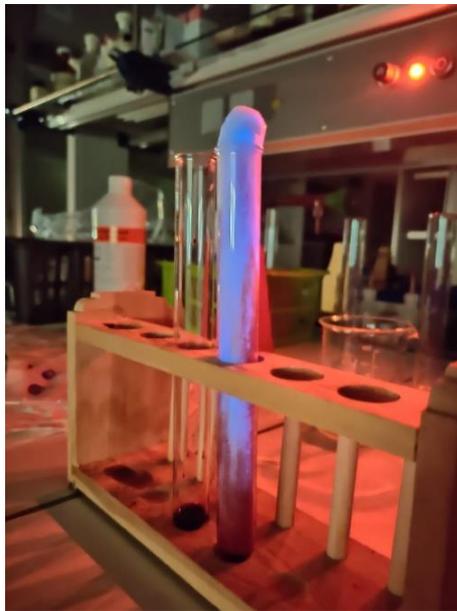


Gymnasium Mariengarden
Staatlich anerkanntes Gymnasium der Hünfelder Oblaten
Vennweg 6, 46325 Borken-Burlo

Blut in der forensischen Chemie

Blutnachweis mit Wasserstoffperoxid und Luminol



Fach: Chemie

Kurs: Grundkurs 1, Q1

Fachlehrer: Nicolas Efing

Vorgelegt von: Lisa Koch

Datum der Themenausgabe: 03.03.2020

Die Arbeit wurde abgegeben am: 02.06.2020

Die vorliegende Arbeit erhält die Note:

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	2
2. Naturwissenschaftliche Kriminalistik	3
2.1. Definition Forensik	3
2.2. Geschichte der Forensik	4
2.3. Definition Serologie.....	5
3. Blut (lat. Sanguis).....	5
3.1 Porphyrine.....	6
3.2. Häm und Hämoglobin.....	7
4. Nachweis von „frischen“ Blutspuren.....	8
4.1. Wasserstoffperoxid	9
4.2. Experiment: Zersetzung von Wasserstoffperoxid durch Blut	9
5. Chemilumineszenz, das kalte Licht.....	11
5.1. Entdeckung des chemischen Leuchtens.....	11
5.2. Prinzip der Chemilumineszenz	13
6. Blutnachweis (mit Luminol)	14
6.1. Luminol.....	14
6.2. Experiment: Luminol-Nachweisreaktion.....	15
7. Fazit.....	19
8. Anhang	20
9. Literaturverzeichnis.....	24
10. Selbstständigkeitserklärung.....	27

1. Einleitung

Wer kennt es nicht: Schaltet man abends den Fernseher an, wird man überhäuft von Kriminalserien wie CSI Miami oder Criminal Minds. Selbst beim beliebten Sonntagabend-Krimi in der ARD sind die Kriminalkommissare auf die Hilfe des Forensikers angewiesen, um Gesetzesbrecher hinter Gitter zu bringen. Nach dem Prinzip „Jeder Kontakt hinterlässt eine Spur“, ermitteln heute Kriminologen, um dem Täter auf die Schliche zu kommen. Auch Blutspuren geben aufschlussreiche Hinweise an einem Tatort. Sie können Angaben über Täter, Opfer, Tatort, Tatwaffe sowie die Tatzeit geben.

“There is nothing more deceptive than an obvious fact”¹ (aus “The Boscombe Valley Mystery”), sagte einmal der vielleicht berühmteste Forensiker Sherlock Holmes.

Am Tatort gefundenes Blut scheint auf den ersten Blick nichts Ungewöhnliches zu sein. Aber wie erfolgt ein Nachweis? Handelt es sich tatsächlich um Blut oder ist es eine Täuschung? Könnte es vielleicht auch nur Kunstblut oder rote Farbe sein?

Blut verfügt über Katalysatoren, die in der Lage sind Wasserstoffperoxid in Sauerstoff und Wasser zu zersetzen. Blutflecken bilden in Kombination mit Wasserstoffperoxid Schaum auf ihrer Oberfläche. Sichtbare Blutspuren können demzufolge identifiziert werden. Dies reicht aber nicht aus für einen hundertprozentigen Nachweis.

Der entstandene Sauerstoff reagiert mit einem weiteren Nachweisreagenz, dem sogenannten Luminol, unter dem Auftreten einer blauen Chemolumineszenz.

Dieser Nachweisversuch bezieht sich auf die allseits bekannte Filmszene: Frisch am Tatort eingetroffen, beginnen die Ermittler, diesen abzudunkeln und mit einer Flüssigkeit zu besprühen. Von irgendwo zeigt sich dann ein bläuliches Leuchten und der Verdacht bestätigt sich: Hier wurde Blut vergossen. Das sieht nicht nur vor der Kamera gut aus. Auch in der realen Welt kommen jene Methoden zum Einsatz.

Nicht immer wurde die Leiche am Fundort ermordet, und der wirkliche Tatort wurde so gründlich gereinigt, dass Blutspuren kaum zu erkennen sind. Hier werden bestimmte Methoden zum Nachweis von sogenannten latenten Blutspuren benötigt.

Metallkomplexe in unserem Blut sind für die forensische Wissenschaft von großer Bedeutung.

¹ Kameron, Kent Searle, Sherlock Holmes Quotes, <http://sherlockholmesquotes.com/>, Stand: 29.04.2020

Welchen Stellenwert sie beim Nachweis von sichtbaren sowie latenten Blutspuren besitzen, wird im Laufe dieser Arbeit im Detail beschrieben.

2. Naturwissenschaftliche Kriminalistik

Das Verbrechen ist vermutlich schon so alt wie die Menschheit selbst. Genauso alt ist der Wunsch, dem Täter auf die Spur zu kommen. „Wer hat wann und was getan?“ Die Beantwortung dieser Frage ist Aufgabe der Forensik.

2.1. Definition Forensik

Der Begriff Forensik stammt ursprünglich aus dem lateinischen und bedeutet „Forum“ (Marktplatz). Im alten Rom war das Stadtforum der Mittelpunkt von Händlern, Politikern, Gelehrten und Bürgern. Es wurde genutzt, um über Neuigkeiten vom Tage zu diskutieren und hatte große Bedeutung als Zentrum für die Staatsjustiz. Gerichtsverfahren oder auch der Strafvollzug wurden in aller Öffentlichkeit auf dem Marktplatz ausgeführt.

Zur heutigen Zeit wird Forensik als eine Anwendung der wissenschaftlichen Disziplinen auf das Gesetz definiert. Wissenschaftliche Erkenntnisse werden eingesetzt um herauszufinden, wie ein Opfer gestorben ist und idealerweise um feststellen zu können, wer dafür die Verantwortung trägt. Die forensische Wissenschaft lässt sich in viele einzelne Themenbereiche unterteilen. Von der forensischen Psychiatrie, die sich mit psychischen Erkrankungen der Straftäter auseinandersetzt, bis zu einem etwas neueren Bereich, der digitalen Forensik, die die Computerkriminalität auf ein neues Level bringt. Bezogen auf die naturwissenschaftliche Disziplin beschäftigen sich Experten in forensischen Laboratorien mit der forensischen Toxikologie (Lehre von Drogen und Giftstoffen) oder auch mit der forensischen Serologie (Lehre vom Blut). Schlussendlich ist das Ziel der Forensik mithilfe der naturwissenschaftlichen Verfahren gewisse Fragen zu beantworten. Diese können lauten: „Wann und wie starb das Opfer?“ oder auch „Was sagt die Art und der Ort von Blutspuren über den Tatverlauf aus?“.²

² Dr. Siller, Helmut, Definition: „Was ist Forensik?“, <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/forensik-53390>, Stand: 10.04.2020

2.2. Geschichte der Forensik

Die forensische Wissenschaft brauchte einen langen Weg bis sie als ein eindeutiges und verlässliches Beweismittel zur Aufklärung von Kriminalfällen anerkannt wurde. Bis Ende des 18. Jahrhunderts lehnten Polizeibeamte die Hilfe der Wissenschaft noch vollständig ab. Morde und Verbrechen wurden ausschließlich auf der Grundlage von Augenzeugenaussagen und Geständnissen gelöst. Dabei wurden oftmals Geständnisse erzwungen, zum Beispiel durch Androhung von Folter oder dessen Anwendung. Offiziell wurde die Folter als ein Mittel der Gerichtspraxis erst in der Mitte des 18. Jahrhunderts abgeschafft. Mit der Zeit erkannte man, dass die Zeugenaussagen nicht objektiv waren und von dem Willen und der Fähigkeit des Zeugen abhingen, sich zu erinnern. Die Einbeziehung der Wissenschaft war jedoch nicht so einfach. Viele Polizisten besaßen keine Kenntnisse über die Fähigkeit der Wissenschaft, was dazu beitrug, dass Spuren am Tatort nicht vollständig gesichert wurden, um für die Analyse im Labor brauchbar zu sein.³

Kriminalwissenschaftliche Labore wurden erst nach der Jahrhundertwende fester Bestandteil der Kriminalarbeit. In ihnen wurden gerichtsmedizinische, physikalische, ballistische, mikroskopische und vor allem chemische Tests durchgeführt. Das chemische Staatslaboratorium wurde von 1893 bis 1910 von Max Eugen Hermann Dennstedt geleitet. Wer mit frischem Blut an Händen und Kleidung ertappt wurde, konnte sich zu dieser Zeit, bei Flecken mit Verweis auf Farbe, Kaffee oder anderen Flüssigkeiten herausreden. Dennstedt war es 1897 allerdings gelungen, Blutspuren auf einem massiv verdreckten Kittel nachzuweisen. Es stellte sich heraus, dass die blutähnlichen Flecken durch Ölfarbe entstanden waren. Dennstedt gab jedoch nicht auf und fand schlussendlich in der Nähe der oberen Ärmelnaht zwanzig kleine Spritzflecken, die höchst wahrscheinlich beim zweiten Schlag mit einem flachen Gegenstand entstanden sein mussten. Er behielt Recht, denn es handelte sich um Blut. Ein freischwebendes rotes Tröpfchen lieferte den Beweis. Der Tropfen wurde mithilfe des Häminkristallnachweises als Blut identifiziert.⁴ Dieser sogenannte Teichmann-Test war das erste Nachweisreagenz für Blut. Der Test läuft so ab, dass Blut auf einem Objektträger mit Essigsäure versetzt wird und entstehende

³ Becker, Peter, Scharfer Blick und Alupulver, in: Zeit Geschichte Nr. 1/2018, 30. Januar 2018, S. 1

⁴ Becker, Peter, Das Labor wird Assistent der Kriminalpolizei, in: Zeit Geschichte Nr. 1/2018, 30. Januar 2018, S. 3

Häminkristalle mikroskopisch untersucht werden (weitere Informationen über Häme und Hämine siehe Kapitel 4.2.).⁵

Die Welt dreht sich immer weiter und insoweit nimmt die Wissenschaft auch ihren Lauf. Neue Erkenntnisse in der Chemie, Biologie und Physik revolutionierten immer wieder die forensische Wissenschaft. Neue Techniken wie DNA-Analyse ermöglichen heute alte Fälle, die Jahrzehnte zurückliegen, mithilfe von neuen forensischen Methoden zu lösen. Die Forensik entwickelt sich immer weiter und ist schon längst ein unverzichtbarer Bestandteil in der Verbrechensaufklärung.

2.3. Definition Serologie

Die forensische Serologie befasst sich mit allen Körperflüssigkeiten, die am Tatort zurückgelassen werden. Ermittler können anhand von zum Beispiel Blut, Schweiß oder Tränen die Identität eines Tatverdächtigen oder eines Opfers ausfindig machen. Derartige biologische Flüssigkeiten können dazu beitragen eine Person zu erfassen, die latente Spuren und keine sichtbaren Fingerabdrücke zurückgelassen hat. Blut nimmt eine bedeutende Rolle in der forensischen Serologie ein, da es eine der am häufigsten zurückgelassene Flüssigkeit am Tatort ist. Serologen können auf der Grundlage von Blut ein Verbrechen aufklären, indem sie die Blutmuster und die chemische Zusammensetzung analysieren oder den Verlauf der Tat nachvollziehen, durch das Sichtbarmachen von latenten Blutspuren.⁶

3. Blut (lat. Sanguis)

Blut übernimmt zahlreiche lebensnotwendigen Funktionen und ist Dreh- und Angelpunkt des gesamten menschlichen Organismus. Aber auch außerhalb des Körpers kann es sehr nützlich sein. Forensische Ermittler können aus dem am Tatort gefundenen Blut wichtige Ergebnisse über ein Verbrechen herausfinden. Blutspuren, die von einem Unfall, einem Selbstmord oder einem Gewaltverbrechen stammen, können der Schlüssel dazu sein, um festzustellen, wie die Tat abgelaufen ist.

⁵ Weiss, Dieter; Täuscher, Eric; Brandl, Herbert; Die bunte Welt der Porphyrine, in: Chemie in unserer Zeit, 53, 2019, S. 15

⁶ Lyle, Douglas: CSI-Forensik für Dummies, 1. Auflage, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2009, S. 261

Blut besteht aus flüssigen und festen Bestandteilen. Der flüssige Anteil wird als Blutplasma bezeichnet. Er besteht zu 90% aus Wasser und macht 55% des gesamten Blutes aus. Zu den zellulären festen Bestandteilen gehören die Leukozyten (weiße Blutkörperchen), die Erythrozyten (rote Blutkörperchen) und die Thrombozyten (Blutplättchen). In der forensischen Chemie und speziell für den Blutnachweis sind die Erythrozyten von großer Bedeutung. Sie enthalten nämlich den roten Blutfarbstoff Hämoglobin. Außerdem sind sie für den Sauerstofftransport von der Lunge zu den Körperzellen und den Transport von Kohlenstoffdioxid zurück zu der Lunge zuständig.⁷

3.1 Porphyrine

Ein Porphyrin ist aus vier Pyrrolringen aufgebaut, die über Methin(CH₂)brücken miteinander verbunden sind. Das Molekül ist planar, also flach. Grund dafür ist, dass alle Atome, mit Ausnahme der zwei NH-Gruppen, sp²-hybridisiert sind⁸. Was bedeutet das? Ein Orbital beschreibt einen Raum im Gebiet um einen Atomkern, in dem sich ein Elektron bestimmten Energiegehaltes mit größter Wahrscheinlichkeit aufhält. Bei der sp²-Hybridisierung sind ein 2s-Orbital (kugelförmig) und zwei 2p-Orbitale (hantelförmig) miteinander vermischt (hybridisiert). Eines der p-Orbitale bleibt somit unverändert. Die nicht hybridisierten p-Orbitale bilden die sogenannten π -Bindungen.⁹ Die Anzahl der π -Elektronen (äußere Elektronen mit einer delokalisierten Doppelbindung), die am Ringsystem beteiligt sind, beträgt 26. 18 π -Elektronen haben die kürzeste Verbindung zwischen den Atomen. Demzufolge entspricht das Porphyrine einem aromatischen System, da die beiden Elektronenzahlen mit der Hückel-Regel übereinstimmen.⁸

Die Hückel-Regel ist eines der Erkennungskriterien von Aromaten. Sie besagt, dass für die π -Elektronen die folgende Beziehung gelten muss: $(4n+2) = \pi$ -Elektronen mit $n=0,1,2,3,..$ Setzt man nun 26 ein und formt nach n um, lautet das Ergebnis $n= 6$. Setzt man dann 18 ein, beträgt $n=4$. Somit liegt ein aromatisches System vor.¹⁰ Da nicht nur Kohlenstoff-Atome gebunden sind, sondern auch andere Atome, spricht man von Heteroaromaten. Beim

⁷ Blutspendedienst des Bayerischen Roten Kreuzes, Blutbestandteile, <https://www.blutspendedienst.com/blutspende/blut-blutgruppen/blutbestandteile>, Stand: 08.04.2020

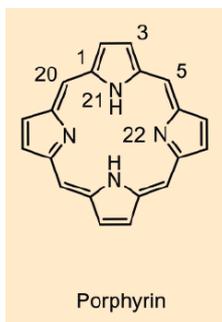
⁸ Weiss, Dieter; Täuscher, Eric; Brandl, Herbert, Die bunte Welt der Porphyrine, in: Chemie in unserer Zeit, 53, 2019, S. 12-14

⁹ Hrsg. von d. Fachred. d. Bibliogr. Inst. Bearb. Von Borucki Hans: Schülerduden „Die Chemie“, Dudenverlag, Klambt-Druck GmbH, Speyer, Bibliographisches Institut AG, Mannheim 1976, S. 263/64

¹⁰ Wiecholzek, Dagmar, Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie, „Wann ist eine Verbindung ein Aromat?“, <https://www.chemieunterricht.de/dc2/ch/cht-205.htm>, 21.01.2013, Stand: 11.04.2020

Porphyrin ist das Stickstoffatom das Heteroatom. Zudem sind die Protonen aufgrund von Tautomerie, „Eigenschaft [...] in zwei ineinander umwandelbaren Strukturen mit verschiedenen chemischen und physikalischen Eigenschaften zu existieren“¹¹, nicht an das jeweilige Stickstoffatom fixiert. Eine rote Fluoreszenz ergibt sich, wenn Porphyrine in Lösung vorliegen. Metallkomplexe mit zweiwertigen Kationen wie Fe^{2+} oder Mg^{2+} werden von Porphyrinen gebildet. Dabei sind die Stickstoffatome für die Koordination der Metalle zuständig. Ein typischer Metallkomplex von Porphyrin ist der Magnesiumkomplex in dem Chlorophyll bei Pflanzen. Ein Metallkomplex, der für die forensische Chemie von großer Bedeutung ist, ist der Eisenkomplex der Häm.⁸

Struktur Porphyrin⁸:



3.2. Häm und Hämoglobin

Häme sind die Eisenkomplexe verschiedener Porphyrine mit Eisen(II)- Ionen. Im Gegensatz werden Eisen(III)-Komplexe als Hämine bezeichnet. In verschiedenen Enzymen, wie zum Beispiel Katalase, kommen Häme als prosthetische Gruppe vor, also eine nicht Eiweiß-Komponente, die an das Enzym gebunden ist und eine katalytische Wirkung besitzt, vor. Das Hämoglobin, der rote Blutfarbstoff, ist das bekannteste Häm.⁸

Hämoglobin ist der rote Farbstoff in den Erythrozyten. Das Protein ist für den Sauerstofftransport verantwortlich und unterteilt sich in vier Untereinheiten. Jedes rote Blutkörperchen enthält ungefähr 280 Millionen Hämoglobinmoleküle. Ein Hämoglobinmolekül besteht aus einem Proteinanteil, dem Globin. Das Globin enthält vier Polypeptidketten. An diesen vier Ketten ist jeweils ein Nicht-Protein-Pigment, das Häm, gebunden. Zudem befindet sich ein Eisenion im Inneren des Hämringes.¹² Eine entscheidene

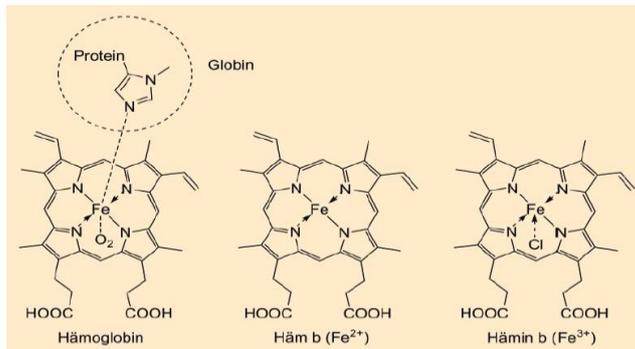
¹¹ Hrsg.von d. Fachred. d. Bibliogr. Inst. Bearb. Von Borucki Hans: Schülerduden „Die Chemie“, Dudenverlag, Klambt-Druck Gmbh, Speyer, Bibliographisches Institut AG, Mannheim 1976, S.349

¹² Jähne, Maria, Biochemie des Blutes: Hämoglobin, Blutgruppen& Hämostase, <https://www.lecturio.de/magazin/biochemie-blut/#aufbau-und-funktion-des-haemoglobins>, 01.02.2017, Stand: 06.04.2020

Rolle spielt die Häm-Gruppe beim Nachweis von Blut. Das Hämoglobin zerfällt bei der Hydrolyse mit verdünnter Salzsäure in das zuvor genannte Protein Globin und in Chlorhäm. Dieses enthält als Zentralatom ein Fe^{3+} -Ion. Seine reduzierte Form, das Häm, ist die eigentliche Wirkgruppe des Hämoglobins. Das Häm besteht aus einem Porphyrin-System, in dessen Zentrum sich ein Eisen(II)-Ion befindet. Allerdings sind nur vier der sechs Koordinationsstellen des Fe^{2+} -Ions an die Stickstoffatome des Porphinsystems gebunden. Das Eisen(II)-Ion ist zudem an die Globinkette über den Imidazolring des Histidins gebunden. Die sechste Koordinationsstelle ist mit molekularem Sauerstoff über eine lockere Additionsverbindung gebunden. Die Oxidationsstufe des Fe^{2+} wird allerdings nicht verändert.¹³ Die Häm-Gruppe ermöglicht die rote Farbe des Hämoglobins und somit die Farbe des Blutes und der Muskeln.

Als Protohäm bezeichnet man die prosthetische Gruppe (nicht aus Aminosäuren aufgeteilter Teil eines zusammengesetzten Proteins)¹⁴ einer Reihe von Hämproteinen (Hämoglobin, Katalase).¹⁵

Struktur Hämoglobin:⁸



4. Nachweis von „frischen“ Blutspuren

Der Chemiker L. J. Thénard (1777-1857) erhielt unter anderem Wasserstoffperoxid bei der Synthese von Bariumperoxid mit Salpetersäure. Nach zahlreichen weiteren Experimenten machte er die Entdeckung, dass sich das Wasserstoffperoxid bei Kontakt mit Blut in Wasser und Sauerstoff zersetzt.¹⁶ Mithilfe der Reaktion von Wasserstoffperoxid zu Wasser und

¹³ Dr. sc. Nat. Christen, Hans Rudolf: Grundlagen der Organischen Chemie Studienausgabe Teilband 2, Otto Salle Verlag, 5. Auflage 1982, S.870/871

¹⁴ Dr. Lingenhöhl, Daniel, Lexikon der Biologie, prosthetische Gruppe, <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/prosthetische-gruppe/54090>, Stand: 06.04.2020

¹⁵ Dr. Lingenhöhl, Daniel, Lexikon der Biologie, Häm, <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/haem/30438>, Stand: 06.04.2020

¹⁶ Brezesinski, Kristin; Ducci, Matthias: Smarte Blutmarker – wie aus Textmarkern und Kosmetika forensische Helfer werden, in: Chemkon 2020, 27, Nr. 2, S. 73-74

Sauerstoff, katalysiert durch das Enzym Katalase, lassen sich „neue“ (Katalasereaktivität vollständig vorhanden) Blutspuren nachweisen. Außerdem in die Zersetzung von Wasserstoffperoxid eine Teilreaktion bei dem forensischen Blutnachweis mit Luminol.

4.1. Wasserstoffperoxid

Für Wasserstoffperoxid wurde fälschlicherweise die Summenformel HO₂ verwendet. Ende des 19. Jahrhundert änderte sich dies nun durch den georgischen Chemiker P. Melikichvili und seinen Mitarbeiter L. Pizarjevski. Sie bewiesen, dass die Formel H-O-O-H richtig ist.¹⁶

Wasserstoffperoxid (H₂O₂) ist eine klare Flüssigkeit, die in einer hohen Konzentration bläulich erscheint. Der Siedepunkt beträgt 150,2° C und ab einer Temperatur von -0,43° C nimmt die Flüssigkeit eine nadelförmige, farblose Kristallform an. Mit einem pK_s-Wert von 11,62 liegt eine relativ starke Base vor. Wasserstoffperoxid ist in jedem Verhältnis mit Wasser mischbar.¹⁷ Zudem neigt die Flüssigkeit in ihrer reinen Form zu einem explosionsartigen Zerfall in Wasser und Sauerstoff. Die polarisierte Wasserstoff-Sauerstoff-Bindung in dem Molekül ist Grund für diese Instabilität.¹⁸ Wasserstoffperoxid ist ein starkes Oxidationsmittel. Bei der Zugabe werden organische Stoffe, wie das im Hämoglobin enthaltene Eisen(II) zu Eisen(III) oxidiert und Wasserstoffperoxid zu Wasser und Sauerstoff reduziert.¹⁹

Reaktion der Zersetzung: $2\text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$

4.2. Experiment: Zersetzung von Wasserstoffperoxid durch Blut

Die Reaktion von Wasserstoffperoxid und Blut stellt die Wirkung des Enzyms Katalase dar. Infolge der sichtbaren Schaumbildung lässt sich Blut nachweisen.

Chemikalien: Schweineblut (5ml), 3prozentige Wasserstoffperoxidlösung (10ml)

Geräte: Becherglas (2Stück), Schutzbrille, Schutzhandschuhe

¹⁷ Seilmann, Thomas, Wasserstoffperoxid, https://www.seilnacht.com/Chemie/ch_h2o2.htm, Stand: 07.04.2020

¹⁸ Hrsg.von d. Fachred. d. Bibliogr. Inst. Bearb. Von Borucki Hans: Schülerduden „Die Chemie“, Dudenverlag, Klambt-Druck Gmbh, Speyer, Bibliographisches Institut AG, Mannheim 1976, S.373

¹⁹ Müller, Maren; Schulreich, Christoph; Wasserstoffperoxid: Eigenschaften und Darstellung in Labor und Technik, <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/wasserstoffperoxid/wasserstoffperoxid.htm>, 27.04.2016, Stand: 07.04.2020

Versuchsdurchführung:

Zuerst werden 5ml Schweineblut in ein Becherglas überführt. Nun fügt man 10ml einer 3prozentigen Wasserstoffperoxidlösung in das Becherglas mit dem Schweineblut hinzu.

Beobachtung:

Beim Hinzufügen der Wasserstoffperoxidlösung zu dem Blut läuft unter Aufschäumen eine starke Reaktion ab. Der Schaum steigt in dem Becherglas empor. Das Blut wird leicht entfärbt, sodass die gebildete schaumige Masse eine rötlich-weiße Farbe aufweist. (weiter Fotos siehe 8.Anhang S. 20)



Erklärung:

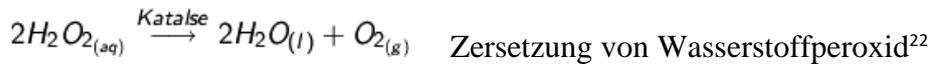
In den Erythrozyten (rote Blutkörperchen) befindet sich das Enzym Katalase. Es ist für die Spaltung von Wasserstoffperoxid in Wasser und Sauerstoff verantwortlich, in dem es die Reaktion katalysiert. Die Schaumbildung ist als Nachweis für die Zersetzung von Wasserstoffperoxid zu sehen.²⁰ Die Katalase gehört zu der Hauptgruppe der Desmolasen. Sie sind für die Oxidations- sowie Reduktionsvorgänge verantwortlich. Katalase wird das Enzym bezeichnet, welches sich im Blut befindet und speziell Wasserstoffperoxid in Wasser und Sauerstoff zersetzt.¹⁹ Katalase ist ein tetrameres Hämenzym, also ein Tetramer aus vier Polypeptidketten. Es ist aufgebaut aus Untereinheiten, welche je die Häm-Gruppe Ferriprotoporphyrin IX, ein toxisches Abbauprodukt des Hämoglobins, enthält.²¹

Die in der Katalase gebundenen Fe^{3+} -Ionen ermöglichen die Zersetzung des giftigen Wasserstoffperoxids. Es handelt sich bei der Reaktion um eine Disproportionierung, das heißt ein gleichzeitiger Übergang der Oxidationszahl von Wasserstoffperoxid in eine höhere und tiefere Oxidationszahl. Auf das Experiment bezogen beträgt die Oxidationszahl des im Wasserstoffperoxid enthaltenen Sauerstoff -1. Bei der Disproportionierung wird der Sauerstoff in eine Verbindung mit der höheren Oxidationsstufe (Wasser, Oxidationszahl:-2) umgesetzt. Zudem geht es in eine Verbindung mit niedrigerer Oxidationsstufe (molekularer

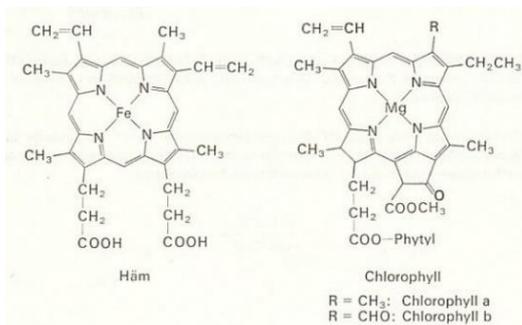
²⁰ Madea, Burkhard; Brinkmann, Bernd: Handbuch gerichtliche Medizin Band 2, Springer Verlag Berlin Heidelberg, Berlin 2003, S. 1011

²¹ Dr. Lingenhöhl, Daniel, Komplexlexikon der Biologie Katalase, <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/katalase/6258>, Stand: 07.04.2020

Sauerstoff, Oxidationszahl:0) über. Die Schaumbildung signalisiert den freiwerdenden Sauerstoff, der zum Teil den roten Blutfarbstoff entfärbt.²²



Allerdings ist dieser Nachweis nicht ausreichend um in der forensischen Chemie Blutspuren nachzuweisen. Der Grund dafür ist, dass die Zersetzung von Wasserstoffperoxid (unter Schaumbildung) auch durch Chlorophyll, dem grünen Farbstoff von Pflanzen, katalysiert werden kann. Chlorophyll ist strukturell eng mit dem Häm verwandt. Seine beiden Komponenten, dem Chlorophyll a und dem Chlorophyll b, enthalten beide das Porphin-Grundgerüst. Im Gegensatz zum Häm enthalten die Chlorophylle ein Mg^{2+} -Ion als Zentralion.¹³ Außerdem befindet sich Katalase nicht ausschließlich im menschlichen Blut, auch in Lebensmitteln wie zum Beispiel Kartoffeln, ist das Enzym enthalten.¹³



Graphik: Struktur Häm und Chlorophyll im Vergleich¹³

5. Chemilumineszenz, das kalte Licht

Bei einer Lumineszenzerscheinung gehen Moleküle von einem angeregten Zustand in den Grundzustand über. Diese Reaktion wird durch die Abgabe von „kaltem“ Licht sichtbar. Dies stellt die Form der Energieabgabe der Moleküle dar. Die Chemilumineszenz hebt sich von der Fluoreszenz ab, indem die angeregten Moleküle infolge einer chemischen Reaktion entstehen und nicht erst durch UV-Licht angeregt werden müssen.²³

5.1. Entdeckung des chemischen Leuchtens

Viele Menschen im 15. Jahrhundert träumten davon Gold selber herzustellen. Immer mehr Menschen wandten sich der Alchemie zu und versuchten einen „Stein der Weisen“ zu

²² Prof. Dr. Hofsäss, Hans Christian, Georg-August-Universität Göttingen, Versuch 47: "Eisbecher": Zersetzung von Wasserstoffperoxid durch Blut, <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/2571>, Stand: 07.04.2020

²³ G. Braun, R. Heinze, M. Müller, Energetische Kopplung, Lumineszenzversuche Grundlagen, <http://www.braun-sha.de/Experimente/Lumineszenzversuche.pdf>, 2004, Stand: 09.04.2020

entwickeln, der in der Lage sein sollte Silber in Gold umzuwandeln. So auch der Hamburger Apotheker Henning Brand. Im Jahre 1669 gelang ihm eine außergewöhnliche Entdeckung. Er destillierte Menschenurin so lange bis eine schwarze Masse entstand. Diese erhitzte er 16 Stunden lang in einem verschlossenen Steingefäß. Brand beobachtete weiße Dämpfe, die sich schlussendlich zu einem festen Körper veränderten.²⁴ Die eigentliche Entdeckung war jedoch das eigenartige Licht, welches entstand. Dieses Licht schien nicht zu glühen oder zu brennen, sondern leuchtete sogar für einige Zeit unter Wasser.²⁵

Er nannte dieses Phänomen „Phosphorus mirabilis“. Diese kalt leuchtende Substanz stellte sich später als Entdeckung des Phosphors heraus.

Henning Brand hielt zunächst seine Entdeckung geheim, allerdings entstanden sehr schnell Gerüchte über einen „Stein der Weisen“, was zur Folge hatte, dass viele Alchemisten nach Hamburg eilten, um ihm die Versuchsrezeptur zu entlocken. Brand bewarte jedoch Stillschweigen gegenüber dem Alchemisten und Glasmacher Johannes Knüchel. Seine Geldnot führte jedoch schlussendlich zum Verkauf seines vorrätigen Phosphors an den Kaufmann Johann Daniel Kraft. Dieser erträumte sich aus dem Phosphor Gold herzustellen, was ihm nicht gelang. Trotzdem wurde er reich, infolge der Vorführung des „kalten Leuchtens“. 1678 erhielt Brand durch Gottfried Wilhelm Leibniz eine Anstellung beim Herzog von Hannover. Er sollte Phosphor produzieren, allerdings kündigte er nach kurzer Zeit, aufgrund des zu geringen Lohns. Nach seiner Rückkehr nach Hamburg 1679 verlieren sich seine Spuren.

Schlussendlich hat Hennig Brand das chemische Element Phosphor entdeckt und den Übergang von der Alchemie zur naturwissenschaftlichen Chemie ermöglicht. Sein Vorgehen wurde jedoch nur in einem Brief an Leibniz schriftlich festgehalten, was das genaue Datum seiner Entdeckung nur erahnen lässt.²⁴ Mit der Entdeckung der Phosphor-Chemolumineszenz wurde ein wichtiger Zweig in Bezug auf die forensische Chemie und Untersuchung krimineller Vergehen entwickelt.²⁶

²⁴ Westhoff, Andrea, Apotheker Hennig Brand entdeckt den Phosphor, https://www.deutschlandfunk.de/vor-350-jahren-apotheker-hennig-brand-entdeckte-den-phosphor.871.de.html?dram:article_id=462132, 31.10.2019, Stand: 06.04.2020

²⁵ Dr. Dr. habil Priesner, Claus: Der Stein des Lichtes- Elementargeschichte des Phosphors, In: Spektrum der Wissenschaft 3, 1995, S.78

²⁶ Kniep, Dr. Carina, Wer wir sind- was was wir tun, <https://www.gdch.de/netzwerkstrukturen/fachstrukturen/ag-phosphorchemie.html>, 17.03.2020, Stand: 06.04.2020

5.2. Prinzip der Chemilumineszenz

Das Auftreten von „chemischen oder kalten Licht“ basiert auf dem Phänomen der Lumineszenz. Diese beschreibt zusammengefasst den Prozess von einem Elektron, dass von einem höheren Zustand in seinen Grundzustand wieder zurückfällt. Die überschüssige Energie wird dann in Form von Licht abgegeben. Um dies zu gewährleisten, muss zuerst das Elektron in einen Angeregten Zustand befördert werden. Das kann auf verschiedene Weise geschehen: mechanisch (Tribolumineszenz), elektrisch (Elektrolumineszenz), thermisch (Thermolumineszenz) oder chemisch (Chemilumineszenz, Biolumineszenz).²⁷

Die für die forensische Chemie wichtige Lumineszenz ist die Chemilumineszenz, auch Chemolumineszenz genannt. Die Besonderheit der Chemolumineszenz besteht darin, dass die Emission von Licht ausschließlich durch eine chemische Reaktion erreicht wird. Da das ausgesendete sichtbare oder ultraviolette Licht unterhalb der Glühtemperatur der beteiligten Substanz liegt, wird oft auch von einem „kalten Licht“ gesprochen.²⁸

Einem Molekül muss von außen Energie zugefügt werden, infolge einer chemischen Reaktion. Das Außenelektron nimmt diese Energie auf, es erreicht einen Angeregten Zustand, und wechselt somit in ein höher gelegenes Orbital (S1). Dadurch dass sich das Elektron nur einige Nanosekunden dort aufhalten kann, zerfällt es wieder in seinen Ausgangsorbital (S0) und gibt dabei die vorher aufgenommene Energie, als Photon, wieder ab.²⁷ Die Energie wird von chemischer in elektronische Energie umgewandelt. Zudem erfolgt die Energieabgabe in einem Schritt. Der Reaktionsmechanismus vieler Chemolumineszenz-Reaktionen ist noch nicht vollständig geklärt und bewiesen worden.²⁸

Chemolumineszenz kann nur ermöglicht werden, wenn folgende Aspekte erfüllt werden. Zuerst muss genügend Energie aufgebracht werden. Also eine exergonische (thermodynamisch günstige) Reaktion, die 160-320kJ/mol liefert, muss sichergestellt werden. Weiterhin muss ein Molekül bereitstehen, dass sich in einen Angeregten Zustand überführen lässt.²⁸ Das ist teilweise schwer zu ermöglichen, da die Energiehyperfläche des Grundzustandes (S0) und des Angeregten Zustandes (S1) einen geringen Abstand zueinander aufweisen müssen, damit ein erfolgreichen Übergang in den Angeregten Zustand erfolgen kann. Verbindungen wie Luminol können eine hohe Quantenausbeute erzielen und sind demzufolge heutzutage immer noch sehr gefragt, denn viele andere Moleküle weisen

²⁷ Dr. Weiß, Dieter, Lumineszenz, <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/lumineszenz.htm>, Stand: 13.04.2020

²⁸ Döfler, Andreas, Chemolumineszenz, <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/chemolumineszenz/chemolumineszenz.htm>, 13.11.2015, Stand: 13.04.2020

kleine Änderungen auf, die eine Emission stark abschwächen oder verhindern können. Dies beschreibt auch die dritte Voraussetzung. Und zwar muss, wie schon erwähnt, die Chemolumineszenz-Quantenausbeute möglichst hoch sein.²⁹

6. Blutnachweis (mit Luminol)

Täter versuchen häufig Blutspuren von Wänden oder Fußböden zu reinigen. Um diese vermutlich mit Blut kontaminierten Bereiche für das menschliche Auge sichtbar zu machen, wird in der Forensik mit fluoreszierenden chemischen Substanzen gearbeitet. Dazu wird der Raum abgedunkelt und auf Bereiche die Substanz gesprüht. Blutflecken beginnen zu leuchten. Somit wird die Gegenwart von Blut bewiesen, allerdings findet auch eine deutliche Abgrenzung des Areals statt. Weitere Spuren wie Fingerabdrücke geraten nun in diesem abgrenzenden Bereich in den Mittelpunkt.

6.1. Luminol

Luminol($C_8H_7N_3O_2$), auch 5-Amino-2,3-dihydro-1,4-phthalazindion oder 3-Aminophthalhydroxid genannt, ist ein hellgelbes, kristallines Pulver. Es weist eine Wasserunlöslichkeit auf, ist jedoch in organischen Lösungsmitteln und in alkalisch, wässrigen Milieu löslich. 3-Aminophthalhydroxid besitzt eine Molmasse von 177,161 g/mol und siedet bei einer Temperatur von 330,5° C. Luminol kann eine starke Chemolumineszenz aufweisen bei der Verbindung mit dem Oxidationsmittel Wasserstoffperoxid in einer alkalischen Lösung, in der Schwermetallionen enthalten sind.³⁰

Die Entdeckung der in alkalischer Lösung auftretenden Chemilumineszenz wurde 1928 von H. O. Albrecht publiziert. Für die Synthese von Luminol benötigt man Phthalsäure³¹, ein Strukturisomeres des Benzoldicarbonsäuren.³² Phthalsäure wird zu 3-Nitrophthalsäure nitriert.³⁰ Unter einer Nitrierung versteht man eine Reaktion, bei der eine Nitrogruppe ($-NO_2$) in organische Verbindungen eingeführt wird. Dabei wird eine C-N-Bindung geknüpft. Die Nitrierung wird mit Nitriersäure (1 Teil konzentrierter Salpetersäure und 2 Teile

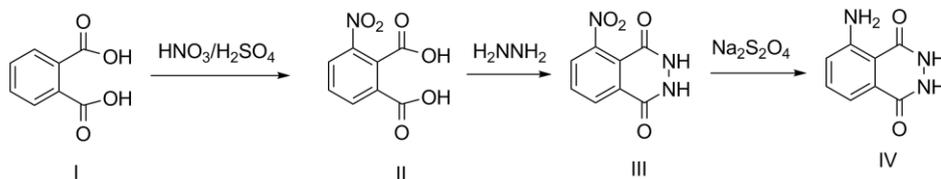
²⁹ Dr. Weiß, Dieter, Chemilumineszenz- Reaktionen fürs Auge, <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/chemilumi.html>, Stand: 13.04.2020

³⁰ Seilnacht, Thomas, Luminol, https://www.seilnacht.com/Chemie/ch_lumin.html, Stand: 06.04.2020

³¹ Dr. Weiß, Dieter, Chemilumineszenz mit Luminol, <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/Luminol.htm>, Stand: 06.04.2020

³² Dr. Lingenhöhl, Daniel, Lexikon der Chemie Phthalsäure, <https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/phthalsaeure/7115>, Stand: 06.04.2020

konzentrierter Schwefelsäure) durchgeführt und funktioniert sehr gut bei Aromaten.³³ 3-Nitrophthalsäure reagiert mit Hydrazinhydrat ($\text{N}_2\text{H}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) zu Hydrazid. Schlussendlich wird das cyclische Hydrazid mit Natriumdithionit ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$) zu 3-Aminophthalhydrazid reduziert. Die Synthese kann beschleunigt werden, indem Hydrazin in einer Eintropfreaktion hergestellt wird. Dabei wird 3-Nitrophthalsäure mit Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) in einen Ester als Zwischenprodukt überführt. Schlussendlich reagiert Hydrazin (H_2NNH_2) mit dem Ester zu Luminol. Bei diesem Schritt erfolgt zum einen die Herstellung des Hydrazides, sowie die Reduzierung der Nitrogruppe. Diese Eintropfreaktion ermöglicht somit eine Zwei-Stufen-Synthese.³¹



Synthese Luminol³¹

6.2. Experiment: Luminol-Nachweisreaktion

„Blut als leuchtendes Indiz“, diese Aussage kann erreicht werden durch die Reaktion von Luminol mit Wasserstoffperoxid, unter der Einwirkung des Katalysators Protohäm. Es tritt ein chemisches, kaltes Leuchten, die Chemilumineszenz, auf. Eine der gebräuchlichsten, fluoreszierenden Chemikalien ist Luminol (3-Aminophthalsäurehydrazid). Luminol kann äußerst geringe Mengen an Blut sichtbar machen, auch wenn diese Bereiche gereinigt wurden (kein Reiniger mit Chlorbleiche) oder Wände überstrichen wurden. Bei Konzentrationen von weniger als eins zu zehn Millionen (0,1 ppm, ppm= parts per million) findet eine Reaktion statt.³⁴ Hämin fungiert bei der Luminol-Reaktion als Katalysator. Schon 1937 hat der Jenaer Chemiker und Kriminologe Walter Specht¹⁶ 3-Aminophthalsäurehydrazid als ein gut funktionierendes Reagenz für den Nachweis von latenten Blutspuren im Bereich der Kriminalistik bezeichnet.⁸

Chemikalien: 0,2g Luminol, 4,0g Natriumcarbonat, 50ml Wasser, 50ml Wasserstoffperoxid, Blut

³³ Hrsg. von d. Fachred. d. Bibliogr. Inst. Bearb. von Borucki Hans: Schülerduden „Die Chemie“, Dudenverlag, Klambt-Druck GmbH, Speyer, Bibliographisches Institut AG, Mannheim 1976, S. 253

³⁴ Lyle, Douglas: CSI-Forensik für Dummies, 1. Auflage, WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, Weinheim 2009, S. 265

Geräte: Becherglas, Messzylinder, Sprühflasche, Reagenzglas, Pipette, mit Blut kontaminierter Stoff und Messer, Glasstab

Versuchsdurchführung:

Es werden 0,2g Luminol und 4,0g Natriumcarbonat in 50ml Wasser gelöst. Daraufhin werden 50ml der Wasserstoffperoxidlösung mithilfe des Messzylinders abgemessen und zu der Lösung hinzugegeben.³⁵

Versuch 1: Nun wird die gelbliche Lösung in die Sprühflasche gefüllt. Nach dem Abdunkeln des Raumes sprüht man diese Lösung auf den mit Blut kontaminierten Stoff. (Fotos siehe 8. Anhang S. 21)

Versuch 2: Die gleiche Lösung wird auf das (zuvor von Blut mit einem Papiertuch gereinigte) Messer gesprüht. (Fotos siehe 8. Anhang S. 21)

Versuch 3: In ein Reagenzglas werden 3ml Blut getropft. Anschließend werden 2ml der Lösung hinzugegeben. (Fotos siehe 8. Anhang S. 22-23)

Beobachtung:

Bei allen drei verschiedenen Ausführungen des Versuches ist nach dem Abdunkeln des Raumes, ein blaues Leuchten im Bereich von den Blutflecken zu beobachten. Das Messer, welches zuvor vom Blut gereinigt wurde und keine mit dem Auge sichtbare Blutspuren mehr aufweist, gibt ein schwaches, aber deutlich erkennbares bläuliches Leuchten ab. Zudem bildet sich auf der Oberfläche des Stoffes, sowie auf der Klinge des Messers ein weißlicher Schaum.



Die Schaumbildung ist sehr deutlich bei der Reaktion im Reagenzglas zu beobachten.

Beim Erhellern des Raumes ist eine leichte, rötliche Verfärbung des gebildeten Schaumes festzustellen. (weitere Fotos siehe 8. Anhang S. 21-23)



³⁵ Wich, Peter, Forensik-Leuchtendes Blut, <https://www.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/pdf/erlebnis/forensik.pdf>, Status: 11.04.2020

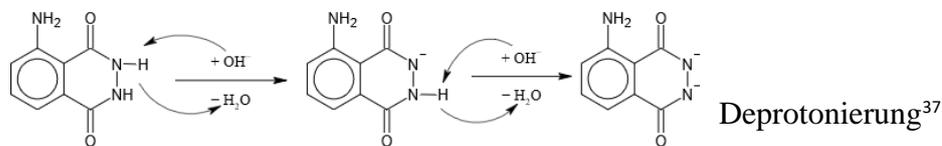
Erklärung:

Zuvor ist festzuhalten, dass der Mechanismus der Chemolumineszenz mit Luminol noch nicht vollständig bewiesen wurde, sodass es zu möglichen Abweichungen abhängig von unterschiedlichen Quellen kommen kann. Nachgewiesen ist jedoch die Fähigkeit der im Häm enthaltenen Eisen-Ionen als Katalysator zu wirken und somit die Bildung des Angeregten Aminophthalsäuredianions, das unter Lichtemission in den Grundzustand übergeht, zu katalysieren.³⁶

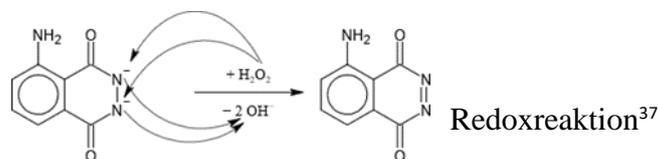
Die alkalische Lösung aus Luminol und Wasserstoffperoxid erzeugt eine blaue Chemolumineszenz.

Der erste Teil der Reaktion beschreibt eine Oxidation von Luminol zu einer energiereichen Verbindung.³⁵ Dabei oxidiert eine reaktive Sauerstoffspezies das Luminol und leitet somit die Reaktionskette ein.³⁶ Der nun folgende Mechanismus ist noch nicht vollends geklärt, stellt aber eine relativ wahrscheinliche und nachvollziehbare Möglichkeit dar.

Im ersten Schritt findet eine Deprotonierung der zwei NH-Gruppen des Luminols statt. Dies erfolgt durch die Hydroxidionen, die das Natriumcarbonat zu Verfügung stellt.³⁷



Darauffolgend ereignet sich eine Redoxreaktion. Wasserstoffperoxid wird zu zwei Hydroxidionen reduziert und eine Oxidation der zwei negativ geladenen Stickstoffatome läuft ab. Wasserstoffperoxid fungiert somit als Oxidationsmittel. Beide Stickstoffatome geben jeweils ein Elektron ab und verbinden sich über eine Doppelbindung.³⁷

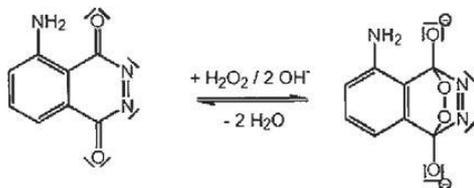


Beim H₂O₂-Molekül handelt es sich um ein Nukleophil, also ein Teilchen (Molekül), dass eine positive Ladung „sucht“. Das Wasserstoffperoxid- Molekül greift nun mit einem seiner freien Elektronenpaare das positiv polarisierte Carbonylkohlenstoffatom an. Die

³⁶ Jahns, Moritz; Sieve, Bernhard: Chemie der Forensik - Blutnachweise im Schülerexperiment, in: CHEMKON 2011, 18, Nr. 2, S. 83

³⁷ Seidl, Manfred, Chemolumineszenz mit Luminol, <https://www.chem-page.de/experimente/chemolumineszenz-mit-luminol.html#Erklärung>, 01.03.2006 (veröffentlicht), 17.10.2018 (aktualisiert), Stand: 14.04.2020

Carbonylfunktion zeichnet sich durch seine polare Bindung aus, derart dass der Sauerstoff negativ polarisiert und das Kohlenstoffatom positiv polarisiert ist. Die abgespalteten Protonen des Wasserstoffperoxids werden vernachlässigt, aufgrund ihrer Weiterreaktion mit den Hydroxidionen des Natriumcarbonats zu Wasser.³⁷

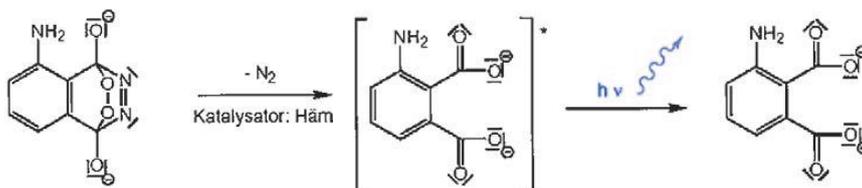


Reaktion: Wasserstoffperoxid greift nukleophil das Carbonylkohlenstoffatom an³⁶

Nun setzt die Retro-Diels-Alder-Reaktion ein³⁵, die eine Abspaltung des Stickstoffs bewirkt. Somit bildet sich ein instabiler, ein unter hoher Spannung stehender, Ringschluss. Dieser ist aus dem ehemaligen Carbonylkohlenstoffatom und dem O_2^{2-} Anion zusammengesetzt. Der Ring löst sich somit auf.³⁷ Die Fenton-Reaktion und die Haber-Weiss-Reaktion sind in der Lage, dass im Blut enthaltene Protohäm, genauer die Eisen(II)-Ionen, zu Eisen(III)- Ionen zu oxidieren. Diese Eisen-Ionen katalysieren die ganze Reaktion, wodurch die Reaktion schnell genug abläuft um die auftretende Chemolumineszenz mit dem Auge wahrzunehmen. Zudem wird auch noch reaktive Sauerstoffspezies gebildet.³⁶

Schlussendlich wird also das Dinatriumsalz der 3-Aminophthalsäure oder Aminophthalsäuredianion in einem angeregten Zustand gebildet.

Das angeregte Aminophthalsäuredianion gibt bei dem Übergang in den energetisch tieferliegenden Grundzustand die Energie als sichtbare Chemolumineszenz, dem „blauen Leuchten“ ab.³⁶



Reaktion: Freisetzung des N_2 , durch Fe^{3+} katalysiert, unter Lichtemission Übergang in den Grundzustand³⁶

Die Reaktion, der alkalische Lösung aus Luminol und Wasserstoffperoxid, wird durch das im Blutfarbstoff Hämoglobin enthaltene Protohäm katalysiert. Da nur dieser Eisenkomplex als Katalysator wirken kann, besitzt die Nachweisreaktion bei der Spurensicherung eine wichtige Rolle. Da bereits minimale Mengen an Eisenionen den Nachweis katalysieren und

die blaue Chemolumineszenz hervorrufen, können auch weggewischte Blutspuren, wie auf dem Messer, nachgewiesen werden. Die Chemolumineszenz ist zwar schwächer, aber dennoch deutlich erkennbar. Das macht diese chemische Methode sehr beliebt.

Jedoch hat der Nachweis mit Luminol auch einige Nachteile, zum Beispiel durch Metall-Ionen im Boden oder auf Pflanzen sind Fehlbestimmungen möglich. Demzufolge werden in der Forensik noch weitere Bluttests gemacht, meistens Farbttests, wie der Kastler-Meyer-Test, um ein eindeutiges Ergebnis zu erlangen.³⁶

7. Fazit

Forensiker haben es geschafft, aus einem leuchtenden Phänomen einen bedeutsamen Blutnachweis zu entwickeln. Ein „kaltes Licht“, das 1669 von Henning Brand entdeckt wurde und heutzutage noch Einfluss auf die kriminalistische Aufklärung von Straftaten besitzt. Das Phänomen Chemolumineszenz ist bis heute noch nicht vollständig aufgeklärt. Wissenschaftler arbeiten immer weiter daran, das „alte Leuchten“ zu verstehen.

Die Schlüsselrolle beim Nachweis von Blutspuren spielt das Häm im Hämoglobin.

Beim Nachweis mit Luminol reagiert letzteres mit Wasserstoffperoxid zu einem instabilen, zyklischen Peroxid, das unter Freisetzung von Stickstoff zu 3-Aminophthalsäure zerfällt. Das im Blut enthaltene Hämoglobin, genauer gesagt seine gebundenen Eisenionen, dient als Katalysator. Schlussendlich tritt ein bläuliches Leuchten, eine sogenannte Chemolumineszenz, auf.

Nicht nur Hämoglobin kann eine Reaktion katalysieren, auch die im Blut enthaltene Katalase verfügt über diese Eigenschaft. Die Reaktion von Wasserstoffperoxid und Katalase beschreibt eine Teilreaktion des Blutnachweises mit Luminol. Sie reicht jedoch nicht als forensischen Blutnachweis aus, da die Reaktion leicht manipuliert werden kann.

Unsere roten Blutzellen sind also nicht nur lebensnotwendig, da sie für den Transport von Sauerstoff zuständig sind, sondern erzielen auch eine fürs Auge sichtbare Chemolumineszenz. Ein Molekül, ohne welches wir nicht am Leben wären, ein Molekül mit deren Hilfe unsichtbare Spuren sichtbar gemacht werden können. Ein Molekül, das viel zu sehr unterschätzt wird, aber die Forensik auf ein neues Level gebracht hat. Mithilfe der Naturwissenschaft kann Unsichtbares „zum Leuchten“ gebracht werden.

8. Anhang

4.2. Experiment: Zersetzung von Wasserstoffperoxid durch Blut:

4.2.1. Chemikalien:



Schweineblut



Wasserstoffperoxid (3prozentige)

4.2.4. Beobachtung:



Zersetzung von Wasserstoffperoxid in Wasser und Sauerstoff, katalysiert durch das Enzym Katalase, unter Schaumbildung

6.2. Experiment: Nachweisreaktion mit Luminol:

6.2.4. Beobachtung:

Versuch 1:



Kameraeinstellung: Nachtmodus



Kameraeinstellung: Automatik

Chemolumineszenz auf dem mit Blut kontaminierten Stoffrest zu beobachten

Versuch 2:



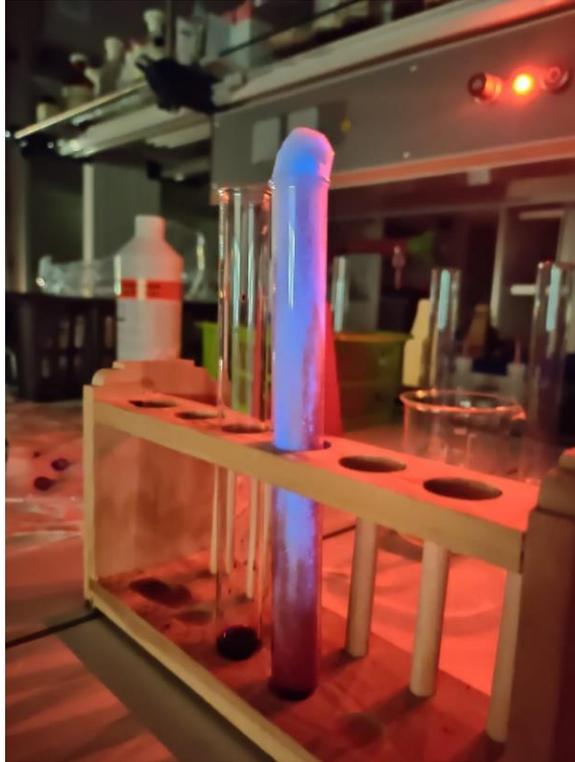
Blutverschmierte Tatwaffe (Messer) gereinigt
und Luminolnachweisreaktion angewendet



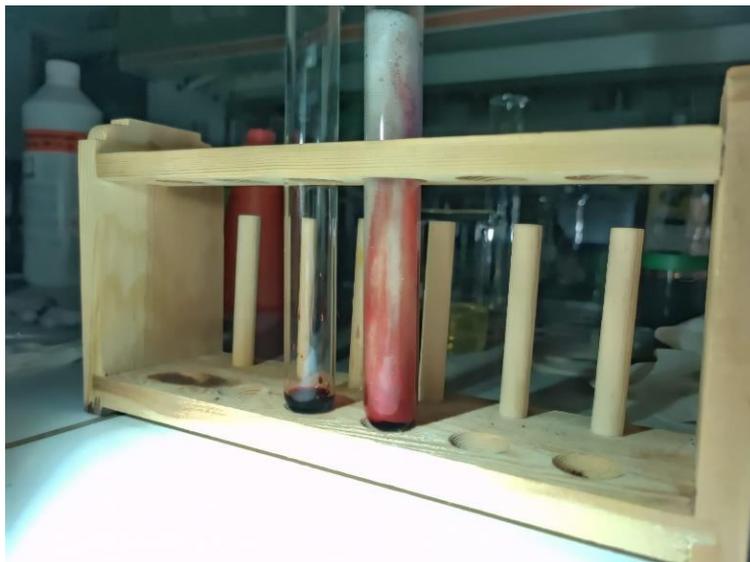
Leichte Chemolumineszenz in dem abgedunkelten Raum zu erkennen, trotz Reinigung

Versuch 3:

Auftreten des „kalten Lichts“ bei der Reaktion von Luminol mit Blut, zudem erkennbare Schaumbildung, aufgrund der Zersetzung von Wasserstoffperoxid

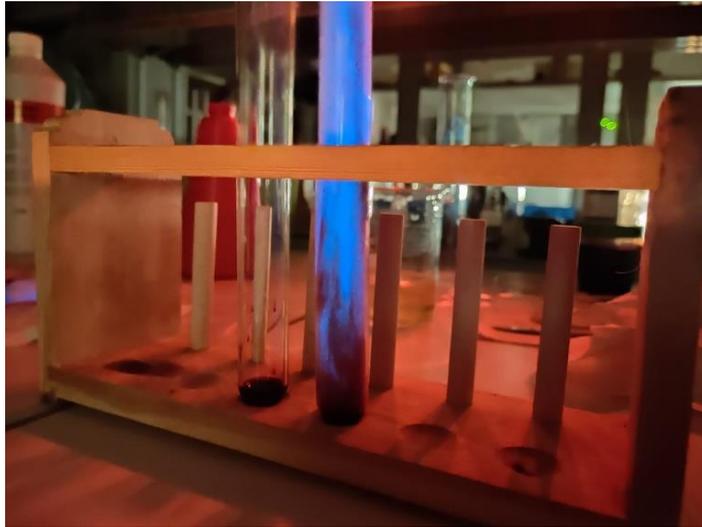


Erkennbares bläuliches Leuchten nach dem Abdunkeln des Raumes



Keine Chemolumineszenz bei der Erhellung des Raumes zu sehen

Gegenüberstellung bei Dunkelheit und Tageslicht aus einer anderen Perspektive



9. Literaturverzeichnis

Primärliteratur:

Bücher/Lexika:

Dr. sc. Nat. Christen, Hans Rudolf: Grundlagen der Organischen Chemie Studienausgabe Teilband 2, Otto Salle Verlag, 5. Auflage 1982, S.870/871

Hrsg.von d. Fachred. d. Bibliogr. Inst. Bearb. Von Borucki Hans: Schülerduden „Die Chemie“, Dudenverlag, Klambt-Druck Gmbh, Speyer, Bibliographisches Institut AG, Mannheim 1976, S. 263/64

Hrsg.von d. Fachred. d. Bibliogr. Inst. Bearb. Von Borucki Hans: Schülerduden „Die Chemie“, Dudenverlag, Klambt-Druck Gmbh, Speyer, Bibliographisches Institut AG, Mannheim 1976, S.349

Hrsg.von d. Fachred. d. Bibliogr. Inst. Bearb. Von Borucki Hans: Schülerduden „Die Chemie“,Dudenverlag, Klambt-Druck Gmbh, Speyer, Bibliographisches Institut AG, Mannheim 1976, S. 253

Hrsg.von d. Fachred. d. Bibliogr. Inst. Bearb. Von Borucki Hans: Schülerduden „Die Chemie“, Dudenverlag, Klambt-Druck Gmbh, Speyer, Bibliographisches Institut AG, Mannheim 1976, S.373

Lyle, Douglas: CSI-Forensik für Dummies,1. Auflage, WILEY-VCH Verlag GmbH&Co.KGaA, Weinheim 2009, S. 261

Lyle, Douglas: CSI-Forensik für Dummies,1. Auflage, WILEY-VCH Verlag GmbH&Co.KGaA, Weinheim 2009, S. 265

Madea, Burkhard; Brinkmann, Bernd: Handbuch gerichtliche Medizin Band 2, Springer Verlag Berlin Heidelberg, Berlin 2003, S. 1011

Zeitschriften:

Becker, Peter, Das Labor wird Assistent der Kriminalpolizei, in: Zeit Geschichte Nr. 1/2018, 30. Januar 2018, S. 3

Becker, Peter, Scharfer Blick und Alupulver, in: Zeit Geschichte Nr. 1/2018, 30. Januar 2018, S. 1

Brezesinski, Kristin; Ducci, Matthias: Smarte Blutmarker – wie aus Textmarkern und Kosmetika forensische Helfer werden, in: Chemkon 2020, 27, Nr. 2, S. 73-74

Dr. Dr. habil Priesner, Claus: Der Stein des Lichtes- Elementargeschichte des Phosphors, In:Spektrum der Wissenschaft 3, 1995, S.78

Jahns, Moritz; Sieve, Bernhard: Chemie der Forensik - Blutnachweise im Schülerexperiment, in: CHEMKON 2011, 18, Nr. 2, S. 83

Weiss, Dieter;Täuscher, Eric; Brandl, Herbert, Die bunte Welt der Porphyrine, in: Chemie in unserer Zeit,53,2019, S. 15

Weiss, Dieter;Täuscher, Eric; Brandl, Herbert, Die bunte Welt der Porphyrine, in: Chemie in unserer Zeit,53,2019, S. 12-14

Sekundärliteratur:

Blutspendedienst des Bayerischen Roten Kreuzes, Blutbestandteile,
<https://www.blutspendedienst.com/blutspende/blut-blutgruppen/blutbestandteile>, Stand: 08.04.2020

Döfler, Andreas, Chemolumineszenz, <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/chemolumineszenz/chemolumineszenz.htm>, 13.11.2015, Stand: 13.04.2020

Dr. Lingenhöhl, Daniel, Komplexlexikon der Biologie Katalase,
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/katalase/6258>, Stand:07.04.2020

Dr. Lingenhöhl, Daniel, Lexikon der Biologie, Häm,
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/haem/30438>, Stand: 06.04.2020

Dr. Lingenhöhl, Daniel, Lexikon der Biologie, prosthetische Gruppe,
<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/prosthetische-gruppe/54090>, Stand: 06.04.2020

Dr. Lingenhöhl, Daniel, Lexikon der Chemie Phthalsäure,
<https://www.spektrum.de/lexikon/chemie/phthalsaeure/7115>, Stand: 06.04.2020

Dr. Siller, Helmut, Definition: „Was ist Forensik?“,
<https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/forensik-53390>, Stand: 10.04.2020

Dr. Weiß, Dieter, Chemilumineszenz mit Luminol, <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/Luminol.htm>, Stand: 06.04.2020

Dr. Weiß, Dieter, Chemilumineszenz- Reaktionen fürs Auge, <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/chemilumi.html>, Stand: 13.04.2020

Dr. Weiß, Dieter, Lumineszenz, <http://www.chemie.uni-jena.de/institute/oc/weiss/lumineszenz.htm>, Stand: 13.04.2020

G. Braun, R. Heinze, M. Müller, Energetische Kopplung, Lumineszenzversuche Grundlagen, <http://www.braun-sha.de/Experimente/Lumineszenzversuche.pdf>, 2004, Stand: 09.04.2020

Jähne, Maria, Biochemie des Blutes: Hämoglobin, Blutgruppen& Hämostase, <https://www.lecturio.de/magazin/biochemie-blut/#aufbau-und-funktion-des-haemoglobins>, 01.02.2017, Stand: 06.04.2020

Kameron, Kent Searle, Sherlock Holmes Quotes, <http://sherlockholmesquotes.com/>, Stand: 29.04.2020

Kniep, Dr. Carina, Wer wir sind- was was wir tun, <https://www.gdch.de/netzwerkstrukturen/fachstrukturen/ag-phosphorchemie.html>, 17.03.2020, Stand: 06.04.2020

Meißner, Joachim, SWR2 Wissen, Eine kurze Geschichte der Kriminalistik, <https://www.swr.de/swr2/wissen/geschichte-kriminalistik/-/id=661224/did=14920106/nid=661224/wa7haf/index.html>, 22.01.2015, Stand: 15.04.2020

Müller, Maren; Schulreich, Christoph; Wasserstoffperoxid: Eigenschaften und Darstellung in Labor und Technik, <http://daten.didaktikchemie.uni-bayreuth.de/umat/wasserstoffperoxid/wasserstoffperoxid.htm>, 27.04.2016, Stand: 07.04.2020

Prof. Dr. Hofsäss, Hans Christian, Georg-August-Universität Göttingen, Versuch 47: "Eisbecher": Zersetzung von Wasserstoffperoxid durch Blut, <https://lp.uni-goettingen.de/get/text/2571>, Stand: 07.04.2020

Seidl, Manfred, Chemolumineszenz mit Luminol, <https://www.chempage.de/experimente/chemolumineszenz-mit-luminol.html#Erklärung>, 01.03.2006 (veröffentlicht), 17.10.2018 (aktualisiert), Stand: 14.04.2020

Seilmann, Thomas, Wasserstoffperoxid, https://www.seilnacht.com/Chemie/ch_h2o2.htm,
Stand: 07.04.2020

Seilnacht, Thomas, Luminol, https://www.seilnacht.com/Chemie/ch_lumin.html, Stand:
06.04.2020

Westhoff, Andrea, Apotheker Hennig Brand entdeckt den Phosphor,
https://www.deutschlandfunk.de/vor-350-jahren-apotheker-hennig-brand-entdeckte-den-phosphor.871.de.html?dram:article_id=462132, 31.10.2019, Stand: 06.04.2020

Wich, Peter, Forensik-Leuchtendes Blut, <https://www.uni-wuerzburg.de/fileadmin/08020000/pdf/erlebnis/forensik.pdf>, Status: 11.04.2020

Wiecholzek, Dagmar, Prof. Blumes Bildungsserver für Chemie, „Wann ist eine
Verbindung ein Aromat?“, <https://www.chemieunterricht.de/dc2/ch/cht-205.htm>,
21.01.2013, Stand: 11.04.2020

10. Selbstständigkeitserklärung

Ich erkläre, dass ich die Facharbeit ohne fremde Hilfe angefertigt und nur die im
Literaturverzeichnis angeführten Quellen und Hilfsmittel benutzt habe. Insbesondere
versichere ich, dass ich alle wörtlichen und sinngemäßen Übernahmen aus anderen Werken
als solche kenntlich gemacht habe.

Ort, Datum	Unterschrift
Raesfeld, den 02.06.2020	Lisa Koch