017
<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/singulett-zustand/13324> 04.10.2017
<http://www.spektrum.de/lexikon/physik/triplett/14771> 04.10.2017
https://www.google.de/urlsa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=4&ved=0ahUKEwicpKSgndfWAhXi8AKHaMZBIEQFgg6MAM&url=htt%3A%2F%2Fdodo.fb06.fh-muenchen.de%2Fmaier%2Fanalytik%2FBlatter2FN081_Absorptionsanwendungen1_a_Baneu.pdf&usg=AOvVaw0RNHTTBreeGfiWnyfPKDvf 04.10.2017

Sonstige Quellen:

WEIß, D. und BRANDL, D., 2013, Fluoreszenzfarbstoffe in der Natur, Chem. Unserer Zeit, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Volume 47, 122 – 131

FÖRSTER, T., Fluoreszenz organischer Verbindungen, gefunden auf <https://books.google.de> 04.08.2017

Antwort des Schwepes- Kundenservice auf E-Mailanfrage
 Antwort des River- Kundenservice auf E-Mailanfrage

Eigenübersetzung aus http://sites.chem.colostate.edu/diverdi/C475/experiments/time_domain_fluorescence_of_acqueous_quinine/references/int_j_chem_kinetics_2000_v32_p473.pdf 05.08.2017

Antwort des Kriminalhauptkommissars Zborowski 21.08.2017

Gedankenprotokoll Juliane Sanft (1,2,5,6,7,8) 27.06.2017

<https://www.youtube.com/watch?v=14EP3b58QUE> 16.08.2017
https://www.youtube.com/watch?v=OwFMJC7SQ_I 16.08.2017
<https://www.youtube.com/watch?v=xE14w5C8Sas> 16.08.2017
<https://www.youtube.com/watch?v=-qKgBIF7tAo> 16.08.2017
https://www.youtube.com/watch?v=7_3cDZ3yVrg 24.09.2017
<https://www.youtube.com/watch?v=-qKgBIF7tAo> 03.10.2017
<https://youtu.be/-qKgBIF7tAo> 01.08.2017

Bildquellen:

Abb.1: http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/09_00.htm 03.08.2017

Abb.2: Eigene Darstellung nach <https://youtu.be/-qKgBIF7tAo> 01.08.2017

Abb.3: <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/Luminol.htm>
07.08.2017

Abb.4: [http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/
Lumineszenz_Henkel.pdf](http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf) 06.08.2017

Abb.5a: [https://www.simplyscience.ch/teens-wissen/articles/wie-funktioniert-
knicklicht.html](https://www.simplyscience.ch/teens-wissen/articles/wie-funktioniert-knicklicht.html) 01.10.2017 ein-

Abb.6: vgl. [https://www.simplyscience.ch/teens-wissen/articles/wie-
funktioniert-ein-knicklicht.html](https://www.simplyscience.ch/teens-wissen/articles/wie-funktioniert-ein-knicklicht.html) 01.20.2017

Abb.7: [https://crimeandscience.de/tl/Versuch-2-d--Nachweis-mit-
Silbernitrat.htm](https://crimeandscience.de/tl/Versuch-2-d--Nachweis-mit-Silbernitrat.htm) 24.09.2017

Abb.8: ebenda

Abb.9: [http://illumina-chemie.de/leukofluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-
latente-blutspuren-t3532.html#top](http://illumina-chemie.de/leukofluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top) 11.12.2016

Abb.10: ebenda

Abb.11: ebenda

Abb.12: ebenda

weitere Bilder sind aus eigener Bildersammlung

Quellenverzeichnis

- 1 vgl. <http://www.chemie.de/lexikon/Fluoreszenz.html> 28.09.2017; 17:40 Uhr
- 2 http://www.univie.ac.at/mikroskopie/3_fluoreszenz/definition/1_einleitung.htm 28.09.2017; 17:50 Uhr
- 3 vgl. <http://www.bdsoft.de/demo/index.htm?demo/physik/lexikon/f/fluoreszenz.htm> 28.09.2017; 18:00 Uhr
- 4 vgl. <http://www.chemie.de/lexikon/Fluoreszenz.html> 28.09.2017; 17:40 Uhr
- 5 vgl. <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/fluoreszenz.htm> 28.09.2017; 18:30 Uhr
- 39 vgl. http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000002316/08_8_Fluoreszenz_Untersuchungen.pdf?hosts 28.09.2017; 18:00 Uhr
- 6 vgl. http://www.univie.ac.at/mikroskopie/3_fluoreszenz/definition/1_einleitung.htm 28.09.2017; 17:50 Uhr
- 7 http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000002316/08_8_Fluoreszenz_Untersuchungen.pdf?hosts 28.09.2017; 18:00 Uhr
- 8 vgl. http://www.diss.fu-berlin.de/diss/servlets/MCRFileNodeServlet/FUDISS_derivate_00000002316/08_8_Fluoreszenz_Untersuchungen.pdf?hosts 28.09.2017; 18:00 Uhr
- 9 <https://www.youtube.com/watch?v=-qKgBIF7tAo> 03.10.2017; 12:05 Uhr
- 10 vgl. <https://www.youtube.com/watch?v=-qKgBIF7tAo> 03.10.2017; 12:12 Uhr
- 11 <http://www.chemie.de/lexikon/Fluoreszenz.html> 02.10.2017; 19:47 Uhr
- 12 vgl. <http://www.chemie.de/lexikon/Quenching-Effekt.html> 26.07.2017; 14:50 Uhr
- 13 vgl. <http://www.radicals.uni-freiburg.de/ak/mitarbeiterinnen/biskup/pcg-fluoreszenz> 26.07.2017; 19:08 Uhr
- 14 vgl. https://www.tu-ilmnenau.de/fileadmin/media/mrt/documents/lab_courses/Fluoreszenz-Quenching_BTC.pdf 26.07.2017; 18:57 Uhr
- 15 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 26.07.2017; 14:38 Uhr
- 16 vgl. http://research.uni-leipzig.de/mop/lectures/VorlesungWS2012_2013/28.%20Vorlesung%2021.1.2013.pdf 26.07.2017; 14:45 Uhr
- 17 <http://www.radicals.uni-freiburg.de/ak/mitarbeiterinnen/biskup/pcg-fluoreszenz> 26.07.2017; 19:08 Uhr
- 18 vgl. <http://www.chemie.de/lexikon/Quenching-Effekt.html> 26.07.2017; 14:50 Uhr
- 19 vgl. https://www.vis.bayern.de/ernaehrung/lebensmittel/gruppen/chinin_getraenke.htm 24.07.2017; 15:40 Uhr
- 20 vgl. WEIß, D. und BRANDL, D., 2013, Fluoreszenzfarbstoffe in der Natur, Chem. Unserer Zeit, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Volume 47, 122 – 131
- 21 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 25.07.2017; 16:50 Uhr
- 22 vgl. WEIß, D. und BRANDL, D., 2013, Fluoreszenzfarbstoffe in der Natur, Chem. Unserer Zeit, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Volume 47, 122 – 131
- 23 ebenda
- 24 vgl. https://www.vis.bayern.de/ernaehrung/lebensmittel/gruppen/chinin_getraenke.htm 24.07.2017; 15:40 Uhr
- 25 vgl. https://www.vis.bayern.de/ernaehrung/lebensmittel/gruppen/chinin_getraenke.htm 24.07.2017; 15:40 Uhr
- 26 Antwort des Schweppeps®- Kundenservice auf E-Mailanfrage (siehe M1)
- 27 Antwort des River- Kundenservice auf E-Mailanfrage (siehe M2)
- 28 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 25.07.2017; 16:50 Uhr
- 29 <http://www.bild.de/ratgeber/evergreen/ratgeber/warum-leuchtet-tonic-water-unterswarzlicht-45448954.bild.html> 26.07.2017; 14:10 Uhr
- 30 vgl. <http://www.bild.de/ratgeber/evergreen/ratgeber/warum-leuchtet-tonic-water-unterswarzlicht-45448954.bild.html> 26.07.2017; 14:10 Uhr
- 31 vgl. http://www.chemieunterricht.de/dc2/tip/09_00.htm 01.08.2017; 13:00 Uhr
- 32 vgl. WEIß, D. und BRANDL, D., 2013, Fluoreszenzfarbstoffe in der Natur, Chem. Unserer Zeit, Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH&Co. KGaA, Volume 47, 122 – 131
- 33 vgl. Eigenübersetzung aus http://sites.chem.colostate.edu/diverdi/C475/experiments/time_domain_fluorescence_of_aqueous_quinine/references/int_j_chem_kinetics_2000_v32_p473.pdf 05.08.2017; 15:19
- 34 vgl. FÖRSTER, T., Fluoreszenz organischer Verbindungen, gefunden auf <https://books.google.de> 04.08.2017; 12:41 Uhr
- 35 vgl. https://www.dispersions-pigments.basf.com/portal/basf/ien/dt.jsp?setCursor=1_560402 03.07.2017; 12:17 Uhr
- 36 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 11.12.2016; 17:35 Uhr
- 37 vgl. Dr. ARNOLD, K., u.a., 2010, Chemie Oberstufe Gesamtband, Berlin: Cornelsen Volk und Wissen, Seite 485
- 38 vgl. http://www.chemie.de/lexikon/Optische_Aufheller.html 03.07.2017; 12:13 Uhr
- 40 http://www.chemie.de/lexikon/Optische_Aufheller.html 17.09.2017; 14:26
- 41 ebenda
- 42 vgl. http://www.chemieunterricht.de/dc2/wsu-haush/kap_043.htm 04.07.2017; 16:50 Uhr
- 43 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 11.12.2016; 17:35 Uhr
- 44 http://www.chemie.de/lexikon/Optische_Aufheller.html 17.09.2017; 14:22
- 45 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 17.09.2017; 13:42
- 46 <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/aufheller.htm> 28.12.2016; 16:05 Uhr
- 47 vgl. <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/aufheller.htm> 28.12.2016; 16:05 Uhr
- 48 vgl. Dr. ARNOLD, K., u.a., 2010, Chemie Oberstufe Gesamtband, Berlin: Cornelsen Volk und Wissen, Seite 485
- 49 vgl. http://www.chemie.de/lexikon/Optische_Aufheller.html 03.07.2017; 12:13 Uhr
- 50 vgl. <http://www.kids-and-science.de/wie-funktioniert/detailansicht/datum/2009/10/20/wie-funktionierenknicklichter.html> 12.08.2017; 12:57 Uhr
- 51 vgl. http://timms.uni-tuebingen.de/Player/PlayerFlow/UT_20070324_001_bayersymp_0001 24.07.2017; 12:13 Uhr
- 52 <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/chemolumineszenz/chemolumineszenz.htm> 11.10.2016; 17:28 Uhr
- 53 vgl. <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/chemolumineszenz/chemolumineszenz.htm> 11.10.2016; 17:28 Uhr
- 54 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 08.07.2017; 14:47 Uhr
- 55 vgl. http://timms.uni-tuebingen.de/Player/PlayerFlow/UT_20070324_001_bayersymp_0001 08.07.2017; 13:46 Uhr
- 56 <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/chemolumineszenz/chemolumineszenz.htm> 11.10.2016; 17:28 Uhr
- 57 ebenda
- 58 vgl. <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/chemolumineszenz/chemolumineszenz.htm> 11.10.2016; 17:28 Uhr
- 59 vgl. <https://youtu.be/-qKgBIF7tAo> 01.08.2017; 15:29 Uhr
- 60 http://www.chids.de/dachs/expvotr/593Chemilumineszenz_Flender_Scan.pdf 06.08.2017; 13:57 Uhr

- 61 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 08.07.2017; 14:47 Uhr
- 62 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 08.07.2017; 14:48 Uhr
- 63 vgl. https://www.conatex.com/media/experiments/VADE/VADE_Chemie_Chemolumineszenz.pdf 06.08.2017; 17:23 Uhr
- 64 vgl. <https://www.degruyter.com/view/j/zipch.1928.136.issue-1/zipch-1928-13625/zipch-1928-13625.xml> 16.09.2017; 17:17 Uhr
- 65 vgl. <http://www.bookrags.com/research/luminol-chmc/#gsc.tab=0> 07.08.2017; 13:36 Uhr
- 66 vgl. <http://www.chemie.de/lexikon/Luminol.html> 06.08.2017; 17:40 Uhr
- 67 vgl. http://www.seilnacht.com/Chemie/ch_lumin.html 06.08.2017; 17:19 Uhr
- 68 vgl. http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 06.08.2017; 17:49 Uhr
- 69 <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/Luminol.htm> 07.08.2017; 14:22 Uhr
- 70 http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 06.08.2017; 17:49 Uhr
- 71 vgl. <http://www.chemieunterricht.de/dc2/energie/luminol.htm> 06.08.2017; 17:29 Uhr
- 72 vgl. <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/Luminol.htm> 07.08.2017; 14:22 Uhr
- 73 vgl. <https://www.wissenschaft-im-dialog.de/projekte/wieso/artikel/beitrag/wie-funktionieren-sogenannte-knicklichter/> 12.08.17; 12:59 Uhr
- 74 vgl. <https://www.simpyscience.ch/teens-liesnach-archiv/articles/wie-funktioniert-ein-knicklicht.html> 12.08.17; 13:06 Uhr
- 75 vgl. <http://www.scienceinschool.org/de/2011/issue19/chemiluminescence#box3> 12.08.17; 12:52 Uhr
- 76 ebenda
- 77 <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/1914> 04.10.2017; 11:49 Uhr
- 78 vgl. <https://studieren.de/forensik.0.html> 08.05.2017; 15:30 Uhr
- 79 vgl. <http://www.remmed.uniklinikum-jena.de/Arbeitsbereiche+und+Dienstleistungen/Forensische+Medizin/Blutspurenmusteranalyse.html> 02.09.2017; 13:30 Uhr
- 80 vgl. Antwort des Kriminalhauptkommissars Zborowski (2.1) 21.08.2017 (M5)
- 81 vgl. Antwort des Kriminalhauptkommissars Zborowski (2.2) 21.08.2017 (M5)
- 82 vgl. Antwort des Kriminalhauptkommissars Zborowski (3.1) 21.08.2017 (M5)
- 83 vgl. <https://crimeandscience.de/tl/Versuch-2-d-Nachweis--mit-Silbernitrat.htm> 29.09.2017; 17:25 Uhr
- 84 vgl. Antwort des Kriminalhauptkommissars Zborowski (3.2) 21.08.2017 (M5)
- 85 vgl. Das Beste für den Tatort Kriminaltechnik-Forensik-Verkehrstechnik; Ausgabe 2016/2017; Colorpint GmbH, Düsseldorf S.18
- 86 vgl. Das Beste für den Tatort Kriminaltechnik-Forensik-Verkehrstechnik; Ausgabe 2016/2017; Colorpint GmbH, Düsseldorf S.20
- 87 vgl. Gedankenprotokoll Juliane Sanft (1,2,5,6,7,8) 27.06.2017 (siehe M4)
- 88 vgl. <http://www.chemie.de/lexikon/Kastle-Meyer-Test.html> 15:30 Uhr; 26.07.2017
- 89 vgl. Gedankenprotokoll Juliane Sanft (1,2,5,6,7,8) 27.06.2017 (siehe M4)
- 90 vgl. Gedankenprotokoll Juliane Sanft (1,2,5,6,7,8) 27.06.2017 (siehe M4)
- 91 vgl. <https://www.praxisdienst.de/Laborbedarf/Tests/Harnteststreifen+und+Stuhltests/Urinsteststreifen/Combur+10+Test+100+Urinsteststreifen.html> 26.07.2017; 15:30Uhr
- 92 vgl. LYLE, D. P.: CSI-Forensik FÜR DUMMIES, 3. Auflage 2016, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., Seite 265 f.
- 93 vgl. <http://illumina-chemie.de/leuko fluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html> 11.12.2016; 13:40 Uhr
- 94 vgl. LYLE, D. P.: CSI-Forensik FÜR DUMMIES, 3. Auflage 2016, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co., Seite 265 f.
- 95 vgl. <http://illumina-chemie.de/leuko fluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html> 11.12.2016; 13:40 Uhr
- 96 vgl. <http://flexikon.doccheck.com/de/Fluorescein> 26.01.2017; 20:20 Uhr
- 97 vgl. <http://illumina-chemie.de/leuko fluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top> 11.12.2016; 13:40 Uhr
- 98 vgl. <http://flexikon.doccheck.com/de/Fluorescein> 26.01.2017; 20:20 Uhr
- 99 vgl. <http://www.chemikalienlexikon.de/cheminfo/0221-lex.htm> 30.06.2017; 14:20 Uhr
- 100 vgl. <http://illumina-chemie.de/leuko fluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top> 11.12.2016; 13:40 Uhr
- 101 vgl. <http://www.chemikalienlexikon.de/cheminfo/0221-lex.htm> 30.06.2017; 14:20 Uhr
- 102 vgl. <http://www.chemieunterricht.de/dc2/energie/luminol.htm> 28.06.2017; 16:30 Uhr
- 103 vgl. <https://www.tu-braunschweig.de/Medien-DB/agnespockelslab/download/taeter/blutspuren.pdf> 30.09.2017; 15:00 Uhr
- 104 vgl. <http://www.scienceinschool.org/de/2011/issue19/chemiluminescence> 08.06.2017; 18:08 Uhr
- 105 vgl. <http://www-organik.chemie.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/pdf/erlebnis/forensik.pdf> 28.08.2017; 13:00 Uhr
- 106 vgl. <http://www.scienceinschool.org/de/2011/issue19/chemiluminescence> 08.06.2017; 18:08 Uhr
- 107 vgl. Gebrauchsinformation Limptar[®]N
- 108 nach: http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 28.12.2016; 16:49 Uhr
- 109 vgl. Antwort des Schwepes[®]- Kundenservice auf E-Mailanfrage
- 110 vgl. Antwort des River- Kundenservice auf E-Mailanfrage
- 111 nach: http://www.chids.de/dachs/wiss_hausarbeiten/Lumineszenz_Henkel/Lumineszenz_Henkel.pdf 28.12.2016; 16:05 Uhr
- 112 nach: <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/1914> 02.01.2017; 14:03 Uhr
- 113 nach: https://www.conatex.com/media/experiments/VADE/VADE_Chemie_Chemolumineszenz.pdf 02.01.2017; 15:33 Uhr
- 114 nach: <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/1914> 02.01.2017; 14:03 Uhr
- 115 nach: <http://chids.online.uni-marburg.de/dachs/expvotr/649.pdf> 08.07.2017; 15:30 Uhr
- 116 nach: <http://illumina-chemie.de/leuko fluoreszein-als-nachweisreagenz-fuer-latente-blutspuren-t3532.html#top> 11.12.2016; 13:40 Uhr
- 117 nach: http://wiki2.benecke.com/index.php?title=2006_Archiv_f%C3%BCr_Kriminologie:_Wirkung_des_Sp%C3%BCrmitte ls_%22Fit%22_auf_die_Luminol-Fluoreszenz 20.04.2017; 15:24 Uhr

Eigenständigkeitserklärung

Hiermit erklären wir, dass wir die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Hilfsmittel verwendet habe.

Insbesondere versichern wir, dass wir alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken als solche kenntlich gemacht habe.