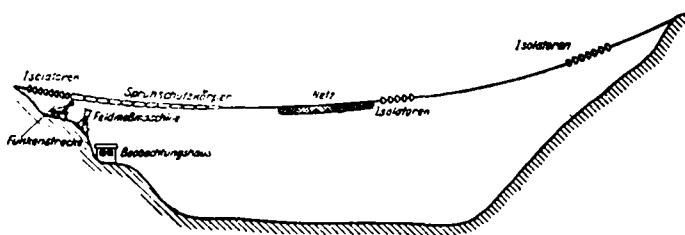


Gegend wegen ihrer Gewitterhäufigkeit besonders geeignet schien. Die physikalischen Daten, welche die ungefähre Vorausberechnung der Stärke der zu erwartenden elektrischen Felder ermöglichen und für die engere Auswahl des Versuchsortes maßgebend waren, sind folgende: Das normale luftelektrische Feld der Erde beträgt im Durchschnitt 200 V/m. Bei Gewittern tritt eine Erhöhung bis einige hundert kV/m ein. Daraus ergibt sich also, daß schon 100 m über dem Boden ein Potenial von etwa 5 000 000 bis 30 000 000 Volt herrscht, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß in der Nähe von Bergspitzen das Potentialgefälle noch bedeutend größer sein kann.

Demzufolge wurde zwischen zwei Bergspitzen ein Drahtseil antennenartig ausgespannt, an dessen Mitte ein weitmaschiges zur Aufsaugung der Elektrizität mit Spitzen versehenes Drahtnetz befestigt war, das mehrere hundert qm Flächenraum einnahm, um möglichst hohe Stromstärken zu erzielen (s. Abb.)⁷⁾.



Die Gesamtlänge der Verspannung betrug 760 m, und das Netz befand sich etwa 80 m über dem Erdboden. An den beiden Enden war das Drahtseil durch starke Isolatoren gesichert. An einem Ende des Seiles war die Ableitung angebracht, die zu einem, wegen der Blitzgefahr ganz aus Metall bestehenden, Beobachtungshäuschen führte, in dem die Meßinstrumente untergebracht waren. Die eigentliche Feldmeßmaschine war neben dem Beobachtungshäuschen aufgestellt. Um an dem mit der Ableitung versehenen Ende des Seiles ein Versprühen der Elektrizität möglichst zu vermeiden, mußte der Querschnitt dieses Teiles so groß wie möglich gestaltet werden. Dies geschah dadurch, daß eine Reihe von ovalen metallenen Hohlkörpern perlenschnurartig auf das Ableitungsende des Seiles aufgereiht wurde. Auf

⁷⁾ Aus Naturwiss. 7, 116 [1928].

diese Weise wurde trotz beträchtlicher Querschnittsvergrößerung eine genügende Beweglichkeit des Seiles gewährleistet. In der Nähe des letzten Sprühschutzkörpers befand sich eine an einem beweglichen Arme befestigte Metallkugel, die mit dem letzten Sprühschutzkörper eine Funkenstrecke bildete und vom Beobachtungshäuschen aus bedient werden konnte.

Bei den ersten Versuchen schon stellte sich heraus, daß die Feldmeßmaschine, wenigstens in der bisherigen Form, unbrauchbar war, da sie, wahrscheinlich infolge von Sprühungen, ganz entstellte Ergebnisse lieferte. Man war also für die Messung ganz auf die Funkenstrecke angewiesen. Da die Hauptgewitterperiode infolge des Aufbaues der Apparatur unbenutzt vorüber ging, konnte nur ein Gewitter für Meßzwecke verwendet werden. Hierbei zeigte sich, daß die maximale Öffnungsweite der Funkenstrecke von 4,5 m glatt überschlagen wurde, wobei die Funkenfolge 1 pro Sekunde betrug und während 30 Minuten durchaus konstant blieb. Die aus der Funkenstrecke berechnete minimale Spannung betrug 1 700 000 Volt. Die Erfahrung hatte nun gezeigt, daß es bei einer so raschen Funkenfolge, wie 1 pro Sekunde, möglich ist, die Funkenstrecke auf das Doppelte zu vergrößern, ohne daß die Entladungen aufhören. Berücksichtigt man dies, so kommt man natürlich zu einer weit höheren Spannung als 1 700 000 Volt.

Die Versuche werden in diesem Jahre mit einer erweiterten Apparatur fortgesetzt.

Die vorstehend beschriebenen Versuche, stärkste elektrische Potentiale zu erreichen, sind ganz besonders vom atomphysikalischen Standpunkte aus interessant, denn gelingt es, die auf diese Weise erzielten elektrischen Felder auf Atome oder Elektronen einwirken zu lassen, so kann man diesen Teilchen eine Geschwindigkeit erteilen, welche an die von den radioaktiven Elementen emittierten α -Strahlen heranreicht oder sie sogar übertrifft. Ist dies erst einmal gelungen, so dürfte es keine prinzipielle Schwierigkeit bereiten, auch die Intensität dieser Strahlung so zu gestalten, daß eine Atomzertrümmerung in einem weit größeren Maßstabe ausgeführt werden kann als bisher mit den geringen Mengen des uns zur Verfügung stehenden radioaktiven Materials; denn erst die α -Strahlung von 100 kg Radium würde der Energie eines Kanalstrahlenbündels von 1 mA entsprechen.

[A. 83.]

Penta-erythrit-tetranitrat als Militärsprengstoff.

Von Dr. ALFRED STETTBACHER, Schwamendingen bei Zürich

(Eingeg. 15. Mai 1928.)

Um die kleinkalibrigen Geschosse, insbesondere der Tank- und Flugzeugabwehr, auf den höchsten Wirkungsgrad zu bringen, hat man in den letzten Jahren nicht bloß die Mündungsgeschwindigkeit, sondern vor allem auch die Sprengkraft auf das äußerste, überhaupt zulässige Maß zu steigern versucht. Während aber die Durchschlagskraft eines Geschosses, d. h. seine Mündungsgesnergie, verhältnismäßig leicht durch Vergrößerung der Treibladung oder durch Verlängerung des Geschützrohres vermehrt werden kann und praktisch nur eine Grenze an der beschleunigten Abnutzung des Geschützes durch Ausbrennen findet, ist eine Vergrößerung der Brüanz über die bekannten Artillerie-Sprengladungen hinaus einzig durch einen neuen Sprengstoff möglich, der außer einer höheren Energie (Explosionswärme) und Detonationsgeschwindigkeit noch die drei weiteren Forderungen,

nämlich: billiger technischer Herstellung, Preßbarkeit auf hohe Dichte und Schußsicherheit, erfüllt. Diesen vielen Bedingungen entspricht unter den zahlreichen Explosivstoffen, die seit der allgemeinen Anwendung des Trinitro-toluols und des Tetranitro-methylanilins bekannt geworden sind, einzig das Penta-erythrit-tetranitrat, wobei die Schußsicherheit allerdings nicht im strengsten Sinne gefordert werden darf.

Seitdem der Formaldehyd aus synthetischem Methylalkohol billig hergestellt werden kann, ist die technische Gewinnung des festen Alkohols Pentaerythrit als Ausgangsprodukt für den vierfachen Salpetersäureester im Großen möglich geworden, und zwar zu einem Preis, daß der Nitro-penta-erythrit — unter Berücksichtigung des Energieunterschiedes — bereits mit dem Trinitrotoluol in Wettbewerb zu treten vermag. Dieser wirtschaftliche Umstand bildet wohl den Hauptgrund, warum

der schon lange bekannte und patentierte Sprengstoff neuerdings in den Vordergrund des munitionstechnischen Interesses gerückt ist.

Das Penta-erythrit-tetranitrat besitzt nicht nur die höchste aller bis jetzt gemessenen Detonationsgeschwindigkeiten, sondern zeigt sich auch in den übrigen sprengtechnischen Eigenschaften den bekannten Granatladungen weit überlegen, wie aus der folgenden Zusammenstellung nach Kast hervorgeht:

	Dichte	Explosionswärme kg/Cal.	Explosions-temperatur °C	Gas-Vol. L	Deton.-Geschw. m/sec.	Ausbauchung im Bleiblock ccm
Trinitrotoluol	1,59	950	2820	690	6700	285
Tetranitromethylanilin	1,63	1090	3370	710	7200	340
Nitroglycerin	1,60	1485*	4250	715	7450	515
Pentaerythrit-tetranitrat	1,62	1403*	4300	780	8400	470

*) Die von Kast angeführten Explosionswärmefür Nitroglycerin und den Nitro-penta-erythrit sind zum mindesten verwechselt; an deren Stelle wurden daher die wahrscheinlicheren, von Naoum auf dampfförmiges Wasser berechneten Werte eingesetzt, welche — der Regel gemäß — auch mit den Bleiblockausbauchungen parallel laufen.

Über die Gewinnung des Ausgangsalkohols und dessen Veresterung mit Salpetersäure sind vom Verfasser seinerzeit Angaben gemacht worden, später hat sich auch Naoum¹⁾ ausführlicher mit dem Gegenstande beschäftigt, jedoch ohne auf jene Einzelheiten bei der Abscheidung des stabilisierten Esters eingegangen zu sein, welche nach heutiger Erfahrung für die Pressung zu Geschoß- und Kapselladungen von besonderer Wichtigkeit sind. Daher möge zuerst der Arbeitsgang zur Herstellung eines möglichst preßsicheren Penta-erythrit-tetranitrats folgen:

Als Ausgangsprodukt diente ein von der Gesellschaft für elektrochemische Industrie in Turgi (Schweiz) fabriktechnisch hergestellter Pentaerythrit von gut kristallinem, weißem Aussehen und einem unscharfen Schmelzpunkt von 243 bis 248°. Obwohl der reine Alkohol erst bei 253° schmilzt, erwies sich das betreffende Produkt als ziemlich rein, da schon unbedeutende Begleitverunreinigungen den Schmelzpunkt stark verwischen und herabsetzen.



Ausbeute: roh, gewaschen 97%, stabilisiert 93—94% der Theorie.

Im Gegensatz zum flüssigen Glycerin oder Glykol kann der feste Penta-erythrit nicht in Mischsäure nitriert werden, da beim Eintragen unter Zusammenballen ein zähes, schwer zu reinigendes Produkt entsteht. In einem Überschüß von hochkonzentrierter Salpetersäure (1,50 bis 1,52) dagegen tritt teilweise Veresterung und Lösung des gebildeten Nitrats ein, worauf unter stufenweiser Zugabe von konzentrierter Schwefelsäure das Tetranitrat in feinkörnigem Zustande fast vollständig ausgeschieden wird. Zweckmäßig und mit guter Ausbeute nitriert man wie folgt:

100 g gepulverter Penta-erythrit werden nach und nach in 430 ccm 98—99%ige rauchende Salpetersäure (1,52) eingetragen, indem man gleichzeitig durch Eiswasserkühlung dafür sorgt, daß die Temperatur nicht über 25° steigt. Mehr als diesen fast 3½fachen Überschüß

¹⁾ Nitroglycerin und Nitroglycerinsprengstoffe, S. 221—226. Berlin 1924.

an Salpetersäure anzuwenden, befördert zwar die Nitrierung und den Wärmeausgleich, ist aber nicht notwendig. Bei zu wenig konzentrierter Säure, etwa von 1,48 abwärts, findet leicht Zersetzung und Überkochen statt, während zu hohe Nitriertemperaturen bei der richtigen Konzentration meist zum Ausbrennen der Charge führen. Unter Benutzung eines Rührwerkes ist das Eintragen der 100 g Penta-erythrit in einer halben Stunde beendet, wobei die Temperatur selten über 20° steigt. Dem Reaktionsprodukt fügt man nun 400 ccm konzentrierte Schwefelsäure zu, läßt aber auch hier die Erwärmung am besten nicht über 25° — bis höchstens 30° — gehen: der Ester scheidet sich in Form eines feinen Kristallbreies, zum Teil obenauf schwimmend, aus und kann nach einigen Stunden Stehenlassens über Glaswolle oder Asbest von der Säure getrennt werden. Nach gründlichem Absaugen mit der Wasserstrahlpumpe bringt man die immer noch beträchtliche Mengen Salpeter-Schwefelsäure zurückhaltende Kristallmasse in wenigstens einen Liter Eiswasser und sorgt durch rasches Umrühren und Untertauchen, daß keine Zersetzung unter Ausschluß nitroser Gase eintritt. Dabei sinkt der Ester als rein weißes, lockeres Pulver zu Boden und wird auf der Nutsche mit gewöhnlichem Papierfilter unter jedesmaligem Absaugen mit vielem Wasser gewaschen. Ausbeute 225 g oder 97% Rohprodukt.

Das Rohprodukt schließt stets geringe Säurereste ein, die sich weder durch Erhitzen mit Wasser, noch selbst durch Anwendung von Alkalien ganz entfernen lassen. Eine fertige Stabilisierung ist nur möglich in einem Lösungsmittel, welches die Säurespuren frei und beweglich, d. h. der Neutralisation zugänglich, macht. Zu diesem Zwecke löst man 100 g des rohen Nitro-penta-erythrits — der nicht völlig trocken zu sein braucht — in etwa 400 ccm Aceton am Rückflußkühler, setzt 3—4 g zerriebenes Ammoncarbonat hinzu und beobachtet, wie auf die Kohlensäureentwicklung ein Farbumschlag in Gelbbräun erfolgt — ein Zeichen, daß die Säure durch das (überschüssig vorhanden sein sollende) Ammoncarbonat neutralisiert worden ist. Hierauf gibt man die Lösung durch ein Papierfilter und läßt in die ungefähr zweifache Menge (800 ccm) destilliertes Wasser einlaufen: das reine Penta-erythrit-tetranitrat scheidet sich fast quantitativ in mikroskopisch feinen Kristallen (ca. 1 μ) aus, wird auf der Nutsche noch einige Male mit Wasser gewaschen und dann auf Filterpapier getrocknet. Ausbeute etwa 96% des Rohprodukts oder 93—94% der Theorie.

Nach einer anderen Methode wird der in Aceton stabilisierte Ester nicht in die doppelte Menge Wasser, sondern in die doppelte Menge Alkohol gegossen, nach dem Abnutschen nochmals mit heißem Alkohol in einer Schale verrieben, wieder abgenutscht und bei 60° getrocknet. Dieses Produkt besteht aus feinen, langen Nadeln und erweist sich beim Pressen empfindlicher, d. h. neigt leichter zu Explosionen, als die Agglomerate von kurzen Prismen, die beim Eingießen der Acetonlösung in Wasser entstehen. Worauf dieses unterschiedliche Verhalten beruht: ob in der verschiedenen Kristallform oder in anhaftenden Spuren Alkohol, muß noch entschieden werden.

Das durch Eingießen der heißen Acetonlösung in Wasser erhaltene Produkt ist sehr rein und schmilzt bei 140—141° zu einem schweren farblosen Öl, das beim Erkalten kristallinisch erstarrt. Oberhalb des Schmelzpunktes tritt langsame Zersetzung ein. Bei den üblichen Test-Temperaturen jedoch erweist sich das Penta-erythrit-tetranitrat hervorragend beständig; beispielsweise blieb die Jodkaliumstärke-Probe beim Erwärmen

1 Stunde auf 70° negativ
weitere 2 Stunden „ 80° „
“ 2 „ „ 90° „
“ 2 „ „ 95° „

während gründlich gewaschenes Nitroglycerin, auf 72° gehalten, meist nach 30 Minuten unter Braunfärbung reagiert. Diese ungewöhnliche Stabilität ist der eigentümlichen Lagerung der Methoxylgruppen um das zentrale quaternäre C-Atom zuzuschreiben, welches nach den neuesten röntgenologischen Untersuchungen an der Spitze eines Tetraeders sitzt, während die vier veresterten C-Glieder auf die vier Ecken der gegenüberliegenden Grundfläche verteilt sind.

Wegen des hohen Schmelzpunktes muß das Pentaerythrit-tetranitrat für jeden sprengtechnischen Gebrauchsweck gepreßt werden. Mit zunehmendem Drucke wird es dabei unempfindlicher und schwerer detonierbar. Nach neueren Versuchen würden Pressungen bis zu 6000 Atm. vertragen, und solche Geschoßfüllungen wären bei Anfangsgeschwindigkeiten bis 800 m/sec. genügend schußsicher. Wenn es gelingt, die ebenso kostspieligen wie gefährlichen Rohrdetonierer gänzlich auszuschalten und reines, hochgepreßtes „Pentaryth“ in größeren Kalibern (über 5 cm) zu verwenden, dann wird nach reichlich 25 Jahren die Geschoß-Sprengtechnik mit einem neuen Abschnitt beginnen.

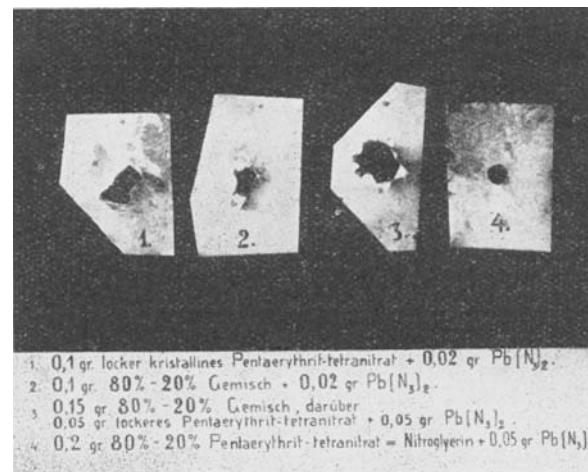
Nitro-penta-erythrit ist in erwärmtem Nitroglycerin etwas löslich und scheidet sich beim Abkühlen wieder aus. Zufolge dieser „Lösungsdhäsion“ können 70—75 Gewichtsteile des festen Esters leicht mit 20—25 Gewichtsteilen Sprengöl zu einem dicken Brei vermengt werden. Nimmt man noch weniger Nitroglycerin, so entsteht eine steife, pastenförmige Masse²⁾, die ohne gefährliche Pressung, bequem in jede Hohlform gedrückt oder gestrichen werden kann und bei entsprechender Plastizität wohl auch für zusammenhängende Detonationschnurfüllungen in Betracht kommt. Im Verlauf dieser Versuche ergab sich nämlich die überraschende Tatsache, daß solche Gemenge erst dann mit der Durchstanzkraft des festen, hochgepreßten Tetranitats explodieren, wenn ihr Nitroglyceringehalt weniger als 25% beträgt. Am besten geeignet erscheint das Verhältnis: 80 Tetranitrat zu 20 Sprengöl, wobei die Detonation unfehlbar mit der extremen Geschwindigkeit erfolgt. Solch ein Gemisch erreicht die hohe Dichte von ungefähr 1,65 und stellt sich energetisch noch günstiger als das reine Tetranitrat, da der Sauerstoffüberschuß des Nitroglycerins die Explosionsgleichung des ersteren verbessert.

Locker aufgeschüttetes oder schwach gepreßtes Pentaerythrit-tetranitrat kann schon mit wenigen Milli-

²⁾ Zum Patent angemeldet.

gramm Bleiazid zur lauten, betäubenden Detonation gebracht werden und eignet sich seiner festen Form wegen weit besser zu Vorlesungsversuchen als das Nitroglycerin, dessen ohrenfällige Wirkung nur eintritt bei meterhohem Herabtropfen auf eine erhitze Metallplatte von bestimmter Temperatur.

Die nachstehende Abbildung³⁾ veranschaulicht Anordnung und Wirkung von vier derartigen Versuchen im kleinen. Während die Blechunterlagen von 1 und 3



1. 0,1 gr. locker kristallines Pentaerythrit-tetranitrat + 0,02 gr. Pb[N₃]₂.
2. 0,1 gr. 80%—20% Gemisch + 0,02 gr. Pb[N₃]₂.
3. 0,15 gr. 80%—20% Gemisch, darüber 0,05 gr. lockeres Pentaerythrit-tetranitrat + 0,05 gr. Pb[N₃]₂.
4. 0,2 gr. 80%—20% Pentaerythrit-tetranitrat = Nitroglycerin + 0,05 gr. Pb[N₃]₂.

mehr den ausgebreiteten Druckbereich der mittleren Vergasungsschnelligkeiten des locker aufgeschütteten Nitropenta-erythrits zeigen, verraten 2 und 4 die enger begrenzten, dafür aber ungleich heftigeren Stoßwirkungen der höchsten Detonationsgeschwindigkeiten. Zwar ist der Durchschlag bei 2 infolge der nicht ganz genügenden Menge von 0,02 g Zündstoff noch mangelhaft; allein bei 4 findet sich die zähe Unterlage mit einer fast absoluten, zeitlosen Plötzlichkeit durchstanzt: nicht nur, daß jede Verbiegung oder Ausbuchtung am messerscharfen Rande fehlt, sondern auch das Scheibchen wird zerteilt und fliegt von der Höhe des Dreifußes mit schneidender Rasanz durch viele Zeitungslagen Papier hindurch noch einen Zentimeter tief in die harthölzerne Tischplatte. Gleichzeitig sprühen Funken von der Detonationsstelle weg, und ein marternder Knall vervollständigt das Bild einer beispiellosen Brisanz, wie sie mit ähnlichen kleinen Mengen noch nirgends demonstriert worden ist.

[A. 82.]

³⁾ Von Urs. Pfenninger, Zürich, zusammengestellt.

Die Ausbildungsdauer des Chemikerberufs im Vergleich zu anderen akademischen Berufen.

Von Dr. F. SCHARF, Berlin.
(Eingeg. 8. Juni 1928.)

Durch die landwirtschaftliche Fachpresse sowie durch landwirtschaftlich orientierte Tageszeitungen¹⁾ gingen vor mehreren Monaten Darlegungen über das Anstellungsalter der Akademiker, die offenbar von den Organisationen der akademisch gebildeten Landwirte herührten und den Nachweis erbringen sollten, daß die akademischen Landwirte einem Berufe von ganz beson-

ders langer Ausbildungszeit angehörten. Diese Darlegungen stützten sich auf das Buch „Die Hochschulen Deutschlands“ (1926) von Prof. Dr. Karl Remm, dem Direktor des Akademischen Auskunftsamtes der Universität Berlin, also auf eine amtliche Quelle, die den Angaben das Gewicht besonderer Objektivität zu verleihen geeignet ist.

Ich hätte keine Ursache, mich mit diesen Zeitungsaufsätzen und ihrer Quelle zu befassen, wenn nicht darin die uns Chemiker höchst verblüffende Feststellung ge-

¹⁾ Zum Beispiel „Mitteilungen der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft“; „Landwirtschaftliche Zeitung für Lippe und Umgebung“; „Hallesche Zeitung“; „Kasseler Post“.