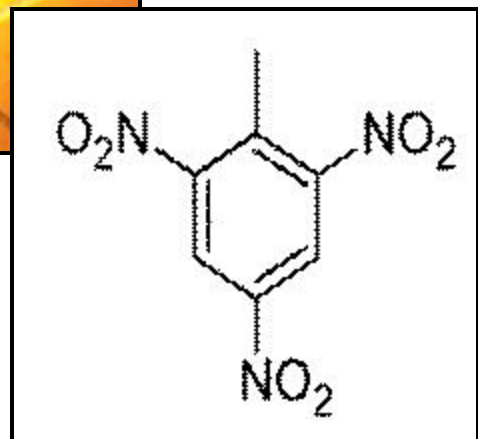


Die Sprengstoffe



Eine Jahresarbeit von Mark Zieße

Schule: Freiherr-vom-Stein-Schule, Hessisch Lichtenau

Fach: Chemie

Fachlehrer: Herr Möller-Linke

Ort: Helsa

Datum: 12.04.2010

Inhaltsverzeichnis

1. Vorwort.....	S. 03
2. Der Sprengstoff – was ist das ?.....	S. 04
3. Die Geschichte der Sprengstoffe.....	S. 06
4. Das Prinzip chemischer Explosionen.....	S. 09
4.1 Die Wärmeexplosion.....	S. 10
4.2 Die Kettenverzweigungsexplosion.....	S. 11
5. Die Parameter zur Charakterisierung von Sprengstoffen.....	S. 12
5.1 Die Sauerstoffbilanz.....	S. 13
5.2 Das Schwadenvolumen.....	S. 15
5.3 Die spezifische Energie.....	S. 16
5.4 Die Ladedichte.....	S. 16
6. Der Verwendungszweck heutiger Sprengstoffe.....	S. 16
7. Das Cellulosenitrat, „Schießbaumwolle“.....	S. 17
7.1 Die chemischen Eigenschaften des Cellulosenitrats.....	S. 18
7.2 Der Verwendungszweck.....	S. 21
7.3 Experimentelle Herstellung von Cellulosenitrat.....	S. 21
8. Nachwort.....	S. 25
Literaturverzeichnis.....	S. 26
Internetquellen.....	S. 26
Anhang:.....	S. 27
(Tabellenverzeichnis, Abbildungsverzeichnis)	

1. Vorwort

Fast täglich berichten die Medien von terroristischen Anschlägen in der ganzen Welt. Regelmäßig veröffentlichen Zeitungen Berichte, in denen Terroristen mit Hilfe von selbstgebauten Sprengsätzen Anschläge verüben. Das Fernsehen zeigt Bilder von gesprengten Häusern und Autos. Das Radio berichtet immer wieder von Toten und Verletzten, welche durch einen Sprengsatz ums Leben gekommen sind.

Ein Sprengstoff kann tödlich und zerstörerisch wirken. Gerät ein Sprengstoff in die falschen Hände, kann er für das gezielte Töten von Menschen eingesetzt werden und viel Unheil anrichten. Der größte Teil der Bevölkerung kennt den Sprengstoff nur als militärisches Sprengmittel in Form von Minen, Munition, Granaten, Raketen usw. und die Verwendung als Waffe gegen Menschen in Form von terroristischen Anschlägen. Die Sprengstoffe besitzen andererseits einen hohen gewerblichen Nutzen. Sie werden angewandt im Tunnelbau, im Straßenbau und im Bergbau. Die Sprengstoffe werden unter anderem auch in der Forstwirtschaft und für seismische Untersuchungen verwendet.

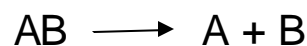
Sprengstoffe besitzen eine große zerstörerische Kraft und können sogar die stärksten Gesteine und Gebäude zerstören. Schon kleine Mengen von Sprengstoffen können verheerende Kräfte entwickeln.

In meiner Jahresarbeit möchte ich aufzeigen, wie die ersten Sprengstoffe entstanden sind, warum Sprengstoffe eine so zerstörerische Kraft entwickeln, wo sie eingesetzt werden und anhand des Cellulosenitrats zeigen, wie sie hergestellt werden. Das Cellulosenitrat habe ich gewählt, weil es einfach herzustellen ist und einer der ersten Sprengstoffe war. Aufgrund der Einfachheit war es möglich im Unterricht Cellulosenitrat herzustellen und zu entzünden.

Insgesamt möchte ich einen allgemeinen Einblick in die Sprengstoffe geben und meinen Schwerpunkt auf das Cellulosenitrat legen, da es trotz der Einfachheit auf demselben Prinzip basiert wie alle anderen Sprengstoffe.

2. Der Sprengstoff – was ist das ?

Die Sprengstoffe zählen zu den Explosivstoffen. Als Explosivstoff werden Stoffe oder Stoffgemische bezeichnet, die bei einer ausreichenden Aktivierungsenergie stark reagieren. Bei der Reaktion entstehen Gase und Wärmeenergie, welche große Schäden anrichten können. Bei der Entzündung von einem Explosivstoff zerfallen die großen Moleküle des Explosivstoffes (AB) in ihre Elemente (A), (B), diese Reaktion wird auch Zerfallsreaktion oder Zersetzungsreaktion genannt. Ist der Auslöser der Reaktion Wärme spricht, man auch von der Thermolyse.¹



Ein Sprengstoff ist ein chemischer Stoff oder eine chemische Stoffmischung, die auf energiereichen Verbindungen basieren. Ein Sprengstoff reagiert unter bestimmten Bedingungen sehr schnell und setzt dabei eine große Energiemenge in Form einer Druckwelle (Detonationswelle) frei.

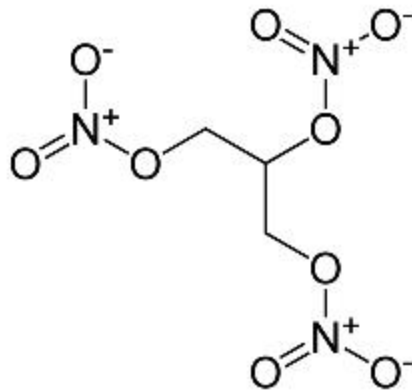


Abbildung 1 : Strukturformel des Nitroglycerins

Nitroglycerin gehört zu den Sprengstoffen und entsteht durch die Veresterung des 3-wertigen Alkohols Glycerin mit Nitriersäure (Nitriersäure= ein Gemisch aus Salpeter – und Schwefelsäure).

¹vgl. Dr. Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe. Hsrg von Manuel Baetz. Survival Press 2000, s.14 ff

Sprengstoffe bestehen teilweise aus organischen Verbindungen und somit aus den chemischen Elementen Kohlenstoff (C), Wasserstoff (H), Stickstoff (N) und Sauerstoff (O) wie anhand des Nitroglycerins gut zu erkennen ist. Unter Anderem sind Sprengstoffe instabil, gerade Nitroglycerin entzündet sich schon bei der kleinsten Erschütterung von selbst.

Typisch für die organischen Sprengstoffe sind Nitrogruppen (funktionelle Gruppe – NO₂)

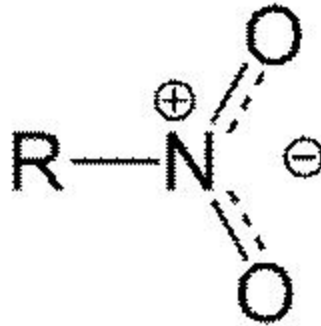


Abbildung 2: Die Nitrogruppe

Diese Nitrogruppen ermöglichen das Oxidieren von den brennbaren Bestandteilen eines Sprengstoffes und sind somit für die rasche Gasentwicklung verantwortlich.

Wird ein instabiler Sprengstoff entzündet, entstehen stabile gasförmige Verbindungen wie zum Beispiel Kohlenstoffdioxid, Wasserdampf und Stickstoff. Die entstandenen Gase bestehen zum Teil aus Sauerstoff, welche die Nitrogruppen liefern. Liegt die Reaktionsgeschwindigkeit über der Schallgeschwindigkeit, handelt es sich um eine Detonation, liegt sie darunter, ist es eine Deflagration. Sauerstoff ist ein Faktor zur Charakterisierung von Sprengstoffen. Weitere Faktoren sind das Schwadenvolumen, die spezifische Energie und die Ladedichte.

Die bei der Entzündung entstandenen sehr heißen Gase dehnen sich, da sie großen Raum benötigen, aus und dadurch entsteht die oben schon genannte Druckwelle. Je höher die Temperatur der Gase, desto höher ist der Druck und die daraus resultierende Druckwelle. Je Höher also die erzeugte Hitze des Sprengstoffes bei seiner Entzündung ist, desto größer ist die Sprengkraft.²

² vgl. Ing. Chem. Dr. R.Knoll: Das Knallquecksilber und andere Sprengstoffe. Hrsg von Manuel Baetz. Survival Press 2001, s.4 f

Damit es zu einer Explosion kommt, muss der benutzte Sprengstoff unter starkem Druck stehen, ansonsten verbrennt der genutzte Sprengstoff einfach ohne eine effektive Explosion. Schießbaumwolle muss zum Beispiel stark verdichtet werden damit es zu einer Explosion kommt. Schießpulver würde ohne den Druck von Außen einfach nur verbrennen. Für eine Explosion muss ein Sprengstoff also unter ausreichendem Druck stehen, ansonsten verliert er seine zerstörerische Kraft.

3. Die Geschichte der Sprengstoffe

Abgesehen von der künstlichen Erzeugung des Feuers, hat keine auf einen chemischen Vorgang aufbauende Erfindung die Menschheit so geprägt wie die Sprengstoffe. Zu welchem Zeitpunkt erstmalig ein Sprengstoff als mächtiges Kraftmittel eingesetzt worden ist, kann nicht genau benannt werden.

Schon früh nutzten verschiedene Völker „brennende Wurfgeschosse“³ um ihren Nachteil im Bezug auf die Heeresstärke zu mindern und die Gegner zu verängstigen. Die Problematik bei diesen Geschossen war die begrenzte Geschwindigkeit, sie durften meist nicht zu stark beschleunigt werden, da sie sonst zu stark abkühlten und an Effektivität verloren.

Das „griechische Feuer“⁴ umging dieses Problem. Entwickelt wurde es von den Byzantinern um 673 und wurde erstmals bei der Belagerung Konstantinopels (674-678) eingesetzt.



Abbildung 3 : Griechisches Feuer

³ Dr. Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s. 3

⁴ Ders.:Ebd., s.4

Das „griechische Feuer“⁵ war ein konstanter leicht brennender Flüssigkeitsstrahl, welcher zwar eine begrenzte Reichweite besaß, aber trotzdem sehr effektiv war. Diese Flüssigkeit wurde dann entzündet, was sehr gut auf Bild 1 zu erkennen ist. Der Grund warum das griechische Feuer so erfolgreich war, war die Entdeckung des Salpeters. Salpeter beschreibt einige Nitratre der Salpetersäure, in diesem Fall handelt es sich um Kaliumnitrat. Gewonnen wurde das Kaliumnitrat vom trockenen Erdboden.

In dem Buch „die Sprengstoffe“ von Dr. Rudolf Biedermann wird erläutert, dass „die als ‚chinesischer Schnee‘ bezeichnete Masse“⁵ aus diesem Salz bestanden haben muss. Auch die Araber kannten dieses Salz bereits, sie nannten es Hagelskorn, aufgrund der Ähnlichkeit der Salpeterkristalle mit einem Hagelkorn. Genutzt wurde das Kaliumnitrat anfangs in der Heilkunde als Kühlmittel für Wunden, dass es ein Feuer verstärkte, wurde rein zufällig entdeckt.

Die Eigenschaft des Kaliumnitrats, eine lebhafte Verbrennung hervorzurufen, machten sich die Chinesen zu Nutzen und bauten Feuerwerkskörper, jedoch ohne militärischen Hintergrund.

Erst im Jahre 969 nutzten die Chinesen das „chinesische Salz“ um Pfeile auf weite Distanzen zu verschießen. Sie benutzten Röhren um Geschosse zu verschießen.

Im Jahre 1232 ist der erste Gebrauch von Schießpulver dokumentiert, jedoch wurde das Pulver ausschließlich genutzt um „Feuertöpfe“⁶ zu entzünden und diese dann mit einer Art Tribok auf den Feind zu werfen. Feuertöpfe waren mit Schießpulver gefüllte Behältnisse, die kurz vor dem Abschuss entzündet wurden. Entwickelt wurde dieses Gerät nicht durch die Chinesen, sondern durch die Perser und fremde Ingenieure. Die Chinesen kannten die eigentliche Explosivität des Schießpulvers nicht und nutzten es nur um Raketen zu verschießen.

Am Ende des 13. Jahrhunderts kannte man salpeterhaltige Gemische, welche leicht zu entzünden waren und Gegenstände schnell und leicht entflammten, jedoch wurden sie nicht als Explosivstoffe verwendet.

Diese salpeterhaltigen Gemische waren aufgrund des griechischen Feuers weit verbreitet und wurden viel von den Mohamedanern während der Kreuzzüge verwendet.

⁵ Dr. Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s.4

⁶ Ders.: Ebd., s.6

Wie schon erwähnt, gab es raketenähnliche Erfindungen, welche salpeterhaltige Gemische und Pfeile verschossen.

Am Anfang des 14. Jahrhunderts wurde das Schwarzpulver verstärkt in Kanonen verwendet um Kugeln auf den Gegner zu schießen.

Bis ins 16. Jahrhundert nutzte man Vollmantel-Geschosse, sie waren aus einem Metall gegossen. Mitte des 16. Jahrhunderts wurden dann Hohlgeschosse erfunden. Die Kugeln waren im Inneren hohl und mit Schießpulver gefüllt. Sie explodierten beim Auftreffen auf die Oberfläche und verstärkten die Effizienz von Kanonen ungemein.

Ende des 17. Jahrhunderts fing die Bevölkerung an Schießpulver auch im Bergbau und im Straßenbau zu verwenden. Im Jahre 1627 gab es die erste Sprengung im Bergbau in Tirol.

Bis ins 19. Jahrhundert war das Schießpulver der einzig verwendete Sprengstoff, erst als 1845 die Schießbaumwolle erfunden wurde, ist das Schießpulver durch diese abgelöst worden. Die genaue Erfindung und Herstellung der Schießbaumwolle wird im späteren Zusammenhang im Kapitel „Das Cellulosenitrat, „Schießbaumwolle“ erklärt.⁷

Im Jahre 1846 folgte die Erfindung des Nitroglycerins, jedoch war das Arbeiten mit dem Nitroglycerin und der Schießbaumwolle aufgrund ihrer Empfindlichkeit schwierig. Der schwedische Ingenieur Alfred Nobel löste das Problem mit der Empfindlichkeit, er verarbeitete Nitroglycerin mit gebranntem Kieselgur zu einer weichen, krümeligen Masse, dem Gurdynamit. Nitroglycerin war jetzt einfacher zu handhaben und man konnte damit besser arbeiten. Der Nachteil war das geringere Arbeitsvermögen, da das Kieselgur an der Zerfallsreaktion nicht beteiligt war. Aufgrund dieses Nachteils⁴ entwickelte Nobel die Sprenggelatine, eine elastische Masse, die aus 93 % Nitroglycerin und 7 % Collodiumwolle besteht. Die Sprenggelatine war der stärkste gewerblich genutzte Sprengstoff und gut geeignet um hartes Gestein zu sprengen. Aus der Sprenggelatine wurden die Gelatindynamite entwickelt. Sie waren die sichersten Nitroglycerinsprengstoffe. Das Schwarzpulver hatte dadurch fast vollkommen an Bedeutung verloren.

⁷ vgl. Dr Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s.8

In den USA wurden nach dem zweiten Weltkrieg die Andex – und die wasserhaltigen Sprengstoffe entwickelt. Poröse Ammoniumnitrat-Kügelchen wurden im Dieselöl getränkt und lose in die Bohrlöcher geschüttet, dieser Andexsprengstoff war preiswert und sicher. Wasserhaltige Sprengstoffe basieren auf Ammoniumnitrat und Wasser. Es gibt schlammförmige und plastische Sprengstoffe. Die schlammförmigen Sprengstoffe sind sehr sicher in der Handhabung und füllen wegen ihrer flüssigen Konsistenz die Bohrlöcher gut aus.

Im Jahre 1962 wurden in den USA die Emulsionssprengstoffe erfunden, diese werden seit 1983 in Deutschland hergestellt. Emulsionssprengstoffe bestehen aus einer Ammoniumnitratlösung und Mineralölen, jedoch sind sie nicht so flüssig wie schlammförmige Sprengstoffe.⁸

4. Prinzip chemischer Explosionen

Das Wort „Explosion“ wird von dem lateinischen Wort „explodere“ abgeleitet und bedeutet soviel wie „unter Druck entweichen“. Im Umgangssprachlichen verbinden Menschen mit einer Explosion Feuer, Zerstörung und Druckwellen.

Man unterscheidet zwischen physikalischen und chemischen Explosionen. Ein explodierender Luftballon ist eine physikalische Explosion, da der innere Druck größer ist als der Äußere. Wird der Luftballon jetzt mit einer Nadel zum Platzen gebracht, so entsteht ein Druckausgleich. Aus diesem Druckausgleich resultiert eine Wärmeausdehnung und daraus eine teilweise destruktive Kraft (lat. destruere „zerstören“).

Bei chemischen Explosionen wird die Wärmeausdehnung durch eine chemische Reaktion hervorgerufen.

Eine chemische Explosion ist eine Oxidations- oder Zerfallsreaktion mit schnellem Anstieg der Temperatur und/oder des Druckes. Dabei kommt es bei einer chemischen Explosion zu einer Volumenausdehnung von Gasen und einer Freisetzung von großen Energiemengen auf kleinem Raum, wie es bei den Sprengstoffen der Fall ist. Durch den plötzlichen Druckanstieg und die schnelle Volumenerweiterung entsteht eine Druckwelle. Auf Bild 4 ist die gleichmäßige Druckwelle, auch Detonationswelle

⁸ vgl. www.de.wikipedia.org/wiki/Sprengstoff

genannt, gut zu erkennen. Sie bewegt sich gleichmäßig von der Quelle der Explosion in alle Richtungen und kann zerstörerische Ausmaße annehmen.⁹



Abbildung 4: Die Detonationswelle

Chemische Explosionen werden wiederum in zwei Arten von Explosionen eingestuft. Es wird zwischen Wärme - und Kettenverzweigungsexplosionen unterschieden.

4.1 Die Wärmeexplosion

Bei der Wärmeexplosion, auch thermische Explosion genannt, wird durch eine exotherme Reaktion Wärme erzeugt. Kann die erzeugte Wärme nicht nach außen abgeleitet werden, so erhitzt sich das System. Die entstandene Wärme führt zur Zündung. Die Reaktionsgeschwindigkeit nimmt zu. Je höher die Reaktionsgeschwindigkeit wird, desto mehr erhitzt sich das System. Mit der Temperatur steigt auch der Druck des Systems. Die Temperatur und der Druck im System nehmen zu bis das System explodiert.

⁹ vgl. Dr Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s.39

4.2 Kettenverzweigungsexplosion

Die Knallgasreaktion ist eine Kettenverzweigungsexplosion, welche auf Radikale basiert.

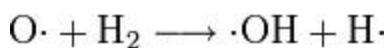
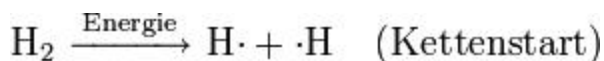
Radikale sind Atome oder Moleküle mit mindestens einem ungepaarten Elektron, sie werden mit einem Punkt dargestellt : $O\bullet$; $H\bullet$

Radikale sind besonders reaktionsfreudig.

Die Knallgasreaktion beschreibt das explosionsartige Reagieren von Sauerstoff mit Wasserstoff.

Die Reaktionsgleichung lautet $2 H_2 + O_2 \longrightarrow 2 H_2O$, wobei diese nur die Edukte Wasserstoff(H) und Sauerstoff(O) und das Endprodukt Wasser (H₂O) darstellt. Bei dieser Reaktion laufen bis zu 26 Teilreaktionen ab.

Die wichtigsten Reaktionen sind :



Wie in der ersten Reaktionsgleichung zu erkennen ist benötigt der Wasserstoff (H) Energie um sich in Radikale zu spalten. Für die Kettenverzweigungsexplosion wird also eine Aktivierungsenergie benötigt. Nachdem die Energie vorhanden ist spaltet sich der Wasserstoff (H) in Radikale. Die Radikale des Wasserstoffs (H•) wiederum reagieren mit dem Sauerstoff zu einem Hydroxyl-Radikal (OH•) und einem Radikal des Sauerstoffs (O•). Das Radikal des Sauerstoffs reagiert mit dem Wasserstoff und es entsteht unter anderem wieder ein Wasserstoff-Radikal (H•), der Vorgang beginnt erneut. Da die Produkte der ersten Reaktionen den folgenden als Edukt (Ausgangsstoff) dienen, spricht man von einer Kettenreaktion. Die bei der schnell ablaufenden Kettenreaktion entstehenden hohen Temperaturen und der plötzlich ansteigende Druck führen zu einer Explosion.¹⁰

¹⁰ vgl. www.de.wikipedia.org/wiki/knallgasreaktion

5. Parameter zur Charakterisierung von Sprengstoffen

Heutzutage gibts es jede Menge Sprengstoffe und Arten von Sprengstoffen, welche alle unterschiedlich stark oder schwach reagieren, mit verschiedensten Geschwindigkeiten und unterschiedlichsten Wirkungen. Die Schwierigkeit besteht darin, dass man verschiedene Faktoren bestimmen muss, um Sprengstoffe charakterisieren zu können, um diese untereinander vergleichen zu können. Es gibt mehrere Parameter zur Bestimmung der Stärke eines Sprengstoffes.

Der Bleiblocktest ist eine Möglichkeit die Sprengkraft verschiedener Sprengstoffe festzustellen und sie untereinander zu vergleichen. Isidor Trauzl hatte die Idee Explosivstoffe in einem Bleiblock (200mm Durchmesser, 200mm Höhe) in einem Hohlraum innerhalb des Blockes zur Zündung zu bringen und die dabei entstandene Ausbauchung zu vermessen, mittels Wasser. Die Maße des Bleiblocks bleiben dabei immer gleich und die Menge des genutzten Sprengstoffes ist auf 10 g begrenzt, damit vergleichbare Werte entstehen. So lässt sich zum Beispiel ausmachen, dass Nitroglycerin eine höhere Sprengkraft besitzt als C4 und dass die Schießbaumwolle trotz ihres Alters eine größere Sprengkraft besitzt als das jüngere TNT, wie anhand der Tabelle 1 zu erkennen ist. Die Tabelle zeigt den direkten Vergleich von vier verschiedenen Sprengstoffen anhand der Parameter, auch die oben genannte Bleiblockausbauchung.¹¹

¹¹ vgl. Ing. Chem. Dr. R.Knoll: Das Knallquecksilber und andere Sprengstoffe, s. 18

Tabelle 1:

Parameter	C4 (Composit Compound 4)	Cellulosenitrat (Schießbaumwolle)	Trinitrotoluol (TNT)	Nitroglycerin
Bleiblockausbauchung cm ³ /g	45	37	30	52
Sauerstoffbilanz in %	-21,6	- 29,6	- 74	+ 3,5
Spezifisches Schwadenvolumen in l/kg	920	869	740	740
Spezifische Energie in (l · Mpa)/kg	1231	1003	821	1337
Ladedichte g/cm ³	1,82	1,67	1,65	1,6

Weitere Parameter sind die Sauerstoffbilanz, das spezifische Schwadenvolumen, die spezifische Energie und die Ladedichte.

5.1 Die Sauerstoffbilanz

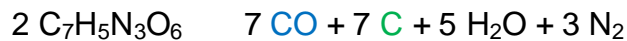
Wie im Kapitel „Prinzip chemischer Explosionen“ schon erklärt, spielt Sauerstoff bei einer Explosion eines Sprengstoffes eine tragende Rolle für die entstehende Sprengkraft und die daraus entstehende Zerstörung. Für eine effektive Explosion benötigt es viele und stabile Gase. Die entstehenden Gase basieren zum Teil auf Sauerstoff, zum Beispiel Kohlenstoffdioxid (CO₂). Fehlt es an Sauerstoff, so können nicht genug Gase entstehen und die Sprengkraft nimmt ab. Die Sauerstoffbilanz gibt an, ob zu viel oder zu wenig Sauerstoff vorhanden ist. Eine negative Sauerstoffbilanz steht für ungenügend Sauerstoff, eine positive Sauerstoffbilanz für zu viel Sauerstoff. Die Sauerstoffbilanz von TNT liegt bei - 74,0 (die Sauerstoffbilanz wird in % angegeben), TNT benötigt also für eine größere Sprengkraft mehr Sauerstoff, dies kann durch Zumischen von Sauerstoffträgern reduziert werden. Nitroglycerin hingegen liegt bei + 3,5 und hat somit zu viel Sauerstoff. Je näher ein Sprengstoff einer ausgeglichenen Bilanz kommt (Wert von 0), desto höher ist die Temperatur und somit auch die Sprengkraft. Für militärische Zwecke ist die Sauerstoffbilanz nicht so relevant. Bei gewerblichem Gebrauch wird eine positive Sauerstoffbilanz angestrebt um die Bildung von giftigen und brennbaren

Nebenprodukten zu verhindern. Ist die Sauerstoffbilanz negativ, so kann der Sprengstoff nicht vollständig oxidiert werden und giftige Stoffe können entstehen. Für militärische Zwecke ist dies unwichtig, da bei einem Einsatz von Sprengstoffen beim Militär eine Schädigung beabsichtigt wird.¹²

Nitroglycerin:



Trinitrotoluol (TNT):



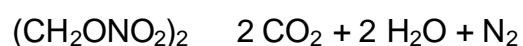
Quelle der Strukturformeln: siehe Fußzeile¹³

Anhand der Strukturformeln habe ich die Zerfallsgleichung von Nitroglycerin und TNT aufgestellt. Bei der Reaktionsgleichung von Nitroglycerin ist gut zu erkennen dass neben Kohlenstoffdioxid (CO₂) Wasser (H₂O) und Stickstoff (N₂) Sauerstoff (O₂) entsteht, was die geringe positive Sauerstoffbilanz von Nitroglycerin erklärt.

Das TNT, welches zum größten Teil nur militärisch genutzt wird, besitzt wie oben in Tabelle 1 zu erkennen ist, eine stark negative Sauerstoffbilanz. Bei der Entzündung von TNT entsteht schwarzer Qualm was ein Zeichen für elementaren Kohlenstoff ist. Neben dem elementaren Kohlenstoff (C) entsteht Wasser (H₂O), Stickstoff (N₂) und Kohlenstoffmonoxid (CO). Das Entstehen von reinem Kohlenstoff (C) und Kohlenstoffmonoxid (CO) zeigt wie wenig Sauerstoff vorhanden ist, für eine stärkere Explosion und einer ausgeglichenen Sauerstoffbilanz müssten diese Moleküle zu Kohlenstoffdioxid (CO₂) reagieren wie beim Nitroglycerin. Der starke Mangel an Sauerstoff spiegelt sich in der Sauerstoffbilanz von TNT wieder und ist mit – 74,0 sehr hoch.

Es gibt auch Sprengstoffe mit einer ausgeglichenen Sauerstoffbilanz wie zum Beispiel Nitroglykol.

Nitroglykol:



¹² vgl. Dr Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s. 14

¹³ vgl. Ders.,:Ebd, s. 69 ff

Bei der Entzündung von Nitroglykol entsteht kein Sauerstoff und auch kein Kohlenstoffmonoxid oder elementarer Kohlenstoff wie beim TNT, somit ist die Sauerstoffbilanz von Nitroglykol ausgeglichen.

5.2 Das spezifische Schwadenvolumen

Mit dem spezifischen Schwadenvolumen ist das Volumen von den bei der Explosion eines Sprengstoffes entstehenden Gasen gemeint, welche bei der vollständigen Umsetzung von einem Kilogramm Sprengstoff entstehen. Das spezifische Schwadenvolumen wird in l/kg angegeben. Auf ein Kilogramm Sprengstoff kommt also eine bestimmte Anzahl Liter an Gas. Die Größe vom entstehenden Gasvolumen hängt von der Molzahl der gasförmigen Produkte ab.

Bei der Umsetzung von einem mol Nitroglykol entstehen 5 mol Gase. Bei Normalbedingungen besitzen Gase ein annähernd gleiches Volumen. Ein mol Gas nimmt bei Normalbedingungen 22,4 l ein. Multipliziert man die Molzahl mit den 22,4 l kommt man auf 112 l/mol, es entsteht also auf ein mol Nitroglykol 112 l Gas.

Um auf die oben genannte l/kg zu kommen, muss die molare Masse von Nitroglykol ermittelt werden.

Molare Masse von Nitroglykol:

$$\begin{aligned} & (\text{CH}_2\text{ONO}_2)_2 \\ = & 2 \text{ C} + 4 \text{ H} + 6 \text{ O} + 2 \text{ N} \\ = & 2 \times 16\text{g/mol} + 4 \times 1 \text{ g/mol} + 6 \times 16 \text{ g/mol} + 2 \times 14 \text{ g/mol} \\ = & 152,1 \text{ g/mol} \end{aligned}$$

Die Molare Masse von Nitroglykol beträgt also 152,1 g/mol. Der Faktor mol fällt weg. Auf 152,1 g Nitroglykol erhält man 112 l Gas. Zuletzt rechnet man die 152,1 g auf 1000g und erhält das erzeugte Gasvolumen bei der Entzündung von einem Kilogramm Nitroglykol.¹⁴

$$152,1 \text{ g} \times 6,575 = 1000 \text{ g}$$

¹⁴ vgl. Dr Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s. 32

$$112 \text{ l} \times 6,575 = 736,4 \text{ l}$$

Das spezifische Schwadenvolumen von Nitroglykol beträgt also 736,4 l/kg.

5.3 Die spezifische Energie

Die spezifische Energie bezieht sich auf eine gewisse Eigenschaft eines Systems, welche durch eine physikalische Größe angegeben wird. Die spezifische Energie im Bezug auf einen Sprengstoff gibt an, wie viel Druck entsteht bei der Entzündung von einem Kilogramm Sprengstoff auf ein beschränktes Volumen von einem Liter. Die spezifische Energie ist abhängig vom Schwadenvolumen und der Explosionstemperatur. Vergleicht man TNT und Nitroglycerin (siehe Tabelle) miteinander, fällt auf, dass beide Sprengstoffe dasselbe Schwadenvolumen besitzen, aber eine unterschiedliche spezifische Energie. Grund dafür ist die Explosionstemperatur von Nitroglycerin, sie liegt viel höher als die vom TNT, deshalb ist die spezifische Energie des Nitroglycerins höher.¹⁵

5.4 Die Ladedichte

Bei der Ladedichte wird das Gewicht des Sprengstoffes in Relation zu dem bei seiner Explosion entstehendem Volumen gesetzt. Die Ladedichte bestimmt unter anderem die Detonationsgeschwindigkeit, das heißt, die Geschwindigkeit, mit der die Explosion abläuft. Je höher die Ladedichte, desto schneller läuft die Explosion ab, zudem wird durch die höhere Detonationsgeschwindigkeit die Stärke der Explosion erhöht.¹⁶

6. Der Verwendungszweck heutiger Sprengstoffe

Die Sprengstoffe sind aus dem Alltag des Menschen nicht mehr wegzudenken. Viele Menschen denken bei Sprengstoff sofort an seinen militärischen Nutzen. Beim Militär wird er hauptsächlich in Bomben, Granaten, Minen, Raketen, Torpedos, Gewehrmunition und Panzermunition verbaut und eingesetzt. Jedoch unterschätzen viele den gewerblichen Nutzen des Sprengstoffes. Im gewerblichen Bereich wird der

¹⁵ vgl. Ing. Chem. Dr. R.Knoll: Das Knallquecksilber und andere Sprengstoffe, s. 11

¹⁶ vgl. Dr Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s.46 ff

Sprengstoff mindestens genauso vielfältig und oft eingesetzt wie beim Militär. Die Bodenschätze der Erde werden mit Hilfe der Sprengstoffe gewonnen. Sie spielen eine wichtige Rolle bei der Erschließung von Erdöl und Erdgasfeldern, aber auch bei Wasserquellen. Brennende Ölquellen werden durch Sprengstoffe gelöscht. Sogar in der Forstwirtschaft wird Sprengstoff genutzt um den Boden zu lockern oder Baumwurzeln zu beseitigen.

Vorwiegend beim Bau von Straßen spielen sie eine wichtige Rolle, sie werden beim Bau von Tunneln, Kanälen und Stauseen genutzt. In der Industrie nutzt man die Sprengstoffe zum Verformen von harten Metallen. Bei seismischen Untersuchungen werden die Tiefe und Verlauf geologischer Schichten bestimmt.

Ein Feuerwerk wäre ohne Sprengstoffe nicht möglich, sie werden also auch in der Pyrotechnik verwendet und bei der Sprengung von Gebäuden.

7. Das Cellulosenitrat, „Schießbaumwolle“

Das Cellulosenitrat oder auch Schießbaumwolle genannt ist ein Sprengstoff der 1845 entdeckt wurde. Äußerlich sieht die Schießbaumwolle aus wie Baumwolle. Sie ist weiß, besitzt eine faserige Struktur wie Wolle und ist geruchs – und geschmackslos. „Schießbaumwolle“ wird durch die Veresterung von Wolle mit Nitriersäure, eine Mischung aus Schwefel – und Salpetersäure, hergestellt, daher auch der Name „Schießbaumwolle“.

Zum ersten Mal wurde das Cellulosenitrat von Christian Friedrich Schönbein 1845 in Basel durch das Einwirken von Salpetersäure auf Baumwolle hergestellt. Die Baumwolle wurde ohne „äußerlich sichtbare Veränderung“¹⁰ zu einem explosivem Stoff, welcher sich gut für Schießzwecke verwenden ließ. Weil das Cellulosenitrat aus Baumwolle hergestellt wurde und es für Schießzwecke gut geeignet war, erhielt es den Namen „Schießbaumwolle“. Christian Schönbein hielt seine Entdeckung geheim, so kam es, dass Rudolf Christian Böttger in Frankfurt am Main im Jahre 1846 dieselbe Entdeckung machte. Die beiden Wissenschaftler vereinigten sich. Sie boten dem Deutschen Bunde die Entdeckung der Schießbaumwolle und das Verfahren zur Herstellung der Schießbaumwolle zum Erwerb an. Würde die Schießbaumwolle das Schießpulver für den Gebrauch in Feuerwaffen ersetzen, so würden sie eine „Nationalbelohnung“ erhalten. Zum Nachteil der beiden Wissenschaftler stellte auch der

Professor F.J. Otto aus Braunschweig ebenfalls Schießbaumwolle her und veröffentlichte das Verfahren in der Augsburger Allgemeinen Zeitung im Oktober 1846.

Nun wurde das Verfahren selbst sogar abgeändert. Die Wissenschaftler Karmarsch, Heeren und Knop zeigten dass ein Gemisch aus Salpeter - und Schwefelsäure besser sei, als nur die Verwendung von Salpetersäure. Das Gemisch aus Salpeter – und Schwefelsäure wird wie oben schon erwähnt, Nitriersäure genannt. Grund dafür war, dass die Schwefelsäure, dass beim Einwirken von der Sapletersäure auf die Baumwolle entstehende Wasser, an sich bindet. Somit wurde das Verdünnen der Salpetersäure durch das Wasser verhindert.

Nachdem eine Kommission die Schießbaumwolle auf ihre Funktionalität überprüft hatte, wurde sie für militärische Zwecke verwendet. Jedoch kam es kurz nach der Einführung der Schießbaumwolle in Magazinen und Fabriken zu unerklärlichen Explosionen.

Der Chemiker Friedrich Abel erkannte, dass die unerklärlichen Explosionen auf die Reinigung der Schießbaumwolle zurückzuführen seien. Die Schießbaumwolle wurde nicht gut genug gereinigt und so kam es zur gelegentlichen Selbstentzündung. Er verbesserte das Verfahren, indem die Schießbaumwolle zerkleinert wurde und somit besser gereinigt werden konnte.

Die Aufbewahrung der Schießbaumwolle wurde dadurch gefahrlos und sie konnte jetzt für gezielte Explosionen verwendet werden.¹⁷

7.1 Die chemischen Eigenschaften des Cellulosenitrats

Das Cellulosenitrat besitzt die Summenformel $C_6H_7O_{11}N_3$. Sie besitzt den Aggregatzustand fest und hat einen Schmelzpunkt von 160-180° C. Neben der chemisch korrekten Bezeichnung Cellulosenitrat wird es auch Nitrozellulose, Schießbaumwolle, Blitzwolle und „rauchloses Pulver“ genannt. Die Strukturformel sieht wie folgt aus:

¹⁷ vgl. Dr Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s. 10 ff

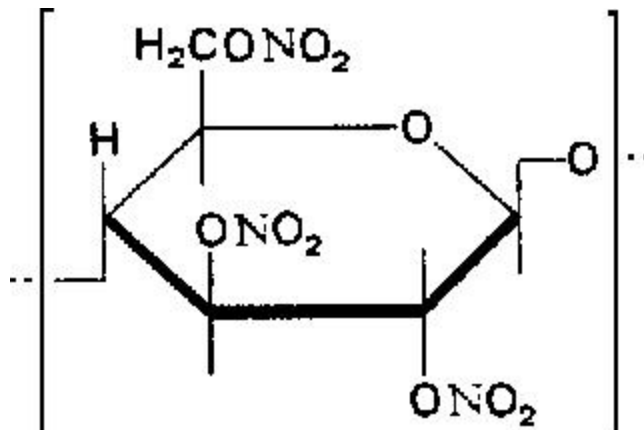


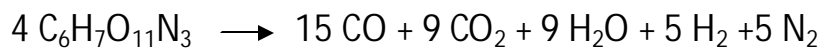
Abbildung 5: Strukturformel des Cellulosenitrats

Die Strukturformel zeigt eine Glucoseeinheit, das Cellulosenitrat besteht aus Tausenden von diesen Einheiten.

Explosionstemperatur :	3100° C
Sauerstoffbilanz:	-29,8 %
Bleiblockausbauchung:	37 cm ³ /g
Detonationsgeschwindigkeit:	6300 m/s

Das Verbrennen von Cellulosenitrat läuft sehr schnell und rauchlos ab, darum wird es auch Blitzwolle oder „rauchloses Pulver“ genannt.

Die Zerfetzungsgleichung des Cellulosenitrats:



Bei der Entzündung von Cellulosenitrat entsteht Kohlenstoffmonoxid (CO), Kohlenstoffdioxid (CO₂), Wasser (H₂O), Wasserstoff (H₂) und Stickstoff (N₂).¹⁸

¹⁸ vgl. Dr Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s. 81

Das Entzünden des Cellulosenitrats:

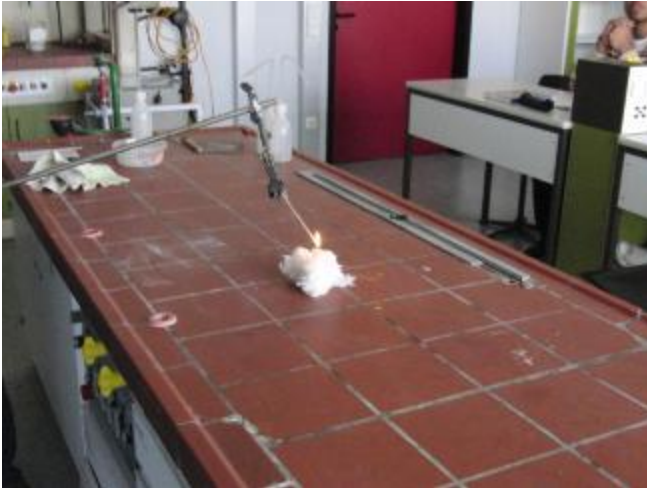


Abbildung 6 : Entzünden des Cellulosenitrats

Das Cellulosenitrat wird bei ausreichendem Sicherheitsabstand mit Hilfe eines Stativs entzündet.



Abbildung 7 : Oxidationsbeginn

Die Schießbaumwolle oxidiert blitzschnell und verbrennt mit gelber Flamme, wie gut zu erkennen ist.



Abbildung 8 : Entwicklung des Gasvolumens

Jetzt hat sie ihr größtes Volumen erreicht, nach wenigen Millisekunden. Auf dem Bild ist das Gasvolumen gut zu erkennen. Es ist gut zu erkennen, wie stark das Volumen zunimmt.

7.2 Der Verwendungszweck

Obwohl seit der Erfindung des Cellulosenitrats hunderte von neuen Sprengstoffen entwickelt und erfunden wurden, wird es heute immer noch recht häufig verwendet.

Vor allem im Bergbau wird es noch sehr oft genutzt, da bei dem Gebrauch kaum Rauch entsteht. Die Pyrotechnik nutzt diese Eigenschaft für Feuerwerkseffekte in geschlossenen Räumen.

Einige Kleber zum Beispiel „UHU hart“ basieren auf dem Cellulosenitrat.

In Biochemie werden Membranen aus Cellulosenitrat verwendet. Es dient auch als Bindemittel in verschiedenen Lacken.

Aus Zelluloid, ein Produkt welches aus dem Cellulosenitrat gewonnen wird, werden Tischtennisbälle hergestellt, früher wurde es sogar für fotografische Träger verwendet.¹⁹

7.3 Experimentelle Herstellung von Cellulosenitrat

Chemikalien: Gemisch aus 40 ml konzentrierte Schwefelsäure (H_2SO_4) und 20 ml rauchende Salpetersäure (HNO_3), auch Nitriersäure genannt; 2 g Watte

Geräte: Becherglas, Glasschüssel, Glasstab, wassergefüllter Ausguss, Filterpapier

Durchführung:

¹⁹ vgl. www.de.wikipedia.org/wiki/schießbaumwolle

Abbildung 9 : mit Nitriersäure gefülltes Becherglas



Zuerst wird das Becherglas mit der 20 ml Salpetersäure und der 40 ml Schwefelsäure gefüllt. Das Becherglas wiederum kommt in die Glasschüssel, welche mit Wasser und Eiswürfeln gefüllt ist. Die Glasschüssel dient zur Kühlung.

Abbildung 10: Bearbeiten der Baumwolle



Jetzt wird die Watte in das Becherglas gegeben. Sie bleibt 15 min in dem Säuregemisch und wird dauerhaft mit dem Glasstab bearbeitet, damit alle Fasern mit der Nitriersäure in Berührung kommen.

Abbildung 11 : Zerkleinern der Schießbaumwolle



Nach den 15 min wird die Nitriersäure abgeschüttet, die Watte wird jetzt in den mit wassergefüllten Ausguss gegeben und bewegt, bis sie den pH-Wert von 7 angenommen hat. Jetzt wird sie zwischen Tüchern und danach zwischen Filterpapier gepresst, um das überschüssige Wasser zu entfernen. Danach wird sie zerkleinert.

Abbildung 12 : Trocknen der Schießbaumwolle



Nach der Zerkleinerung wird sie ein paar Tage an der Luft getrocknet, bis sie dann wie im Kapitel „Die chemische Eigenschaften des Cellulosenitrats“ beschrieben, entzündet werden kann.²⁰

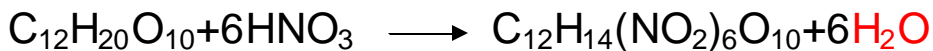
²⁰Die Angaben zur Herstellung von Cellulosenitrat wurden dem Unterricht entnommen

Beobachtung:

Es fällt auf, dass die Konsistenz der Baumwolle sich nicht ändert, nach der Entzündung verbrennt sie rückstandslos, sogar schon bei Berührung von heißen Flächen.

Analyse:

Früher nutzte man für die Nitrierung von Baumwolle nur Salpetersäure, die Reaktionsgleichung sieht wie folgt aus:



Das bei der Reaktion entstehende Wasser (H_2O) wird die Salpetersäure verdünnen und sie schwächen. Um das zu verhindern, nutzt man Nitriersäure, ein Gemisch aus Salpeter- und Schwefelsäure. Die beiden Säuren reagieren wie folgt miteinander:²¹



Das HSO_4^- Teilchen bindet das abgespaltene H^+ Proton an sich, so wird das Entstehen von Wasser verhindert.

Die komplette Reaktionsgleichung sieht wie folgt aus :

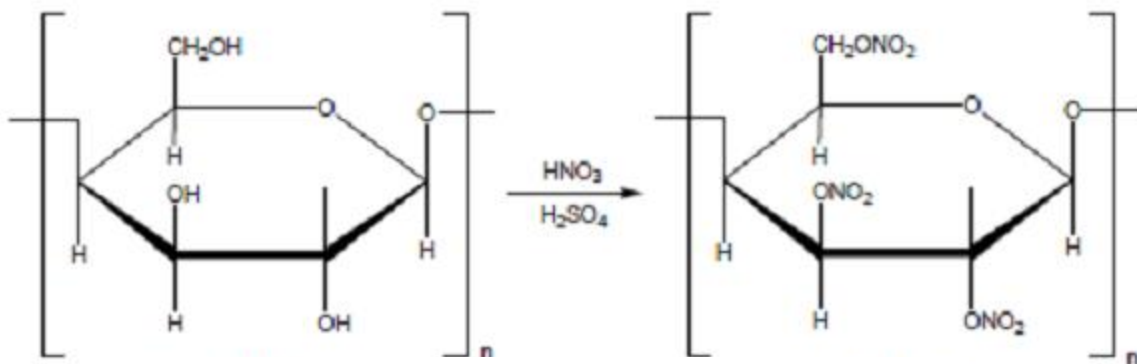


Abbildung 13: Herstellung des Cellulosenitrats

Bei der Reaktion greift ein Elektronenpaar des Sauerstoffs einer OH-Gruppe von der Cellulose am positiv geladenen Stickstoff des Nitryl-Kations an (NO_2^+), welches unter Abspaltung von einem H^+ Proton am Sauerstoff gebunden wird. Das H^+ Proton wird

²¹ vgl. Dr Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe, s. 81ff

wie oben schon erwähnt von dem HSO_4^- aufgenommen und die Entstehung von Wasser so verhindert.²²

Die Nitriersäure und die Reaktionsdauer bestimmen, ob das entstehende Produkt Schießbaumwolle (Cellulosetrinitrat) oder Kollodiumwolle (Cellulosedinitrat) ist. Liegt der Stickstoffgehalt der Nitriersäure über 12,75 % so entsteht die Schießbaumwolle, liegt der Wert darunter, so entsteht Kollodiumwolle.

8. Nachwort

Die Sprengstoffe können in der Wirtschaft sehr nützlich sein und werden oft verwendet. Sie besitzen eine hohe physikalische Kraft und können Arbeiten in kurzer Zeit verrichten, für die Menschen Tage benötigen würden.

Leider benutzen Gruppierungen Sprengstoffe um ihre politischen und religiösen Ziele durchzusetzen, wobei viele Menschen getötet werden.

Durch die Einfachheit der Herstellung und dadurch, dass die Sprengstoffe nicht teuer sind, kommt es zum häufigen Missbrauch der Sprengstoffe in Form von Sprengsätzen.

Auch beim Militär sterben bei Sprengungen viele Menschen, durch Nutzung der Sprengstoffe in Minen, Munition, Bomben und andere Waffen.

Mein Fazit ist, dass der Missbrauch von Sprengstoffen überwiegt.

Um die Sicherheit mit dem Umgang von Sprengstoffen zu erhöhen und den Missbrauch zu verhindern, sollte meiner Meinung nach der Erwerb von Stoffen und Materialien aus denen Sprengstoffe hergestellt werden und der Erwerb von Sprengstoffen selbst, strenger kontrolliert werden.

²² vgl. Ing. Chem. Dr. R.Knoll: Das Knallquecksilber und andere Sprengstoffe, s. 22 ff

Literaturverzeichnis

Bertelsmann Lexikon-Verlag: Bertelsmann Universal Lexikon in Farbe, Band 1 A-K, Gütersloh: 1976

Bertelsmann Lexikon-Verlag: Bertelsmann Universal Lexikon in Farbe, Band 2 K-Z, Gütersloh: 1976

Eisner, Werner, Gietz u.a.: Elemente Chemie II. Stuttgart: Ernst Klett Verlag 2000

Köhler, Josef: Explosivstoffe. 8 Aufl. Weinheim: Wiley-VCH Verlag 2001

Römpf, Hermann: Römpf Chemie Lexikon, 10. Aufl. Stuttgart: Thieme 1996

Ing. Chem. Dr. R.Knoll: Das Knallquecksilber und andere Sprengstoffe. Hrsg von Manuel Baetz. Survival Press 2001

Dr. Biedermann, Rudolf: Die Sprengstoffe. Hrsg von Manuel Baetz. Survival Press 2000

Internetquellen

www.chids.de (23.02.2010)

www.chemieunterricht.de/dc2/kampfst/explosiv.htm(10.01.2010)

www.bks-essen.de/uploads/media/Sprengstoffe_02.pdf (28.12.2009)

www.roguesci.org/megalomania/explosives.html (07.12.2009)

www.uni-protokolle.de/Lexikon/Sprengstoff.html (14.03.2010)

www.de.wikipedia.org/wiki/Sprengstoff (17.03.2010)

www.de.wikipedia.org/wiki/Bleiblockausbauchung(17.03.2010)

<http://www.idison.de/index.php/sprengstoffe.html>(21.03.2010)

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zusammengetragen aus „Das Knallquecksilber und andere Sprengstoffe“ von Ing. Chem. Dr. R.Knoll und „Die Sprengstoffe“ von Dr. Rudolf Biedermann. Die Werte der Bleiblockausbauchung aus www.de.wikipedia.org/wiki/Bleiblockausbauchung und <http://www.idison.de/index.php/sprengstoffe.html> übernommen.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: <http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/4/40/Nitroglycerin-2D-skeletal.png>

Abbildung 2: <http://de.academic.ru/pictures/dewiki/78/Nitro-group-2D.png>

Abbildung 3: http://www.agiasofia.com/gr_fire.jpg

Abbildung 4: <http://www.uni-protokolle.de/Lexikon/Detonationswelle.html>

Abbildung 5: <http://www.bautschweb.de/chemie/cellstrk.gif>

Abbildungen 6-12: Eigene Bilder, im Unterricht erstellt

Abbildung 13:

<http://www.chids.de/dachs/praktikumsprotokolle/PP0132Schiessbaumwolle.pdf>