

# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt<sup>1)</sup>.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.

Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen,  
20. Jahrgang, 1925, Nr. 11.

## Zeit und Umfang der Explosion.

Am 21. September 1921, morgens 7 Uhr 32 Min. 18 Sek. fand in der Ammoniak- und Kunstdüngerfabrik Oppau der Badischen Anilin- und Sodafabrik in einem mit 4500 t Ammonsulfatsalpeter belegten Silo eine schwere Explosion statt, durch die das Werk zum großen Teil zerstört und auf viele Monate außer Betrieb gesetzt wurde.

Noch nie hat eine Explosionskatastrophe die Welt in solche Aufregung versetzt, wie diese Explosion, sie ist das größte Unglück dieser Art, das die chemische Industrie nicht nur Deutschlands, sondern der ganzen Welt je betroffen hat. Es sind der Explosion neben 1917 mehr oder minder schwer Verletzten 509 Tote (einschl. der Vermißten) zum Opfer gefallen.<sup>2)</sup> Die Zerstörungen in der Fabrik, die in der Hauptsache während des Krieges ausgebaut und auf ihre heutige Größe gebracht worden ist, die also eine ganz neue industrielle Schöpfung darstellt, waren ungeheuer.<sup>3)</sup> Von etwa 300 Gebäuden wurden in einem Umkreis von etwa 480 m 96, also ein Drittel, so gut wie vollständig, 12 im Umkreise von 600 m zur Hälfte und etwa 10 im Umkreis von über 700 m zu einem Zehntel zerstört. In dem in einer Entfernung von 550—1500 m vom Explosionsherd gelegenen Ort Oppau, der 7500 Einwohner zählte, waren bis zu einer Entfernung von 600 m 1036 Gebäude völlig eingestürzt, bis zu einer Entfernung von 900 m 928 Gebäude schwer beschädigt und nur der Rest von 89 Gebäuden (etwa 4,5 %) war weniger mitgenommen und wies nur leichtere Schäden an Fenstern, Türen und Dächern auf. Diese letzte Zerstörungszone erstreckte sich bis in den an Oppau anschließenden, in einer Entfernung von 2000 m vom Sprengtrichter gelegenen Ort Edigheim.<sup>4)</sup> In dem etwa 1,5 km entfernten Werk Ludwigshafen waren auf der nach Oppau zu gelegenen Seite Dächer abgedeckt und Fensterstöcke herausgerissen worden.

<sup>1)</sup> Aus bestimmten hier nicht zu erörternden Gründen mußte der Druck dieser Abhandlung, die im wesentlichen schon im Jahre 1923 fertiggestellt war, bis heute zurückgestellt werden.

<sup>2)</sup> Die Zahlen wie auch die folgenden sind dem Untersuchungsbericht der bayerischen Untersuchungskommission entnommen. In der Werkzeitung der Bad. An.- und Sodafabr. 1921 Nr. 10 (Oktober) wird die Zahl der Toten und Vermißten mit 586, die Zahl der Verletzten mit 1952 angegeben.

<sup>3)</sup> Hinsichtlich der Art der Zerstörungen wird auf die Abbildung in den Abhandlungen von Hecker, sowie Goebel und Probst (s. Anm. 8) verwiesen.

<sup>4)</sup> Nach einem in der Sitzung des Reichstagsausschusses am 6. Dezember gehaltenen Vortrag von Ministerialrat Stützel waren von 2138 Gebäuden 678 (312 Haupt- und 366 Nebengebäude) völlig zerstört, 1450 beschädigt.

Auch in der weiteren Umgebung — bis zu 75 km — hatten sich noch Gebäudeschäden bemerkbar gemacht.

Der an Stelle des explodierten Silos entstandene Sprengkrater hatte eine Breite von 96 m, eine Länge von 165 m und eine Tiefe von 18,5 m, und es läßt sich der Erdauswurf aus diesen Abmessungen zu rund 12 000 cbm berechnen.

## Folgeerscheinungen.

Auch in anderer, psychischer Hinsicht waren die Auswirkungen der Katastrophe einzigartig, wie es in einer Zeit politischer, sozialer und volkswirtschaftlicher Spannung nicht anders sein konnte. Den Niederschlag dieser Auswirkung bildeten die Einleitung einer gerichtlichen Untersuchung, die aus Anlaß einer Reichstagsinterpellation am 28. September 1921 beschlossene Einsetzung eines aus Mitgliedern des Reichstages bestehenden Untersuchungsausschusses<sup>5)</sup> und die bereits am Explosionstage auf Grund eines Landtagsbeschlusses erfolgte Bildung einer bayerischen Untersuchungskommission aus „Vertretern der Gewerbeaufsicht und sachkundigen Vertretern aus den Reihen der Gewerkschaften“.<sup>6)</sup>

## Wege zur Aufklärung der Ursache.

Die Aufklärung der Ursache der Explosion war noch mehr als bei anderen Explosionen durch den Umstand erschwert, daß infolge der verheerenden Wirkung alle in der näheren Umgebung befindlichen Zeugen das Leben eingebüßt hatten und daß die weiter entfernten Personen wegen der ungeheueren Staubwolke, die sich sofort entwickelte und die längere Zeit das Werk einhüllte, an einer näheren Beobachtung der Einzelheiten gehindert waren. Es mußte daher auf dem Wege der Schlußfolgerung eine umfangreiche Tätigkeit einsetzen. Sowohl der Untersuchungsrichter, als auch der Reichstagsauschuß ernannten eine Reihe von Sachverständigen,<sup>7)</sup> und

<sup>5)</sup> Mitglieder: Brey (V.S.P.D.), Dietrich-Baden (D.D.), Dr. Düringer, Hofmann-Ludwigshafen (Zentr.), Hoffmann-Kaiserslautern (V.S.P.D.), Dr. Kuhlenkampff (D.V.), Remmele (Komm.), Schwarz (V.S.P.D.), Schwarzer-Oberbayern (Bayr. V.) als Vorsitzender, Dr. Semmler (D.-Nat.), Tremmel (Zentr.)

<sup>6)</sup> Mitglieder: Gewerbebeamten Dr.-Ing. Baumann, Regierungs- und Gewerbeberater Bertram, Gewerbebeamten Dr. Kempf, Gauleiter des Industrieverbandes christlicher Fabrikarbeiter August Kühn, Gauvorsitzender des Verbandes der Fabrikarbeiter Franz Schreiber.

<sup>7)</sup> Gerichtliche Sachverständige: Geheimer Regierungsrat Prof. Dr. Bergmann, Direktor der Chemisch-Technischen Reichsanstalt, Berlin; Oberregierungsrat Prof. Dr. Lenze und Oberregierungsrat Prof. Dr. Kast, Abteilungsvorstände der Chemisch-Technischen Reichsanstalt; Oberregierungsrat Dr. Bodewig, Hanau; Dr. R. Escalles, Herausgeber der Zeitschrift für das gesamte Schieß- u. Sprengstoffwesen, München; Dipl.-Ing. Stöpel, Technischer Aufsichtsbeamter der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie Heidelberg.

es legen, abgesehen von den vielen z. T. stark parteipolitisch gefärbten Zeitungsnachrichten eine große Anzahl von Abhandlungen, die von mehr oder minder berufener Seite veröffentlicht<sup>8)</sup> wurden, Zeugnis von dem Interesse ab, das in wissenschaftlichen und technischen Kreisen erregt wurde.

Es war aber von vornherein klar, daß theoretische Spekulationen, ohne experimentelle Unterlagen verwirrend wirken mußten und eine Klärung allein durch ausgedehnte Versuche, die nur von sachverständiger Seite ausgeführt werden konnten, zu erreichen war. Es war durch Veröffentlichung der Badischen Anilin- und Sodafabrik bekannt geworden, daß die Fabrik die Herstellung des Ammonsulfatsalpeters schon jahrelang in gleicher Weise betrieben hatte und daß schon viele tausend Tonnen des Düngesalzes abtransportiert worden waren, ohne daß irgend welche Beobachtungen gemacht worden wären, die eine dem genannten Düngesalz innewohnende Gefahr hätten erkennen lassen.

### Art der Explosion.

Für den gefährlichsten Teil der Fabrikation hielt man von Anfang an nur die Herstellung des Ammoniaks nach dem Haber-Bosch-Verfahren, weil die Verbindung des Wasserstoffs mit dem Stickstoff bei verhältnismäßig hoher Temperatur (600°) und unter Drücken (200 Atm.) vorgenommen wird, wie sie bisher in der chemischen Großindustrie unbekannt waren. Man hatte daher durch entsprechende Sicherheitseinrichtungen Vorsorge getroffen, daß eine etwa eintretende Explosion eines Hochdruckzylinders Schaden nach außen nicht anrichten konnte. Unter Umständen konnten auch die in der Fabrik aufgestellten großen Gasbehälter mit Wasserstoff und das ausgedehnte Röhrensystem der Gasleitungen eine gewisse Gefahr in sich schließen. Es war daher auch der erste Gedanke, den die Explosion auslöste, der, daß der Herd an einer dieser beiden Stellen zu suchen sei. Die Möglichkeit, daß die Explosion vom Fabrikationsbetrieb für Ammonsalpeter, dessen Explosionsfähigkeit bekannt war, ausging, war dagegen von vornherein gering, da dieses Salz in trockenem Zustand während der Fabrikation gewöhnlich nicht auftrat. Der Ort des Sprengkraters und die Art der Zerstörungen ließen aber schon bei der ersten Augenscheinnahme keinen Zweifel

Sachverständige des Reichstagsausschusses: Dr. R. Escalés, München; Dipl.-Landwirt Fink, Berlin-Friedenau; Prof. Dr. Gutbier, Technische Hochschule Stuttgart; Oberregierungsrat Prof. Dr. Kast; Dr. Roth, Frankfurt; Dipl.-Ing. Stöpel, Heidelberg; Dr.-Ing. Wäser, Magdeburg; Prof. Dr. L. Wöhler, Technische Hochschule Darmstadt.

<sup>8)</sup> Abgesehen von den Zeitungsnachrichten, die den Hergang der Explosion schildern, sind hier u. a. folgende Abhandlungen zu nennen: Werkzeitung der Bad. Anilin- u. Sodafabr. 1921 Oktober; Fink, Vorwärts v. 27. Sept. 1921; N. Caro, Voss. Ztg. v. 30. Okt. 1921, Beil. Umschau in Technik u. Wirtschaft; C. Roth, Frankf. Ztg. vom 5. u. 15. Okt. 1921; K. Aradt, Voss. Ztg. vom 14. Sept. 1921, Beil. Umschau in Technik u. Wirtschaft. — Times vom 14. Okt. 1921. — Chem. Trade Journ. v. 15. Okt. 1921 S. 458; J. soc. chem. ind 40 (1921) 381; Chem. age 5 (1921) 370; Comentz Chem. met. eng. 25 (1921) 818; Kendall, Chem. met. eng. 25 (1921) 949; Lefèvre, L'ind. chim. (1921) 390. — Rev. des prod. chim. 1921 S. 589; Chabanier, Monit. scient. (5) 11 (1921) 225; Bad. Anilin- u. Sodafabr. Chem. Ztg. 45 (1921) 937; Hene, Chem. Ztg. 45 (1921) 965, 1085; Wachtel, Mitt. d. Reichsb. deutsch. Techn. (1921) Nr. 41 S. 2; Chem. Ztg. 45 (1921) 1188; Rosendahl, Chem. Ztg. 45 (1921) 1034. — Zeitschr. f. d. ges. Schieß- u. Sprengstoffwesen 16 (1921) 160; Stettbacher, Schweiz. Chem. Ztg. 1921 S. 511; Bad. Anilin- u. Sodafabrik Chem. Ind. 45 (1922) 46; Fleischmann, Z. angew. Chem. 35 (1922) 96; Brender à Brandis, Het Gas 42 (1922) 12; Departm. of scientif. a. indust. research, Chem. Ind. 46 (1923) 635; Hecker Veröffentl. d. Hauptstation f. Erdbebenforschung Jena, Jena 1922, Heft 2; Goebel u. Probst, „Die Lehren der Explosionskatastrophe in Oppau für das Bauwesen“ Berlin 1923; Mente, Zentralbl. Gewerbehyg. [N. F.] 2 (1925) 108; Wöhler, Z. angew. Chem. 37 (1924) 497; Robertson, Thomas, Hallimond u. Bragg, Trans. Faraday soc. 20 (1924) 46; Rotter, Trans. Faraday soc. 20 (1924) 61.

darüber aufkommen, daß an der Stelle des Silos 110 eine große Explosion stattgefunden hatte.

Nachdem dann auch eine nähere eingehende Besichtigung der Fabrikationsbetriebe gezeigt hatte, daß an anderer Stelle ein Explosionsherd nicht zu suchen sei, daß insbesondere die Hochdruckapparate intakt geblieben und an den Gasbehältern irgendwelche direkte Explosions- und Brandwirkungen nicht zu erkennen waren, daß also diese Stellen weder primär als Ausgangspunkt in Frage kamen, noch sekundär als Explosionsstelle in Mitleidenschaft gezogen worden waren, blieb als einziger Ausgangspunkt und einziger Herd der Explosion der Inhalt des Silos 110 übrig.

### Auslösende Ursache der Explosion.

Für die Verfolgung dieses Gedankens gab die Tatsache, daß etwa zur Zeit der Explosion eine Sprengung von dem dazu bestellten Sprengmeister vorbereitet worden war, einen Anhaltspunkt. Es ist allerdings nicht mit Bestimmtheit erwiesen, daß diese Sprengung auch wirklich ausgeführt wurde. Das Sprengverfahren hatte sich für den Abbau der erhärteten Salzhaufen als besonders ergiebig gezeigt und war von der Fabrikleitung eingeführt worden, nachdem sie sich durch ausgedehnte Versuche überzeugt zu haben glaubte, daß die Explosionsfähigkeit des Ammonsalpeters durch den Zusatz des Ammonsulfats aufgehoben war. In dieser Hinsicht wurde sie mehr und mehr durch den Fortgang der Sprengungen bestärkt, von denen bis zum Tage der Explosion schon viele Tausend in den verschiedenen Düngesalzgemischen vorgenommen worden waren.

Bei diesen Sprengungen war in der verschiedensten Weise vorgegangen worden. Es war als Sprengstoff Perastralit verwendet worden, und zwar kamen regelmäßig 2—5 Patronen mit einer Sprengkapsel Nr. 8 (2-g-Ladung) zur Anwendung. Die Zündung war sowohl durch Zündschnur als auch auf elektrischem Wege bewerkstelligt worden. Manchmal wurden auch in ein Bohrloch 5—10 und sogar 18 Patronen geladen. Einmal zündete man gleichzeitig 25 besetzte Bohrlöcher mit insgesamt 150 Patronen auf elektrischem Wege, ohne daß im geringsten bedenkliche Erscheinungen sich gezeigt hatten. Es war also das Salz schon in äußerstem Grade durch Sprengungen beansprucht worden, während an dem fraglichen Tage der Sprengmeister nachgewiesenermaßen nur eine normale Sprengung mit Zündschnur beabsichtigt hatte.

Eine Komplikation bei der Beurteilung der Sachlage bildete der Umstand, daß nach den sinnlichen Wahrnehmungen der Augen- und Ohrenzeugen unzweifelhaft zwei Detonationen stattgefunden hatten, zuerst eine schwächere und einige Sekunden später eine stärkere, von denen die letzte die Hauptzerstörung verursacht hat, und es war daher der naheliegende Gedanke, daß zwei örtlich getrennte Explosionen stattgefunden hatten, umso mehr als auch aus der länglichen Form des Sprengkraters, der an den beiden Längsseiten eine Einschnürung hatte, der Schluß gezogen werden konnte, daß zwei sich überschneidende Krater vorhanden seien.

In chemischer Hinsicht bestand vor allem die Möglichkeit, daß das Düngesalz nicht aus gleichen Teilen Ammonsulfat und Ammonsalpeter bestand, also nicht die Zusammensetzung des „Oppauer“ Salzes hatte, die ihm zugeschrieben wurde, nämlich diejenige des nach den Untersuchungen von Schreinemakers und Hoenen<sup>9)</sup> bekannten Doppelsalzes aus 1 Mol. (= 45,2%) Ammonsulfat und 2 Mol. (= 54,8%) Ammonnitrat mit geringem Ueberschuß an ersterem. Man konnte annehmen, daß bei der Fabrikation eine Entmischung derart eingetreten sei, daß ein Salz mit hohem Gehalt an Ammonnitrat

<sup>9)</sup> Chem. Weekbl. 6 (1909) 51.

vorgelegen oder daß bei der Lagerung eine Veränderung stattgefunden hatte.

#### Gang der Untersuchung zur Aufklärung der Ursache.

Die Ermittlungen der zur Aufklärung der Ursache des Unglücks eingesetzten Organe wurden unabhängig von einander, aber unter ständiger gegenseitiger Führung durchgeführt.

Zum Zwecke der gerichtlichen Untersuchung fand durch die Sachverständigen der Chemisch-Technischen Reichsanstalt und Dr. Escalles am 30. September 1921 in Gegenwart des Untersuchungsrichters und Staatsanwalts eine Besprechung in Frankenthal und im Anschluß daran eine Besichtigung statt, an der als Vertreter der Gewerbeaufsichtsbehörde Gewerbebeamtmann Dr. Kempf, als Vertreter der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie Dipl.-Ing. Stöpel teilnahmen. Auf Grund dieser Besichtigung und des von der Betriebsleitung erstatteten Berichts über den Hergang der Explosion und an Hand der weiteren Ermittlungen sollte von den Sachverständigen ein schriftliches Gutachten ausgearbeitet werden.

Der vom Reichstag eingesetzte Untersuchungsausschuß trat zuerst am 6. Oktober im Stadthause in Ludwigshafen zusammen. Von den weiteren Sitzungen wurden 5 in Ludwigshafen und Oppau und 6 in Berlin abgehalten.<sup>10)</sup> An diesen Sitzungen nahmen die Mitglieder der bayerischen Untersuchungskommission<sup>11)</sup> und Vertreter der Reichs- und bayerischen Regierung teil. Ferner wurden der Untersuchungsrichter und der Staatsanwalt, sowie Vertreter der Fabrikleitung und der gesamte Arbeiter- und Angestelltenrat des Oppauer Werkes hinzugezogen.

Als Unterlagen für die Verhandlungen dienten die von einzelnen Abgeordneten formulierten Fragen und die Vernehmungen der Zeugen und Sachverständigen.

Die letzteren waren außerdem aufgefordert worden, schriftliche Gutachten zu erstatten. Die in den Gutachten niedergelegten Ermittlungen wurden schließlich an Hand eines Fragebogens in einem gemeinsamen Gutachten zusammengefaßt.

Eine große Rolle bei den Verhandlungen<sup>12)</sup> spielte das im Werk Oppau eingeführte Lohnprämiensystem, eine nach Maßgabe der produzierten Tonnanzahl eingeführte Sondervergütung an die Arbeiter, das nach Ansicht des kommunistischen Abgeordneten Remmele

und des Betriebsrats die Arbeiter zu sorglosem Arbeiten bei der Herstellung des Düngesalzes veranlaßt haben sollte.

Ferner wurden das bei der Fabrikation neu eingeführte Spritzverfahren und die Art und Weise der chemischen Betriebskontrolle zum Gegenstand eingehender Erörterungen gemacht. Mit dem Fabrikationsverfahren und seinem Einfluß auf die Zusammensetzung des Mischsalzes beschäftigte sich insbesondere die bayerische Untersuchungskommission in ihren 14 Sitzungen. Durch eingehende Zeugenvernehmung suchte sie festzustellen, inwieweit im Laufe der Zeit im Fabrikationsverfahren eine Änderung eingetreten war, die den Anlaß zu der Explosion gegeben haben könnte.

Es wurden von der Kommission die Betriebs- und Analysenbücher, die in den verschütteten Gebäuden noch vorgefunden worden waren, aufs genaueste durchgesehen, und außerdem durch Zeugenvernehmungen festgestellt, ob die von gewissen Seiten behaupteten Unregelmäßigkeiten und absichtlichen oder unabsichtlichen Abweichungen von den Betriebsvorschriften, insbesondere nach der Richtung wirklich vorgekommen waren, daß ungenügende Mengen Ammonsulfat der Mischung zugesetzt worden sind. Solche Unregelmäßigkeiten gingen aber aus den Betriebsbüchern nicht hervor, so daß auch an den Aussagen der vernommenen Meister und Arbeiter, nach denen die Vorschriften mindestens seit April 1921 streng eingehalten worden seien, nicht zu zweifeln ist. Auch vor dieser Zeit sind Unregelmäßigkeiten in den laufend aufgezeichneten Analysenergebnissen nicht zum Ausdruck gekommen. Wenn vorher von der Vorschrift absichtlich abgewichen wurde, so betrafen diese Abweichungen niemals Versuche, die im Bau 110, sondern nur solche, die im Bau III ausgeführt wurden, von dem aus eine Transportverbindung nach Bau 110 nicht bestand.

Es muß allerdings betont werden, daß die Bedeutung der Analysenergebnisse, sowohl was die regelmäßigen Betriebsanalysen, als die Versandanalysen und auch die Analysen der Abnehmer betrifft, eine Einschränkung erfährt, dadurch, daß es sich um Durchschnittsproben handelt, die genaue Einzelheiten nicht erkennen lassen, daß die Einspeicherung der Tageserzeugungen in den Silos horizontal, die Ausspeicherung in vertikaler Richtung durch Kratzer oder Bagger erfolgte, so daß die Tageserzeugungen durcheinander gemischt wurden und daß schließlich die Empfänger nur Anlaß hatten, die Zusammensetzung zu beanstanden, wenn ihre eigenen Analysen einen zu geringen Stickstoffgehalt ergaben. Was im besonderen den zuletzt genannten Fall betrifft, so sind solche Beanstandungen nach Aussage der Fabrikleitung nicht vorgekommen und sie hätten vorkommen müssen, wenn zeitweise zuviel Ammonnitrat geliefert worden wäre, was schon deshalb ausgeschlossen erscheint, weil der Dünger nach dem Stickstoffgehalt bezahlt wird.

#### Fabrikation des Ammonsulfatsalpeters.

Bevor in die Erörterung der Gutachten und die ihnen zu Grunde liegenden Untersuchungen eingetreten wird, ist es nötig, den Gang der Fabrikation des Ammonsulfatsalpeters näher zu beschreiben, da nach der ganzen Sachlage mit der Möglichkeit gerechnet werden mußte, daß die Art des Fabrikationsverfahrens auf die chemische und physikalische Beschaffenheit des Produkts und damit auch auf die Explodierbarkeit von Einfluß war. Die Fabrikleitung schildert die in Frage kommenden Verfahren folgendermaßen:

Nachdem die Beobachtung gemacht worden war, daß der Nachteil (die Hygroskopizität) des als Kunstdünger von der Landwirtschaft geschätzten Ammon-

- <sup>10)</sup> 1. Sitzung am 6. Okt. 1921 in Ludwigshafen  
 2. " " 7. " 1921 " " "  
 3. " " 21. " 1921 " Berlin "  
 4. " " 5. Dez. 1921 " Ludwigshafen "  
 5. " " 6. " 1921 " " "  
 6. " " 24. Febr. 1922 " Berlin "  
 7. " " 7. Apr. 1922 " " "  
 8. " " 24. Juni 1922 " " "  
 9. " " 28. Sept. 1922 " Ludwigshafen "  
 10. " " 29. " 1922 " Werken Oppau "  
 11. " " 13. Aug. 1922 " Berlin "  
 12. " " 13. Dez. 1922 " " "

- <sup>11)</sup> Sondersitzungen des bayerischen Ausschusses;  
 1. Sitzung am 6. Okt. 1921 in Ludwigshafen  
 2.—3. Sitzung (gemeinsam mit dem Reichstagsausschuß)  
 4. Sitzung am 10. Okt. 1921 in Ludwigshafen  
 5. " " 28. " 1921 " " "  
 6. " " 22. " 1921 " Werk "Oppau "  
 7. " " 28. " 1921 " " " "  
 8. " " 7. Nov. 1921 " " " "  
 9. " " 9. " 1921 " " " "  
 10. " " 11. " 1921 " " " "  
 11. " " 9. Dez. 1921 " " " "  
 12. " " 22. " 1921 " " " "  
 13. " " 12. Jan. 1922 " Speyer "

<sup>12)</sup> Die Gutachten der Sachverständigen, die Sitzungsprotokolle des 34. Reichstagsausschusses und die Protokolle der bayerischen Untersuchungskommission liegen als Reichstagsdrucksachen gedruckt vor und können durch Karl Heymanns Verlag, Berlin W. 8, bezogen werden.

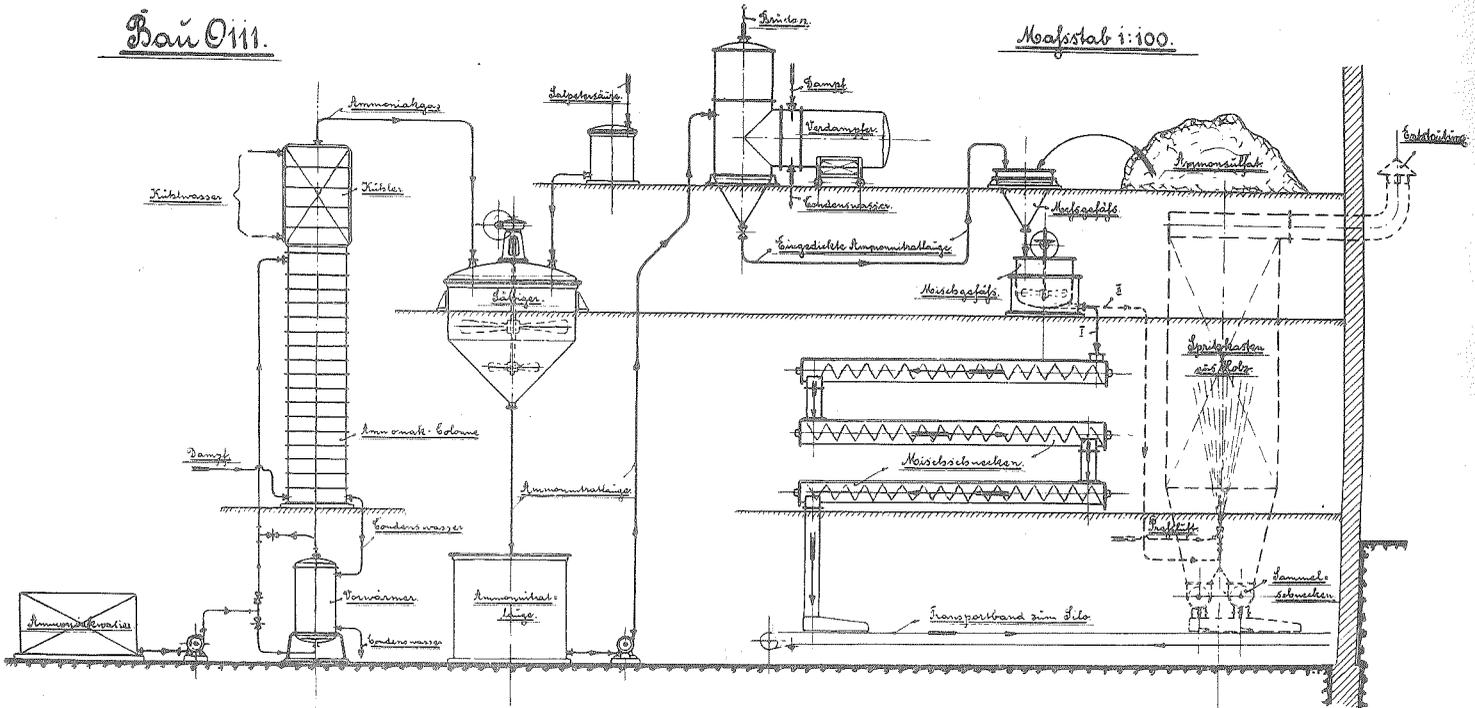


Abb. 1.

salpeters, der vor dem früher benutzten Natronsalpeter den Vorzug des höheren Stickstoffgehalts besaß, durch Vermischen mit Chlorkalium oder Ammonsulfat aufgehoben wurde, da im ersteren Fall durch Umsetzung aus Ammonsalpeter und Chlorkalium Chlorammonium und Kaliumnitrat, im letzteren ein Doppelsalz aus 2 Molekülen Ammonnitrat und 1 Molekül Ammonsulfat entsteht, wurde in die Fabrikation im großen eingetreten.

Das Ammonnitrat wurde derart hergestellt, daß in schmiedeeisernen, ausgemauerten Rührkesseln, die mit Kühlschlangen versehen waren, aus dünner Salpetersäure und Ammoniakgas Ammonnitratlösung erzeugt wurde. Die Salpetersäure wurde durch Oxydation von Ammoniak in der Ammoniakverbrennungsanlage gewonnen und hatte eine Konzentration von ungefähr 54gr  $\text{HNO}_3$  in 100 ccm Flüssigkeit. Das Ammoniakgas wurde durch Abdestillieren von Ammoniakwasser auf Abtreibkolonnen erzeugt. Die auf diesem Wege gewonnene dünne Ammonnitratlösung hatte einen Gehalt von etwa 55—58gr Ammonnitrat in 100 ccm Lösung. Die Absättigung der beiden Komponenten, Ammoniak und Salpetersäure, ging in Gegenwart von ungefähr 0,2% freiem Ammoniak vor sich. Die dünne Ammonnitratlösung wurde in gußeisernen Vakuumverdampfern eingedampft.

Die Fabrikation des Ammonsulfats geschah nach dem Verfahren der Badischen Anilin- und Soda-fabrik durch Einleiten von Kohlensäure und Ammoniak in fein gemahlene Gips, der mit einer 6—8 proz. Ammonsulfatlösung aufgeschlämmt war, gemäß der Formel  $\text{CO}_2 + \text{Ca SO}_4 + 2 \text{NH}_3 + \text{H}_2\text{O} = \text{Ca CO}_3 + (\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4$ , Eindampfen nach Ansäuern mit etwas Schwefelsäure in verbleiten Verdampfern und Abschleudern des festen Salzes. Die Kohlensäure stammte aus dem Abgas bei der Reinigung des aus Wassergas mit Hilfe von Katalysatoren hergestellten Wasserstoffs auf Grund der Wasser-gasgleichung  $\text{CO} + \text{H}_2\text{O} = \text{CO}_2 + \text{H}_2$ . Sie wurde aus dem Gasgemisch mit Wasser bei 25 Atm. Druck herausgewaschen.

NB. Die nicht absorbierten Reste des  $\text{NH}_3$  wurden mit Kontakt-Schwefelsäure abgesättigt und es betrug die so hergestellte Menge Ammonsulfat 3% der Gesamtproduktion, also einen ganz geringen Anteil.

Die weitere Verarbeitung der beiden Salze, Ammonnitrat und Ammonsulfat, geschah zuerst auf trockenem Wege, da sich gezeigt hatte, daß die Doppelsalzbildung beim Lagern von selbst eintritt. Es wurde dieses Verfahren jedoch bald als unwirtschaftlich aufgegeben, nachdem man erkannt hatte, daß es nicht nötig ist, das Ammonnitrat in fester Form zu gewinnen.

Man dampfte daher (s. die schematische Zeichnung Abb. 1) das Ammonnitrat nicht mehr zur Trockne, sondern nur bis zu einem Gehalt von 85—90% ein, ließ die eingedickte Lösung in gußeisernen Rührgefäße, die mit Gas geheizt waren, ab und versetzte sie hier mit Ammonsulfat oder Kaliumchlorid in fester Form. Bei Anwendung von Ammonsulfat erhielt man den Ammonsulfatsalpeter, bei Anwendung von Chlorkalium den Kaliammonsalpeter, ohne daß im Fabrikationsgang irgend etwas Wesentliches geändert wurde. Das Mischungsverhältnis war 1:1.

Die in den Gußgefäßen erzeugte etwa 110—120° heiße Mischung mußte zur Isolierung des Düngesalzes abgekühlt werden. Von den dafür in Betracht kommenden Methoden hatten sich zwei im Großbetrieb erhalten, die ältere Methode, die darin bestand, daß die Masse mit einem Schneckengetriebe in bedeckten Eisenblechrinnen, durch die zur besseren Abkühlung Luft geblasen wurde, den Transportbändern zugeführt wurde, auf denen sie in fester und zum größten Teil entwässert Form ankam und die jüngere Methode, die dadurch gekennzeichnet war, daß die flüssige Masse mit einer Düse durch Preßluft zerstäubt wurde.

Das Schnecken-trockenverfahren wurde bereits im Winter 1920 durch das Spritzverfahren ersetzt. Das Spritzverfahren kam also bei der Beurteilung des explodierten Produkts als Fabrikationsweise allein in Frage. Es lieferte ein trockneres Salz als das früher benutzte Verfahren und die Fabrikleitung war auch bestrebt, den Feuchtigkeitsgehalt noch weiter herabzusetzen, um ein möglichst streufähiges Düngesalz zu erhalten. Die dünnflüssige 110—120° heiße Mischung wurde durch eine mit Gas geheizte Leitung dem Spritzkopf zugeführt, aus dem sie unter Abkühlung auf 60° mit Hilfe von komprimierter Luft strahlenförmig zerstäubt wurde. Sie fiel dann als feiner Schnee zu Boden. (Fortsetzung folgt.)

## Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.  
Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen,  
20. Jahrgang, 1925, Nr. 12.

(Fortsetzung.)

### Verteilung der Fabrikationsbetriebe.

Die Verteilung der Fabrikationszweige auf die einzelnen Gebäude und die Lage dieser Gebäude zur Fabrik war folgende (s. den Plan in Abb. 2):

Der explodierte Silo Op 110, der dazu diente, die gemischten Salze zum Zwecke der Trocknung, Abkühlung und endgültigen Umwandlung in das Doppelsalz

das nach dem Silo Op 112 über den Anbau von Op 111 (s. den Plan in Abb. 2) führende Transportband eingebaut war, und der am südöstlichen Giebel in einen Turmbau mit den Elevatoren und einem Treppenaufgang für den unterhalb des Daches befindlichen Steg mit dem Beschickungstransportband, am südwestlichen Giebel in eine nach außen führende Treppe mündete.

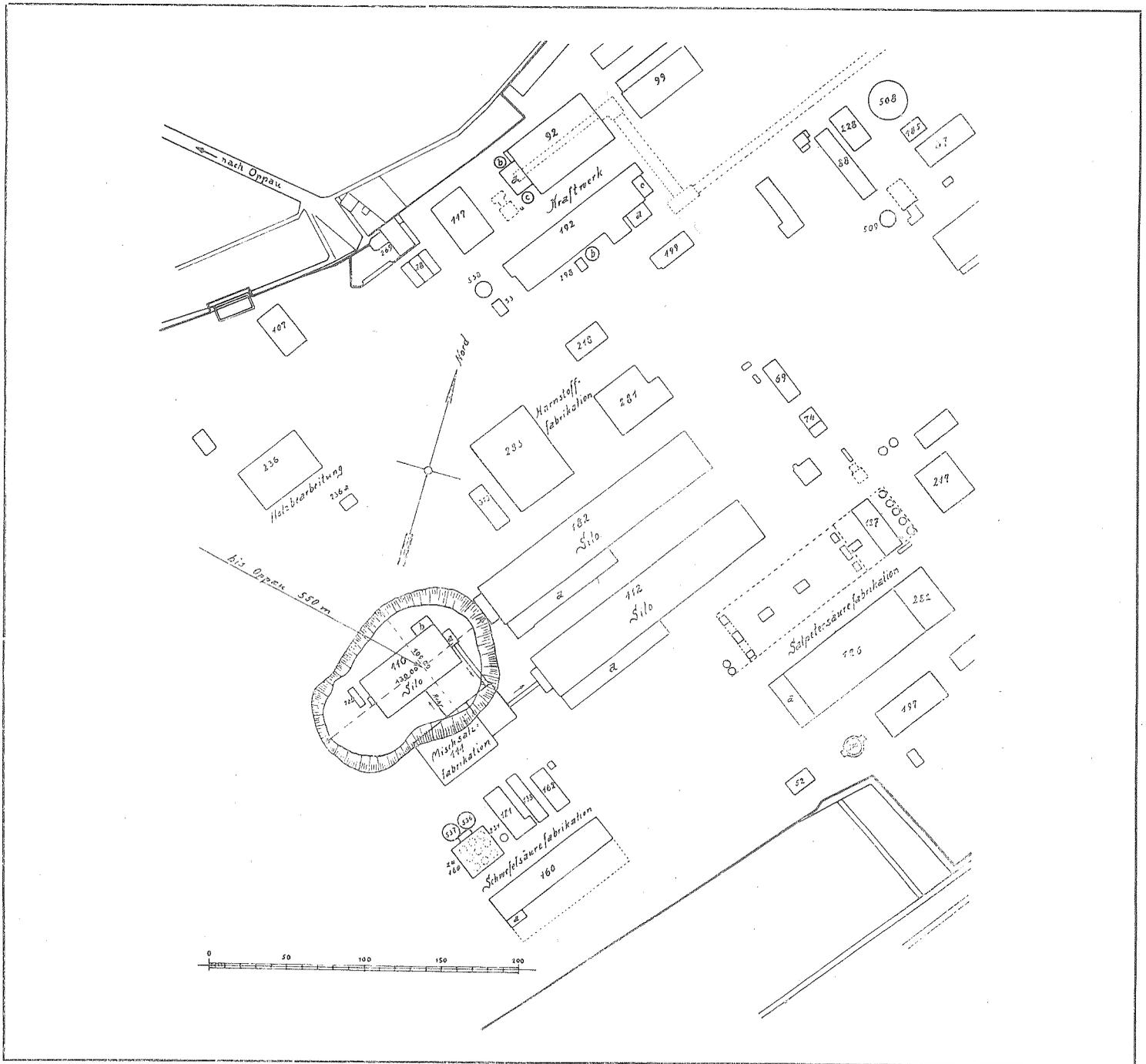


Abb. 2.

aufzunehmen, war in Holzkonstruktion mit Holzgewölbedach 61 m lang und 31 m breit erbaut (s. die Abb. 11—14). Er befand sich am äußersten südwestlichen Ende der Fabrik nach Oppau zu. Das Gebäude lag mit seiner Bodenfläche 4,12 m unterhalb des aufgefüllten Fabrikgeländes. Den unteren Teil bildete eine etwa 5 m hohe Stützmauer aus Eisenbeton. Unter dem Fußboden befand sich ein 2 m hoher und 2,8 m breiter Längsgang, in den

Neben Bau Op 110 und südöstlich davon lag die Mischsalzfabrik im Bau Op 111, in dem die Ammonsalpeterlauge hergestellt, eingedampft und mit dem Sulfat vermischt wurde und der durch ein Transportband mit Bau Op 112 und ausserdem durch eine Rohrleitung mit dem Bau 110 verbunden war, in dem auch Lösung verspritzt wurde. Gleichfalls südöstlich von Bau Op 110 (hinter Bau Op 111) befand sich die Schwefelsäure-

konzentration, während sich nach Nordosten zwei große Silos aus Eisenbeton und Backsteinmauerwerk Op 112 in einer Entfernung von 36 m und Op 182 in einer Entfernung von 46 m, die 172 m Länge, 31 m Breite und 20 m Höhe mit einem Innenraum von 77000 cbm hatten und je 50000 t Düngesalz fassen konnten, anschlossen. Silo 182 war leer, Silo 112 enthielt zur Zeit der Explosion 7500 t Ammonsulfatsalpeter. Dieser Vorrat war trotz der nahen Entfernung, trotz des Einsturzes der Dach- und Einspeicherungs-Einrichtungen und trotzdem ein ganzer zwischen dem Fabrikgebäude 111 und dem Silo 112 stehender Eisenbahnwaggon durch die bei der Explosion auftretende Druckwirkung in den Silo hineingeschleudert wurde, nicht explodiert. Beide Silos dienten nur als Lager. Sie waren in der angegebenen Größe erforderlich, weil die Düngesalze sogenannte Saisonprodukte sind, die nur in gewissen Jahreszeiten in großer Menge gebraucht werden, sodaß der Versand sich auf einige Monate zusammendrängt und eine Aufspeicherung des Salzes in den Monaten, in denen kein Abtransport erfolgt, notwendig ist.

#### Art der Ausführung des Spritzverfahrens.

Auch Bau 110 wurde, wie erwähnt, als Lager benutzt, er war aber auch Fabrikationsraum, weil in ihm ebenso wie im Bau 111 eine Spritzdüse aufgestellt war. Im Bau 111 befand sich die Spritzdüse in einem Holzgehäuse, dem sog. Spritzstall, an dessen unterem Ende das Salz durch das Transportband nach Silo 112 abgeführt wurde (s. Abb. 1). Im Bau 110 wurde dagegen vom 27. April 1921 ab in den freien Raum gespritzt, und zwar sind nach den Ermittlungen der bayerischen Kommission zwei Spritzperioden zu unterscheiden:

Während der ersten Periode wurde der Salzbrei an stets wechselnden Stellen des Silos auf Haufen gespritzt; diese Salzhäufen blieben liegen und überdeckten sich allmählich in unregelmäßiger Folge, so daß, selbst wenn Material von ein wenig abweichender Zusammensetzung in den Raum gelangte, eine neue Vermischung herbeigeführt wurde, die durch das Bestreben der unermischten Salze zur Doppelsalzbildung bei dem immer noch vorhandenen geringen Feuchtigkeitsgehalt von etwa 4% unterstützt wurde. Es wurden in dieser Zeit nach den Aussagen der Laboranten und Betriebsleiter sehr oft Proben an verschiedenen Stellen der einzelnen Haufen entnommen, deren Analyse jedoch keine Unterschiede im Stickstoffgehalt erkennen ließ.

Ende Mai 1921 begann die zweite Spritzperiode. Vorher wurde jedoch die Düngesalzmasse in der nordöstlichen Silohälfte ausgespeichert. Es befanden sich dann noch von dem alten stark erhärteten Spritzmaterial im südwestlichen Teil des Baues ungefähr 3200 t, an der Ostwand etwa 300 t. Während dieser 2. Spritzperiode, die bis zum 19. September dauerte, war die Spritzdüse so aufgestellt, daß der Spritzstrahl immer in der Richtung der Längsmittellinie des Silos über dem Transportbandkanal verlief, so daß der größte Teil des Salzes durch die im Boden befindlichen Durchfallöffnungen, um die sich große Trichter bildeten, auf das Band fiel, ein anderer Teil sich auf beiden Seiten des Kanals unter Bildung eines Walles ablagerte (s. Abb. 12) und schließlich ein ganz kleiner Teil als feiner Staub weggeführt und im Raum verteilt wurde. Es bildete sich so ein hufeisenförmiger nach der Nordostseite zu abgerundeter Bunker mit schrägen Seitenwänden, von denen das Salz auf das Transportband abgleiten konnte und, soweit dies nicht von selbst geschah, nach jeder Schicht abgestoßen wurde. Der Staub füllte infolge seiner leichten und lockeren Beschaffenheit den Raum kurze Zeit nach Beginn des Spritzens so an, daß die Luft schon auf wenige Meter undurchsichtig war. Er senkte sich allmählich zu Boden und lagerte sich auf dem Gebälk und

den Bunkeraußenwänden in Form einer lockeren weißen Schicht in einer Höhe von 35—45 cm ab und verlieh nach Zeugenaussagen dem Siloinnern das Aussehen einer Winterlandschaft. Es lagerte somit in dem Silo 110 Material verschiedener physikalischer Beschaffenheit, über das noch weiter unten Näheres ausgeführt wird. Von den gespritzten Massen dieser Periode wurden gleichfalls Proben entnommen, die aber nur auf Feuchtigkeitsgehalt untersucht wurden, mit dem Ergebnis, daß der Wassergehalt von 4 auf 2% zurückgegangen war.

Drei Tage lang, in der Zeit vom 2.—4. September, war auch so verfahren worden, daß versuchsweise reine „blanke“ Ammonnitratlösung auf das Band, das nach Bau 111 führte, verspritzt wurde. Im Bau 111 wurde dann das Ammonsulfat schaufelweise auf das Band gegeben und nach Bau 112 abgeführt. Auf dem Band und beim Lagern im Silo 112 vollzog sich dann die Bildung des Ammonsulfatsalpeters. Es handelte sich im ganzen um etwa 150 t Ammonsalpeter und Ammonsulfat. Nach Zeugenaussagen wurde das bei diesem Verfahren auf den Bunkerwänden im Bau 110 abgelagerte feste Ammonnitrat sorgfältig abgekratzt.

#### Produktion.

Zur Kenntnis des Produktionsumfangs sei erwähnt, daß die erzeugte Tagesmenge an Ammonsulfat 600 t betrug, von denen 100 t auf Mischsalz verarbeitet wurden. Die Jahresproduktionen waren nach Angabe der Fabrik:

im Jahre 1917	12980 kg	Kaliammonsalpeter
„ „ 1918	4216083 kg	„
„ „ 1919	13733609 kg	„
„ „ 1919	8252210 kg	Ammonsulfatsalpeter
„ „ 1920	16706635 kg	Kaliammonsalpeter
„ „ 1920	52613732 kg	Ammonsulfatsalpeter
„ „ 1921	311615 kg	Kaliammonsalpeter
„ „ 1921	62939550 kg	Ammonsulfatsalpeter

#### Abbau der Salzmassen.

Am 19. September wurde mit der Ammonsulfatsalpeterfabrikation aufgehört, da der Silo 110 gefüllt war, und am 20. September mit der Ausspeicherung, die einer Transportfirma im Werkvertrag übertragen wurde, begonnen. Die Salzmassen waren etwas erhärtet, was nach den Ermittlungen der bayerischen Untersuchungskommission den Sprengmeister veranlaßte, Sprengungen an dem Bunker vorzunehmen. Die ersten Sprengungen wurden nach Zeugenaussagen am Vortag der Explosion nachmittags ausgeführt, und zwar an der der Spritzdüse entgegengesetzten Bunkerwand. Der Bunker war bereits von oben nach der inneren Seite zu auf eine Höhe von 2,5 m abgetragen. Am Explosionstage sollen die Sprenglöcher rings auf der Kuppe des Bunkers schräg nach aussen angesetzt worden sein und es wird vermutet, daß sie teilweise in dem jüngst entstandenen verhältnismäßig lockeren Material saßen. Dem Sprengmeister wird das Zeugnis eines sehr gewissenhaften Mannes ausgestellt. Die Sprenglöcher wurden mit einem Eisenrohr geschlagen und je nach der Härte des Salzes mit 2—3 Patronen Perastralit, einem Sprengstoff, der in den Sprengstofffabriken Hoppecke in Würzburg aus Kriegssprengstoffen hergestellt worden war, geladen und mit Salz besetzt. Die Schüsse saßen 80—120 cm voneinander und wurden mit Zündschnur und Sprengkapsel gezündet. Es war auf diese Weise möglich, 8 Schüsse kurz hintereinander abzutun. Der Bau 110 wurde bereits zweimal, im Jahre 1920 und, wie erwähnt, zur Hälfte bis Mai 1921 durch Absprengen der Salzmassen geleert. Am Morgen des Unglückstages wurde der Sprengmeister beobachtet, als er kurz vor 7 Uhr die Tiefe eines Bohrlochs mit einem Schaufelstiel ausmaß und darauf aus seiner in der Nähe stehenden Munitionsschachtel eine Zündschnur und zwei Patronen entnahm. Die Explosion fand um 7.32 Uhr

statt, sodaß sie mit größter Wahrscheinlichkeit mit der ersten Sprengung zusammenfällt. Am 20. September war sowohl am Vor- wie am Nachmittag gesprengt worden.

#### Prüfung des Salzes auf seine Zersetzlichkeit und seine sprengtechnischen Eigenschaften.

Bevor die Sprengungen aufgenommen wurden, hatte sowohl die Badische Anilin- und Sodafabrik<sup>13)</sup> als auch die Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation in ihrer Fabrik in Wolfen bei Bitterfeld eine Reihe von Versuchen vorgenommen, um die Zersetzlichkeit durch Wärmeeinwirkungen und die Explosionsfähigkeit der Mischsalze Ammonsulfatsalpeter und Kaliammonsulfatsalpeter zu prüfen. Die Ergebnisse der Versuche sind in drei Berichten und zwei Aktenbemerktungen niedergelegt. Bei der Erhitzung wurde festgestellt, daß Ammonnitrat-Ammonsulfat erst bei 230° eine Zersetzung in Stickoxyde zeigt, während von 170° an ein Teil des Ammonnitrats in Stickoxydul zerfällt. Die Abspaltung von Stickoxyden wird durch die Bildung von saurem Ammonsulfat infolge Ammoniakabspaltung hervorgerufen, die Ammoniakabspaltung aus Ammonnitrat durch Eisenoxyd befördert.

Bei den Explosionsversuchen wurde dagegen gefunden, daß die Grenze der Explodierbarkeit unter den Bedingungen der Sprengung im Trauzlschen Bleiblock (d. h. bei Anwendung einer Sprengkapsel mit 2 g Knallsalz als Initialladung, bei 60% Ammonnitrat und 40% Ammonsulfat) liegt. Ein Unterschied zwischen Doppelsalz und Gemenge konnte nicht festgestellt werden.

Die Versuche in Wolfen fanden mit Kaliammonsulfatsalpeter und Ammonsulfatsalpeter, und zwar in größeren Mengen (1/2 – 10 kg), die in Haufen angeordnet oder in Blecheimer eingefüllt waren, unter Verwendung von Sprengkapseln und von Sprengpatronen aus Perwestalit A statt.

Ferner wurde die Brennbarkeit der Salze für sich und in Berührung mit Holzspänen und die Brennbarkeit von Jutesäcken nach Imprägnierung mit den Salzen und scharfem Trocknen geprüft, aber mit negativem Ergebnis.

Außerdem wurden vor Ausführung der Sprengungen öfters Temperaturmessungen im Salz vorgenommen, da die Abkühlung sehr langsam vor sich ging und man eine Einwirkung der hohen Temperatur auf den Sprengstoff oder die Sprengkapseln beim Laden der Bohrlöcher befürchtete. Dabei wurde niemals festgestellt, daß eine Selbsterwärmung stattfand, die auf eine chemische Veränderung hätte schließen lassen. Auch konnten alle Angaben, daß an den der Sprengung vorausgehenden Tagen eine übermäßig hohe Temperatur im Silo geherrscht habe und daß Dämpfe, die von einer Zersetzung des Salzes herrührten, beobachtet worden seien, durch eingehende Zeugenvernehmung nicht bestätigt werden. Eine gegenüber der Außenluft erhöhte Temperatur erklärt sich zwanglos aus der Temperatur, mit der die Lösung in dem Raum verspritzt wurde und aus dem Umstand, daß die Fenster wegen des Verstaubens geschlossen gehalten werden mußten und die Luft im Silo mit Wasserdampf gesättigt war. Mit dieser Erklärung verliert auch die von verschiedenen Seiten ausgesprochene Vermutung, daß die hohe Temperatur einer chemischen Zersetzung des Salzes zuzuschreiben gewesen sei. Es wird auf diesen Umstand weiter unten noch näher eingegangen werden.

#### Chemische Beschaffenheit des Salzes.

Es braucht nicht besonders betont zu werden, daß die Fabrik stets auf die Herstellung eines möglichst wenig durch Fremdkörper verunreinigten Düngesalzes bedacht war. Bedingt ja schon die wirtschaftliche Durchführung des Ammoniakverfahrens nach Haber-Bosch

und ebenso die Herstellung der Salpeter- und Schwefelsäure, die sämtlich auf Kontaktprozessen beruhen, die Verwendung reiner Ausgangsstoffe. Trotzdem wurden von der Fabrikleitung über die Reinheit des von ihr hergestellten Produkts eingehende Untersuchungen angestellt. Es liegt hierüber und über die Doppelsalzbildung zwischen Ammonnitrat und Ammonsulfat ein ausführlicher Bericht von Professor Jänecke vor. Nach diesem Bericht kommen als Verunreinigungen oder Nebenbestandteile in Betracht neben 2 % Wasser, wenig Eisenoxyd, Kalk (Gips), Natron und Chlorid (aus dem für die Herstellung des Ammonsulfats verwendeten Chlornatrium enthaltenden Gips). Als Beispiel für die Zusammensetzung des technischen Salzes können die folgenden Analysen unter I und II dienen:

	I	II
Gesamtstickstoff . . . . .	26,92 %	27,2 %
Ammoniakstickstoff . . . . .	18,87 „	18,7 „
Chlor (als Chlorid) . . . . .	0,06 „	0,08 „
Eisen . . . . .	0,03 „	0,06 „
Kalzium . . . . .	0,12 „	0,005 „
Schwefelsäure (SO <sub>4</sub> ) [als Sulfat]	37,48 „	35,9 „
Natrium . . . . .	Spur	—
Wasser . . . . .	2,04 „	1,9 „

Der Ammoniakstickstoff und das Sulfat wurden in der Fabrik aus dem Gesamtstickstoff und dem allein noch wesentlichen Wassergehalt mit Hilfe der Mischungsregel berechnet.

Bezüglich der Doppelsalzbildung wurden die Untersuchungen von Schreinemakers und Hoehnen<sup>14)</sup> nachgeprüft. Dabei wurde festgestellt, unter welchen Bedingungen sich das Salz bildet, in welcher Weise Wasser zersetzend einwirkt und wie der Nachweis des Doppelsalzes auf mikroskopischem und polarimetrischem Weg geführt wird. Auch von dem als Sachverständigen nach dieser Richtung tätigen Prof. Gutbier wurden in seinem IV. Gutachten<sup>15)</sup> diese Angaben bestätigt.

#### Physikalische Beschaffenheit des Salzes.

Weiter sind über die physikalische Beschaffenheit des Ammonsulfatsalpeters, die, wie später zu erörtern sein wird, auf die sprengtechnischen Eigenschaften von Einfluß ist, von der Fabrik Untersuchungen angestellt worden. Die Untersuchungen wurden aber nur zu dem Zwecke ausgeführt, um das Zusammenbacken und Erhärten der Salzmassen, die die Ausspeicherung erschweren und die Streufähigkeit herabsetzen, zu ergründen. So wurde die kubische Dichte der Salzmassen bestimmt und festgestellt, daß von den im Silo 110 lagernden Mengen ca. 500 t die Dichte von 0,9, 1200 t die Dichte von 1,0, je 1100 t die Dichten von 1,1 und 1,2 und 500 t die Dichte von 1,3 besaßen. Außerdem liegt ein Bericht von Dr. Griesbach über das Zusammenbacken von Salzen vor, in dem die chemischen und physikalischen Ursachen des Zusammenbackens erörtert werden.

Da unter diesen Ursachen die Hygroskopizität, die Korngröße und Struktur, die Temperatur usw. von besonderer Bedeutung sind, mußte mit der Aenderung des Fabrikationsverfahrens auch eine Aenderung der Backfähigkeit eintreten und es hatte sich gezeigt, daß auch hierfür das Spritzverfahren vorteilhaft war.

#### Selbstzersetzung als vermutliche Ursache.

Im Laufe der Verhandlungen wurden die Untersuchungen des Salzes durch die Fabrik noch weiter ergänzt und insbesondere auf einen Gehalt von Nitrit Hydrazin, Chlor, Schwefel und Eisen geprüft. Das Nitrit<sup>16)</sup>, sollte nach gewissen Ansichten eine Selbstzersetzung herbeiführen, das Hydrazin die Bildung von Stickstoff-

<sup>13)</sup> Ueber die Einzelheiten vgl. Escalles, „Gutachtliche Ausführungen zu der Oppauer Explosionskatastrophe“, Z. f. d. Schieß- und Sprengstoffwesen 19 (1924) 44.

<sup>14)</sup> Chem. Werkbl. 6 (1910) 62.

<sup>15)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 29.

<sup>16)</sup> Rosendahl, Chem. Ztg. 45 (1921) 1033.

wasserstoff begünstigen, das Chlor Anlaß zum Auftreten von Chlorstickstoff<sup>17)</sup> geben, während der Schwefel der Mischung einen verbrennlichen Bestandteil zuführen und ihr die Eigenschaft des Aluminiums im Ammonalsprengstoff erteilen sollte.

Von einer Seite wurde sogar angenommen, daß aus dem Ammonsalpeter und den vorhandenen Chloriden Chlorate und Perchlorate gebildet worden wären, die dem Salz Sprengstoffcharakter verliehen hätten. Auch die an den Vortagen der Explosion angeblich aufgetretene hohe Außentemperatur (Sonnenbestrahlung), sowie die physikalische Beschaffenheit des (erhärteten) Salzes<sup>18)</sup> und sogar die Lufterktrizität<sup>19)</sup> wurden herangezogen, um den Uebergang in die explosive Zersetzung zu erklären.

Selbst wenn man die Anwesenheit oben genannter Stoffe zugibt, so würden sie doch die vermutete Wirkung deshalb nicht gehabt haben, weil sie sich in dem Düngesalz in nur sehr geringen Mengen und in mehr oder weniger weitgehend verteiltem Zustand befunden hätten, der eine Initialzündung oder eine Uebertragung einer Selbstzersetzung auf das Salz oder gar eine Bildung sprengstoffartiger Mischungen ausschließt.

Durch die Untersuchungen der Fabrik und der Sachverständigen konnte jedoch das Vorhandensein dieser Verbindungen nicht bestätigt werden. Im übrigen ist die Bildung von Stickstoffwasserstoff oder Chlorstickstoff in neutralem Medium und bei einem großen Ueberschuß an Ammonsalzen nicht möglich; ferner ist Ammonnitrit in festem Zustand und in heißer Lösung über 50° nicht existenzfähig und schließlich ist das Auftreten von Chlorat usw. wegen der Abwesenheit größerer Mengen von Chloriden chemisch nicht denkbar.

Bekannt ist, daß das Eisen, wie auch die oben angegebene Zusammensetzung des Salzes zeigt, in ganz geringer Menge aber nicht bloß als solches, sondern in Form von Oxyd vorhanden ist und daß es die Ursache von Verfärbungen ist, die das Salz mächmal aufweist. Es stammt aus der Apparatur. Irgend eine Bedeutung kommt ihm aber nicht zu, wie vom Referenten auf eine Anfrage des Betriebsrats in einer der Sitzungen des Reichstagsausschusses erörtert wurde<sup>20)</sup>.

Die gleichfalls vermutete Anwesenheit freier Schwefelsäure<sup>21)</sup> würde schon in der Lösung eine teilweise Zersetzung des Ammonnitrats und damit gewissermaßen eine Absättigung der Säure unter Bildung von etwas freier Salpetersäure bewirkt haben, die im übrigen im festen Ammonnitrat infolge schwacher Dissoziation stets nachweisbar ist.

Eine chemische Zersetzung verläuft außerdem selbst in energiereichen und verhältnismäßig unbeständigen Sprengstoffen verhältnismäßig langsam und führt erst zur Explosion, nachdem eine ganz bedeutende Temperatursteigerung stattgefunden hat, die nicht ohne das Auftreten deutlich wahrnehmbarer äußerer Erscheinungen, wie sichtbarer und stark riechender Dämpfe vor sich geht. Solche Erscheinungen konnten aber nicht stattgefunden haben, da sie am Vortag unbedingt hätten bemerkt werden müssen, und es sind, wie bereits erwähnt, dahingehende Angaben durch die Zeugenaussagen entkräftet worden.

Um die Wirksamkeit der chemischen Beimengungen wahrscheinlich zu machen, wird von einigen Seiten darauf hingewiesen, daß der Ammonsalpeter ein hochexplosiver

Stoff sei, der auch im Kriege in großen Mengen als Sprengstoff hergestellt und als Granatfüllung verwendet worden sei. Diese Ansicht ist aber nicht zutreffend. Dem Ammonsalpeter kommt eine besonders große Sprengkraft nicht zu, auch deshalb nicht, weil er schwer detonierbar ist<sup>22)</sup>. Er wurde daher auch im Kriege nicht für sich allein als Sprengstoff, sondern nur als Zusatz oder Grundlage zu Sprengstoffen verwendet, die infolge ihrer übrigen Beimengungen ganz andere Eigenschaften, viel größere Sprengkraft und bessere Detonierbarkeit besitzen als der Ammonsalpeter selbst.

Was die Lagerbeständigkeit des Ammonsalpeters betrifft, so ist auch bei den ungeheuer großen Mengen, die davon im Kriege hergestellt worden sind, niemals eine Beobachtung gemacht worden, die andeuten könnte, daß dieses Salz irgendwie bedenklich bei längerer Lagerung ist.

Wie von mancher Seite behauptet wird, sollen sogar im Kriege in Ammonsalpeterlagern Sprengungen vorgenommen worden sein, um die erhärtete Masse zu zerteilen, ohne daß bedenkliche Erscheinungen aufgetreten seien. Es ist aber von einer solchen Maßnahme denjenigen amtlichen Stellen, die mit der Beaufsichtigung der Ammonsalpeterfabriken und -lager im Kriege betraut waren, nichts bekannt geworden. Immerhin soll eine solche Möglichkeit nicht bestritten werden, und es würden die Sprengungen, wenn sie wirklich gemacht wurden, die große Beständigkeit des Ammonsalpeters nur bekräftigen.

Es halten somit alle Erklärungen über die leichte Zersetzlichkeit des Ammonsulfatsalpeters einer kritischen Betrachtung nicht stand.

#### Andere Ursachen.

Ebenso wie die Ansichten über eine Selbstzersetzung des Ammonsulfatsalpeters erwies sich nach eingehender Zeugenvernehmung die Behauptung, daß das in der Fabrik eingeführte Prämiensystem Veranlassung gewesen sei, unsorgfältig zu arbeiten, so daß das vorgeschriebene Mischungsverhältnis nicht eingehalten worden wäre, als unhaltbar. Schon die einfache Ueberlegung, daß das Prämiensystem, wie jedes Akkordsystem die stete Aufmerksamkeit des Arbeiters erfordert, widerspricht dieser Behauptung. Außerdem ist die Fabrik jederzeit in der Lage, nicht nur an Hand der Ergebnisse der Betriebs- und Versandanalysen, sondern auch auf Grund der verbrauchten Mengen der einzelnen Salze die nötige Kontrolle auszuüben. In der Tat ergab die genaue Durchsicht der Betriebsbücher und Analysenjournalle keinerlei Anhaltspunkte nach dieser Richtung.

Schließlich möge noch der an und für sich widersinnige Gedanke erwähnt werden, daß unter dem Düngesalz oder im Laufgang des Silos 110 für verbrecherische innerpolitische oder für außerpolitische<sup>23)</sup> Zwecke zurückgehaltene Munition versteckt gewesen sei, die durch Zufall explodiert wäre. Diese Munition müßte, wenn sie allein die Explosion verursacht hätte, in sehr großen Mengen, mehreren 100 t Sprengstoff, vorhanden gewesen sein oder, wenn sie nur als Initialzündung gewirkt hätte, in inniger Berührung mit dem Düngesalz sich befunden haben, also unmittelbar in diesem versteckt gewesen sein. Im ersteren Falle wäre sie aber im Laufgang gar nicht unterzubringen gewesen, ohne daß sie von Angestellten oder Beamten der Fabrik bemerkt worden wäre, im letzteren Fall hätte sie für sich die großen Zerstörungen nicht hervorgerufen und höchstens dieselbe Wirkung gehabt, wie die nachgewiesenermaßen unmittelbar in den Salzhäufen eingesetzten Sprengschüsse.

(Fortsetzung folgt.)

<sup>17)</sup> Roth, Frankfurter Zeitung vom 5. 10. 21; Brender a Brandis Het Gas 42 (1922) 12 nach Chem. Centr. Bl. 1922 II 12.

<sup>18)</sup> Vgl. Hene, Chem. Ztg. 45 (1921) 965; Stettbacher, Schweiz. Chem. Ztg. (1921) S. 512.

<sup>19)</sup> Nach einem von dem technischen Aufsichtsbeamten der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie erwähnten Artikel der Frankfurter Zeitung.

<sup>20)</sup> Protokoll über die 4. Sitzung des 34. Ausschusses S. 17.

<sup>21)</sup> Stettbacher a. a. O.

<sup>22)</sup> Vgl. Kast, Z. f. angew. Chem. 36 (1923).

<sup>23)</sup> Vgl. Chabanier Mon. Scient. (5) 11 (1921) 225.

# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.  
Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen,  
21. Jahrgang, 1926, Nr. 1.

(Fortsetzung.)

## Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Nachdem so alle von den verschiedenen Seiten in Betracht gezogenen Möglichkeiten über die Entstehungsursache der Explosion erörtert und als nicht in Frage kommend abgetan worden sind, bleibt mit einiger Sicherheit als Ausgangspunkt der Explosion nur die Auslösung durch einen Sprengschuß übrig, der zeitlich genau mit der Explosion zusammenfällt. Die Sachverständigen standen demnach vor der Aufgabe, festzustellen, auf welche Weise der bis dahin für praktisch nicht explosiv gehaltene Ammonsulfatsalpeter zur plötzlichen chemischen Zersetzung befähigt worden war. Die Richtung, in der die Lösung dieser Aufgabe zu geschehen hatte, lag auf

1. chemisch-technischem,
2. physikalisch-chemischem,
3. chemisch-analytischem

## Gebiet.

Bei der chemisch-technischen Untersuchung handelte es sich um die eingehende Prüfung des Fabrikationsverfahrens nach der technischen Seite, bei der physikalisch-chemischen um die Feststellung der Bedingungen, unter denen das Doppelsalz sich bildet und zersetzt, bei der chemisch-analytischen um die genaue Feststellung der Zusammensetzung des normalen Salzes und der nach der Explosion noch vorhandenen Salzmassen, Sprengstoffe und Zündmittel, und schließlich bei der sprengtechnischen Untersuchung um die Feststellung der Bedingungen, unter welchen die explosive Zersetzung des Salzes erfolgt oder erleichtert wird.

Da die chemisch-technische Untersuchung an Ort und Stelle vorgenommen werden mußte und die bayerische Untersuchungskommission besonderen Wert auf ihre Bearbeitung legte, und für die Bearbeitung des physikalisch-chemischen Teiles der auf diesem Gebiet besonders bewanderte Sachverständige Professor Gutbier hauptsächlich in Frage kam, übernahm die Chemisch-Technische Reichsanstalt die analytische und sprengtechnische Seite des Gegenstandes. Auf dem letztgenannten Gebiet waren auch die Sachverständigen Professor Wöhler und Dr. Escalés tätig, während sich die übrigen Sachverständigen auf theoretische Erörterungen beschränkten. Im folgenden soll in der Hauptsache die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt berührt und auf die Gutachten der übrigen Sachverständigen nur soweit eingegangen werden, als es zum Verständnis der Sachlage erforderlich ist.

## Vorversuche der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Die in der Chemisch-Technischen Reichsanstalt sofort nach Bekanntwerden der Explosion mit einem aus dem Handel bezogenen Ammonsulfatsalpeter unternommenen Versuche, über deren Ergebnis bereits in dem stenographischen Bericht<sup>24)</sup> der Reichstagsinterpellation und in der Tagespresse Näheres mitgeteilt worden ist, hatten gezeigt, daß im Ammonsulfatsalpeter zwar die explosiven Eigenschaften des Ammonsalpeters nicht ganz aufgehoben sind, daß aber eine explosive Wirkung mit diesem Salz nur bei Anwendung besonderer Versuchsbedingungen erzielt werden kann. Diese Bedingungen sind: lockerer Zustand des Salzes, starker Einschluß und Anwendung kräftiger Initialzündungen. Die explosive Zersetzung pflanzte sich aber auch unter diesen Be-

dingungen im Gegensatz zum Ammonsalpeter nur auf einen Teil des die Zündladung umgebenden Salzes fort. Dagegen trat auch mit den stärksten Sprengkapseln (3-g-Ladung) allein eine Explosion weder bei kleinen Mengen (10–25 g) im Bleizylinder noch bei größeren (mehrere Kilogramm) in angehäuften unverdämmtem Zustand ein. Ebenso wenig war dies der Fall bei Anwendung einer kräftigen Initialzündung ohne Einschluß des Salzes in widerstandsfähige Behälter.

Die Einzelheiten der Versuche waren folgende:

### I. Verhalten gegen Wärmeeinwirkungen.

1. Beim Erhitzen des Ammonsulfatsalpeters nach der Verpuffungsprobe im Woodschen Metallbad wurde bei 230° das Entweichen weißer Dämpfe beobachtet, bei 280° erfolgte starkes Aufschäumen, eine Verpuffung trat jedoch bis 360° nicht ein.

2. Beim Erhitzen über freier Flamme im Reagenzglas zersetzte sich das Salz unter stürmischer Entwicklung von Gasen, die sich mitunter entzündeten und verpuffungsartig abbrannten.

3. Beim Erhitzen in engwandigen Glasröhrchen (Schmelzpunktröhrchen) erfolgte ein Zerbersten des Röhrchens nur dann, wenn das Salz fest eingepreßt war, so daß die Gase nach der offenen Seite nicht entweichen konnten, im übrigen zersetzte sich auch hier das Salz unter Aufschäumen ohne merkliche Beschleunigung des Vorgangs.

4. Beim Erhitzen in einer glühenden Eisenschale entflammte das Salz an seinen Grenzflächen stellenweise; die Flamme erlosch aber sofort wieder und das Salz vergaste zuerst unter Entwicklung von Ammoniak, später unter Abspaltung von Säuredämpfen. Im Gegensatz dazu bleibt bei Ammonsalpeter die Flamme bis zum Schluß erhalten und spielt sich der ganze Vorgang etwas lebhafter ab.

5. Beim Erhitzen des Ammonsulfatsalpeters in einem zusammengebördelten würfelförmigen Eisenblechkästchen von 10 cm Kantenlänge und 1 mm Wandstärke im Holzfeuer schmolz das Salz und tropfte an den Fugen aus dem Kästchen heraus, ohne eine Einwirkung auf das Feuer zu zeigen. Nach 15 Minuten konnte das leere Kästchen unversehrt aus dem Feuer herausgenommen werden.

Auch Ammonsalpeter verhielt sich bei dieser Probe ganz ungefährlich. Das Salz schmolz und vergaste, gelegentlich die Flamme etwas belebend.

Erhitzte man den Ammonsalpeter in einem starkwandigen Eisenrohr, sodaß die Gase nicht entweichen konnten, so wurde das Rohr in seiner ganzen Länge nach wenigen Minuten unter Knall aufgerissen und die aufgeschraubte Kappe weggeschleudert.

### II. Verhalten gegen Initialzündung.

1. Im Trauzlschen Bleiblock wurden 10 g des Ammonsulfatsalpeters durch eine 2-g-Sprengkapsel nicht zur Explosion gebracht. Das Salz wurde nach dem Versuch z. T. unverändert vorgefunden. Die Aufbauchung betrug 9–12 ccm.

2. Bei Sprengung von 120 g Ammonsulfatsalpeter mit 25 g gepreßter Pikrinsäure und einer 2-g-Sprengkapsel in einem eisernen 25 cm langen Rohr von 2,5 cm innerem Durchmesser und 4 mm Wandstärke wurde das Rohr bis zur Hälfte zerlegt, was dafür spricht, daß die durch den Pikrinkörper eingeleitete Explosion eine Strecke weit fortgepflanzt wurde (s. Abb. 3).

<sup>24)</sup> Ber. ü. d. 135. Sitzung vom Mittw. den 28. Sept. 1921 S. 4598.



Abb. 3.  
Ammonsulfatsalpeter.

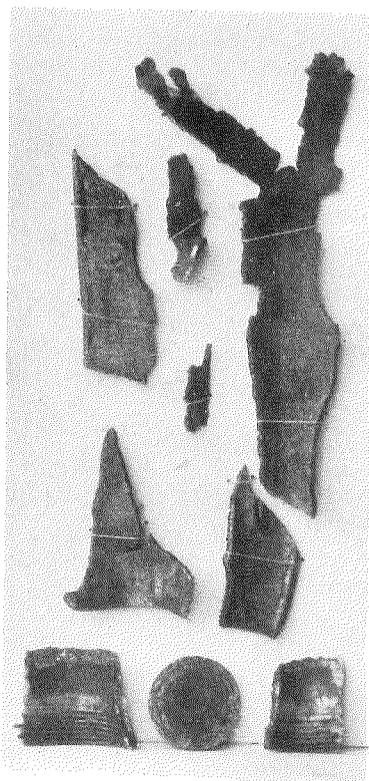


Abb. 4.  
Ammonsalpeter.



Abb. 5.  
Ammonsulfat.

3. Bei einem ähnlichen Versuch mit 95 g Ammonsalpeter erfolgte eine vollständige Zerlegung des Rohres (siehe Abb. 4), dagegen wurde bei 120 g Ammonsulfat unter denselben Bedingungen die Explosion nicht weitergeleitet (siehe Abb. 5).

4. Bei Anwendung größerer Mengen (1620 g) Ammonsulfatsalpeter in einer schmiedeeisernen Büchse von 8,3 cm innerem Durchmesser, 36 cm Länge und 4 mm Wandstärke und einer Initialzündung von 370 g Pikrinsäure (in 7 cm hoher Schicht) wurde die Büchse in ihrem oberen, der Initiale zugekehrten Teil, vollständig zerlegt, während sie in der unteren Hälfte aufgerissen und in mehrere Teile aufgefaltet wurde<sup>25)</sup>. In den Schwaden machte sich ein Geruch nach Schwefelwasserstoff bemerkbar.

Diese Versuche zeigen, daß die durch starke Zündladungen in widerstandsfähigen Behältern bewirkte explosionsartige Zersetzung des Ammonsulfatsalpeters nicht sofort erlischt, sondern zunächst fortgepflanzt wird, um mit der Entfernung von der Zündladung abzunehmen und erst nach einiger Zeit gänzlich aufzuhören; daß sich dagegen Ammonsalpeter unter denselben Bedingungen wie ein ausgesprochener Sprengstoff verhält und die Explosion — wenn auch nur im vorderen Teil, d. h. in unmittelbarer Berührung mit dem Zündladungskörper, detonationsartig — fortpflanzt.

Die Ergebnisse decken sich somit, soweit sie die Empfindlichkeit gegen Wärmeeinwirkungen und Sprengungen mit dem Salz ohne besonders starken Einschluß betreffen, mit den in der Einleitung erwähnten Versuchsergebnissen der Badischen Anilin- und Sodafabrik, und es sei hier vorausgeschickt, daß diese Tatsache auch durch die von der Chemisch-Technischen Reichsanstalt späterhin ausgeführten Versuche nicht entkräftet worden ist. Es wird darauf weiter unten noch näher eingegangen werden. Im übrigen war die Erscheinung der unvollständigen Uebertragung auch bei der Explosion in Oppau

eingetreten, immerhin genügte die Explosion des kleinen Bruchteils des Siloinhalts, um die Katastrophe herbeizuführen.

#### Ortsbesichtigung durch die gerichtlichen Sachverständigen.

Schon bei der in der Einleitung erwähnten Inaugenscheinnahme der Explosionsstelle in Gegenwart des Untersuchungsrichters wurde von dem Referenten darauf hingewiesen, daß nur ein geringer Teil des Siloinhalts zur Explosion gekommen sein konnte. Der Erdauswurf entsprach der Wirkung von 300–400 t Sprengstoff, also höchstens dem zehnten Teil der in dem Silo vorhandenen gewesenen Menge. Diese aus der unmittelbaren Wirkung gezogene Folgerung wurde durch zwei weitere Umstände bestätigt, einmal durch die Tatsache, daß große Mengen nicht explodierten Salzes in der Umgebung des Sprengherdes aufgefunden wurden, und dann durch die Feststellung der durch die Explosionswelle in der weiteren Umgebung angerichteten Zerstörungen. Es wurde an der nordwestlichen Sprengtrichterböschung ein Salzbrocken von etwa 1200 kg noch aufgefunden, und ferner wurde festgestellt, daß über die nächste Umgebung des Trichters größere und kleinere Brocken des Salzes zerstreut waren und daß die ganze Bodenfläche mit einer feinverteilten Salzschiicht übersät war.

Es fand eine eingehende Aussprache an Ort und Stelle statt über die Fabrikation des Ammonsulfatsalpeters, über die Möglichkeit einer abweichenden Zusammensetzung des Produkts (höherer Gehalt an dem explosiveren Ammonsalpeter), über die Möglichkeit einer Zersetzung der Salzmischung unter Entwicklung von Wärme und Abspaltung von Gasen, insbesondere auch über das von dem Schießmeister angewandte Sprengverfahren und über den möglichen Einfluß der durch die neue Fabrikationsweise (Spritzverfahren) bedingten abweichenden physikalischen Beschaffenheit (lockere Lagerung des als Staub anfallenden Materials).

Einen breiteren Raum nahm bei der Aussprache an der Unfallstelle die Behandlung der Frage ein, ob

<sup>25)</sup> Der Versuch deckt sich mit dem im I. Gutachten d. Chem.-techn. R.-Tabelle I, Z. 3 beschriebenen.

die Aufräumungsarbeiten in dem der Explosionsstelle benachbarten, z. T. zerstörten Silo Op. 112, in dem nach Angabe der Fabrik etwa 7000 Tonnen Ammonsulfatsalpeter lagerten, ohne Gefahr vorgenommen werden könnten. Auf die Entscheidung dieser Frage durch die Sachverständigen war von der Fabrik und von dem Betriebsrat großer Wert gelegt worden, weil sowohl in der Arbeiterschaft, als auch in der Bevölkerung große Beunruhigung wegen etwaiger neuer Gefahren geherrscht hatte. Das Dach dieses Silos war vollständig zusammengebrochen, verbogene starke Eisenträger und Maschinenteile waren auf das mit Schutt und Staub bedeckte Düngesalz niedergestürzt.

Von den Aufsichtsbehörden war bereits vorher angeordnet worden, daß die Zugänge zu diesem Silo durch Stacheldraht abgeschlossen wurden und daß der Silo Tag und Nacht streng bewacht wurde.

Nach eingehender Erörterung der Gefahrmöglichkeiten bei den Aufräumungsarbeiten in dem Silo Op. 112 wurde von den gerichtlichen Sachverständigen und den Vertretern der Aufsichtsbehörden einstimmig die Ueberzeugung ausgesprochen, daß die Lagerung des Ammonsulfatsalpeters an sich keine Gefahr bedeutet und daß die Fortschaffung des Salzes nach erfolgter Aufräumung, wenn nur mechanische Mittel angewandt werden, zugelassen werden kann. Es wurde daher besonders die Forderung gestellt, daß unter keinen Umständen Sprengungen in diesem Material zwecks Auflockerung der erhärteten Massen vorgenommen werden.

Mit Rücksicht auf die bestehende Beunruhigung in der Bevölkerung wurde dann vereinbart, daß die Aufräumungsarbeiten unter Beobachtung besonderer Vorsichtsmaßnahmen und ständiger Aufsicht sachverständiger Betriebsleiter der Fabrik vorgenommen werden sollten.

Ueber die gefaßten Beschlüsse bezüglich des Silos Op. 112 wurde eine kurze Verhandlung aufgenommen, die von den Aufsichtsbeamten und den Sachverständigen unterzeichnet und dem Inhalte nach auch der Öffentlichkeit bekannt gegeben wurde.

#### Probeentnahme.

Im Anschluß an die Besichtigung wurden an verschiedenen Stellen des Silos Op. 112 Proben des Düngesalzes entnommen, die in der Chemisch-Technischen Reichsanstalt und auch von Dr. Escales in München auf ihre Zusammensetzung und Eigenschaften untersucht wurden. Auch während der Aufräumungsarbeiten wurden von der Betriebsleitung fortlaufend Proben entnommen und untersucht.

Außer den Salzproben, die durch die Sachverständigen aus dem Silo 112 entnommen worden sind, wurde durch den Untersuchungsrichter eine größere Anzahl von Proben an die Chemisch-Technische Reichsanstalt zur Untersuchung eingesandt, die zum Teil gleichfalls aus Silo 112, zum Teil aus den bei der Explosion zerstreuten Brocken des explodierten Silos 110, zum Teil aus dem Böschungsrand des Sprengtrichters stammten. Ferner wurde der noch vorhandene Vorrat des Sprengmeisters an Sprengstoff und Sprengkapseln durch das Gericht beschlagnahmt.

Die Salzproben wurden auf ihre Explosionsfähigkeit und darauf untersucht, ob sie die von der Fabrik angegebene Zusammensetzung besaßen.

Ebenso wurde der verwendete Sprengstoff auf seine Zusammensetzung geprüft, da von verschiedenen Seiten die Meinung ausgesprochen worden war, daß nicht das bisher zum Abbau der Salzhaufen benutzte, sondern ein besonders starkes Sprengmittel verwendet worden sei und daß insbesondere auch ein hoher Aluminiumgehalt des Sprengstoffs die Explosion veranlaßt hätte.

Ueber das Ergebnis der Untersuchung der verschiedenen Salzproben, sowie über die Möglichkeit der Ver-

wendung besonders starker Sprengstoffe wird weiter unten Näheres ausgeführt werden, es soll hier nur das Ergebnis der Sprengstoffuntersuchung erwähnt werden, weil in den Hauptgutachten nicht näher darauf eingegangen worden ist.

Nach den Angaben der Badischen Anilin- und Sodafabrik waren bei den Vorversuchen der Fabrik die Sprengstoffe Koronit, Perwestfalit<sup>26)</sup> und Trinitrotoluol verwendet worden, während die eigentlichen Sprengungen zuerst mit Astralit, dann ausschließlich mit Perastralit, einem von den Sprengstoffabriken Hoppecke gelieferten Sprengstoff, ausgeführt worden waren. Diese Namen- und Firmenbezeichnung hatten auch die beschlagnahmten Patronen. Die Patronen waren z. T. zerdrückt und hatten durch Einwirkung von Feuchtigkeit stark gelitten. Nach den Angaben der Sprengstoffabrik war der Sprengstoff aus den wiedergewonnenen Kriegssprengstoffen Ammonal und Perdit<sup>27)</sup> und zwar im Verhältnis 90:10 hergestellt worden und mußte demnach die Zusammensetzung:

72,0	%	Ammonsalpeter,
1,0	"	Kaliumperchlorat,
12,3	"	Nitrokörper (im wesentlichen Dinitrotoluole),
14,4	"	Aluminium,
0,3	"	Holzmehl,

haben.

Die chemische Untersuchung ergab übereinstimmend mit anderen von der Badischen Anilin- und Sodafabrik und von Prof. Wöhler ausgeführten Analysen eine durchschnittliche Zusammensetzung von

59 — 64	%	Ammonsalpeter + Kaliumperchlorat,
19,3 — 23	"	Nitrokörper,
13,4 — 15,7	"	Aluminium,
0,5 — 1,0	"	Holzmehl,

während eine weitere von Dr. Beyersdorfer in Frankenthal vorgenommene Analyse

10,9	%	Feuchtigkeit,
31,1	"	Ammonsalpeter,
4,9	"	Kaliumperchlorat,
31,0	"	Nitrokörper,
19,4	"	Aluminium,
4,8	"	Rückstand

anzeigte.

Offenbar war aber im letzteren Fall ein Teil des Ammonsalpeters bereits durch Wasser ausgelaugt, so daß eine Verschiebung der Zusammensetzung eingetreten war.

In jedem Fall zeigen aber die Analysen, daß die Zusammensetzung des Sprengstoffs nicht den Angaben der liefernden Firma entspricht. Nur der gefundene Aluminiumgehalt stimmt mit den angegebenen überein, so daß die auf diesen bezügliche Vermutung keine Stütze in der Analyse findet. Im übrigen sind die Unterschiede zwischen dem analytischen Befund und den Angaben der Fabrik über die Zusammensetzung des Sprengstoffs belanglos, insofern als die durch die veränderte Zusammensetzung in der Brisanz des Sprengstoffs hervorgerufenen Unterschiede unwesentlich sind. Auch bei den späteren Versuchen der Chemisch-Technischen Reichsanstalt konnte ein Unterschied bei der Verwendung von Sprengpatronen aus aluminiumhaltigen und aluminiumfreien Sprengstoffen nicht festgestellt werden.

<sup>26)</sup> Koronit ist ein Chlorat, Perwestfalit ein dem Perastralit ähnlicher Ammonsalpetersprengstoff.

<sup>27)</sup> Das sog. „Deutsche Ammonal“ besteht aus:

72	%	Ammonsalpeter,	
16	"	Aluminium,	
12	"	Trinitrotoluol,	
das „Perdit“ aus:	72	"	Ammonsalpeter,
	10	"	Kaliumperchlorat
	15	"	Nitroverbindungen,
	3	"	Holzmehl.

Da auch sonst die Ansicht verbreitet war, daß bei der vermutlichen verhängnisvollen Sprengung ein besonders kräftiger Sprengstoff oder eine größere Menge eines solchen verwendet worden sei, hat sich der Referent in einem Schreiben der Chemisch-Technischen Reichsanstalt hierzu besonders geäußert. Die Ausführungen seien nachstehend wiedergegeben:

„Als weiterer die Einleitung der Explosion begünstigender Faktor wird von verschiedenen Seiten die Verwendung eines besonders kräftigen Sprengstoffs angenommen. Es ist aber sehr zweifelhaft, ob man mit einem solchen Sprengstoff wirklich eine bessere praktische Wirkung erzielt hätte, da jedem erfahrenen Sprengtechniker bekannt ist, daß die Brisanz des Sprengstoffs dem zu sprengenden Objekt angepaßt sein muß. Ein sehr brisanter Sprengstoff ist nur in hartem und zähem Gestein anwendbar, in weichem und sprödem Gestein würde er nur eine Zermalmung in seiner nächsten Umgebung, aber keinen Stückfall, d. h. keine Zerteilung in Brocken, herbeiführen, wie er z. B. bei Kohle und ohne Zweifel auch beim Ausräumen der Silos verlangt wird. Man würde daher im Ammonsulfatsalpeter mit Dynamit keine praktisch besser nutzbare Wirkung erzielt haben, als mit einem weniger brisanten und schiebenden Sprengstoff, wie ihn das Perastralit darstellt, und es ist daher von diesem Gesichtspunkt aus unwahrscheinlich, daß der Sprengmeister zu einem brisanteren Sprengstoff gegriffen hat. Andererseits würde aber auch die Verwendung von Schwarzpulver, wie dies von mancher Seite gemutmaßt wird, nicht zweckmäßig gewesen sein, da dieses eine zu schwache Wirkung gibt.

„Die Anwendung einer größeren Menge des Sprengstoffs würde dagegen wohl den Effekt der Sprengung etwas verändert, aber sehr wahrscheinlich nicht die Detonationsübertragung auf den umgebenden Stoff begünstigt haben. Wie frühere Versuche und auch die jetzigen der Reichsanstalt gezeigt haben, tritt bei einer gewissen Menge des Sprengstoffs praktisch ein Optimum der Uebertragung ein, das bei Vermehrung der Menge nicht überschritten wird.

„Aus theoretischen Erwägungen heraus kann man auch folgern, daß eine Erhöhung der Wirkung nur dann eintritt, wenn es gelingt, die Anordnung der Zündladung so zu treffen, daß bei der Detonation die Energiedichte in der Zeiteinheit, d. h. die Stoßwirkung auf den Quadratcentimeter der Oberfläche der Zündladung, vermehrt wird. Dies ist aber praktisch nicht durch Erhöhung der Menge der Zündladung, sondern nur durch Erhöhung der Ladedichte zu erreichen. Eine Erhöhung der Ladedichte ist aber bei den üblichen Bergwerkssprengstoffen nicht möglich, ohne die Detonierbarkeit durch die Sprengkapsel zu beeinträchtigen. Man braucht daher die Vermehrung der Sprengstoffmenge über einen bestimmten Grad hinaus, wenn sie nicht in ganz bedeutendem Umfang erfolgt, nicht unbedingt als gefahrbringendes Moment zu betrachten.

„Größere Bedeutung würde aber der Anordnung des Sprengstoffs, z. B. dem Umstand zuzuschreiben sein, daß mehrere Sprengschüsse zu genau derselben Zeit zur Detonation gekommen sind, weil in diesem Fall durch das Aufeinandertreffen der Detonationswellen der Druck an einzelnen Stellen der Salzmasse beträchtlich erhöht wird. Aber auch diese Möglichkeit wäre nur eingetreten, wenn die Bohrlöcher sehr nahe aneinandergeliegen und nicht, wie es wirklich der Fall war, durch eine Salzschicht von 80—120 cm getrennt gewesen wären.

„In Beziehung zur Anordnung des Sprengstoffs steht der Gegenstand der vom Vorsitzenden des 34. Ausschusses im 7. Sitzungsprotokoll S. 5 gestellten Frage, ob bei einer stärkeren Anhäufung des Salzes Entzündungs- und Explosionsmöglichkeit in größerem Umfang bestanden hat als bei einer schwächeren. Diese Frage ist insofern zu bejahen, als durch die Anhäufung die

Verdämmung des Sprengschusses verstärkt wird. Wenn man sich nämlich vorstellt, daß im Innern eines großen Salzhafens ein Sprengschuß gelöst wird, der eine äußerlich durch Zersprengung des Hafens in die Erscheinung tretende Wirkung nicht ausübt, so muß die ganze Energie des Sprengschusses von der Salzmasse aufgenommen werden. Es ist dann verständlich, daß eine Explosionsübertragung leichter stattfindet, namentlich dann, wenn der tief unter einem widerstandsfähigen Besatz angelegte Sprengschuß in einem Nest von verhältnismäßig lockeren Salz sitzt. Jedem Sprengtechniker ist es bekannt, daß zur Einleitung der Detonation und zur vollen Auslösung der Sprengstoffwirkung eine gute Verdämmung nötig ist. Diese Verdämmung wird bei Bergwerkssprengstoffen durch den Besatz, bei den frei und leichter detonierbaren militärischen Sprengstoffen durch Zusammenpressen, d. h. Erhöhung der Dichte, erzielt. Die Erhöhung der Dichte darf allerdings nur bis zu einem gewissen Grad stattfinden, da sonst wiederum die Detonationsübertragung im Sprengstoff selbst erschwert wird. Man ersieht aus diesen Erfahrungstatsachen, daß zur Einleitung der Detonation, d. h. zur Uebertragung der Explosion von der Zündung auf den Sprengstoff, ein gewisser Grad der Verdämmung durch Anhäufung oder durch Erhöhung der Dichte nötig ist.“

Im übrigen sprechen auch die S. 20 erwähnten Sprengversuche der Badischen Anilin- und Sodafabrik gegen die Gefährlichkeit der Verwendung von größeren Mengen Sprengstoff.

Die untersuchte Sprengkapsel gab in der Zusammensetzung und Menge des Knallsatzes zu einer Beanstandung gleichfalls keinen Anlaß. Sie enthielt 0,57 g Trinitrotoluol und als Aufladung 0,74 g Knallquecksilber-Knallsatz, entsprach also dem für Bergwerkssprengstoffe üblichen Typ.

Sprengtechnische Eigenschaften des Ammonsulfatsalpeters.

Die Hauptaufmerksamkeit der Sachverständigen mußte sich daher der Zusammensetzung und den sprengtechnischen Eigenschaften des Düngesalzes zuwenden. Die damit in Zusammenhang stehende Untersuchung geschah vom rein praktischen Standpunkt aus, da auf theoretischem Wege eine sichere Unterlage für die Beurteilung der Explosionsfähigkeit eines Stoffes nicht gewonnen werden kann. Immerhin möchte ich vom theoretischen Standpunkt aus folgendes ausführen:

#### Theoretisches.

Nimmt man für den Ammonsulfatsalpeter, d. h. das Doppelsalz  $2\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{NH}_4\text{SO}_4$  als Zersetzungsgleichung  $2\text{NH}_4\text{NO}_3 + (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 = 8\text{H}_2\text{O} + \text{SO}_2 + 3\text{N}_2 + 74,2 \text{ Kal. an}$ , so müßte man ihn wegen der positiven Wärmetönung rein theoretisch zu den explosionsfähigen Stoffen rechnen. In der Tat unterscheidet sich das Salz in seinen sprengtechnischen Eigenschaften nur wenig von anderen exothermisch sich zersetzenden als explosionsfähig erkannten Salzen. Es geht dies aus nachstehender Tabelle I hervor, in die auch zwei bekannte Sprengstoffe und zwei explosive Salze, Ammonsalpeter und Ammonperchlorat, aufgenommen sind:

Tabelle I.

Stoff	kub. Dichte	Explosionswärme Kal/kg	Spez. Gasvolumen	Explosions- temperat. ° C	Spez. Energie	Deton-Geschwindigkeit	Brisanzverhältnis
Trinitrotoluol	1,0	950	690	2820	8080	5000	40
Ammonsalpeter-Sprengstoff (Donarit)	1,1	930	900	2650	9855	3700	41
Ammonnitrat	1,0	345	980	1230	5575	ca.3000	16
Ammonperchlorat	1,17	250	810	2500	4455	2500	13
Ammonsulfatsalpeter	1,1	255	920	1020	4530	ca.2000	8

(Fortsetzung folgt.)

# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.  
Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen,  
21. Jahrgang, 1926, Nr. 2.

(Fortsetzung.)

Allerdings entwickeln die beiden Salze Ammonsalpeter und Ammonperchlorat erheblich weniger Energie als die eigentlichen Sprengstoffe; sie lassen sich daher auch nicht ohne weiteres als solche verwenden, spielen aber als Grundlage für brisante Sprengmittel eine große Rolle. Daß es bei der Explosionsfähigkeit aber nicht allein auf den Energieinhalt ankommt, ist längst bekannt und im besonderen in Bezug auf Ammonnitrat und Ammonperchlorat an anderer Stelle<sup>28)</sup> ausführlich behandelt worden. Es ist dort gezeigt worden, daß das energieärmere Ammonperchlorat wesentlich leichter detonierbar ist als der Ammonsalpeter. Vermutlich rührt dies davon her, daß die Zersetzung dieses Salzes weniger als diejenige des Ammonsalpeters durch Zwischenreaktionen beeinflusst wird. Es ist daher auch wohl begreiflich, daß bei den Vorversuchen der Badischen Anilin- und Sodafabrik die Antwort auf die Frage nach der Explosionsfähigkeit des Ammonsulfatsalpeters durch die Ergebnisse der praktischen Sprengversuche im Bleiblock insofern verdunkelt wurde, als mit dem Doppelsalz (45:55) eine ganz minimale Wirkung (ca. 10 ccm), die auf Rechnung der Sprengkapsel gesetzt werden konnte, mit dem Oppauer Salz (50:50) gar keine Wirkung erzielt wurde. Bei den späteren Versuchen der Reichsanstalt (s. das I. Hauptgutachten) waren allerdings die erhaltenen Werte etwas höher — Doppelsalz 34 ccm, Oppauer Salz 23 ccm, oder nach Abzug der Sprengkapselwirkung etwa 20 und 10 ccm — sie waren aber auch nicht so groß, daß den beiden Salzen eine unter den gegebenen Bedingungen praktisch in Erscheinung tretende Explodierbarkeit zugeschrieben werden konnte. Trotzdem bleibt aber nach obigem die theoretische Möglichkeit der Explodierbarkeit bestehen. Es zeigen dies auch folgende Erwägungen:

Das Ammonsulfat ist als solches nicht explosionsfähig. Von den möglichen Zersetzungsgleichungen

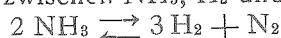
1.  $2(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 = 8 \text{H}_2\text{O} + \text{S}_2 + 2\text{N}_2 - 50,7 \text{ Kal.}$
2.  $2(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 = 2 \text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_3 + 4\text{NH}_3 - 217,8 \text{ "}$
3.  $2(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 = 4 \text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2 + 4 \text{H}_2 + 2\text{N}_2 - 97,8 \text{ "}$
4.  $2(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 = 4 \text{H}_2\text{O} + 2\text{SO}_2 + 2\text{NH}_3 + \text{H}_2 + \text{N}_2 - 170,8 \text{ "}$
5.  $2(\text{NH}_4)_2 \text{SO}_4 = 6 \text{H}_2\text{O} + 5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{S} + \frac{1}{3} \text{NH}_3 + \frac{1}{2} \text{H}_2 + 2\text{N}_2 - 138,6 \text{ "}$

verläuft keine exothermisch. Man muß also dem Salz von außen Wärme zuführen, um eine Zersetzung zu erzielen.

Selbst die erste Gleichung liefert noch keine Wärme. Sie ist im übrigen nur bei sehr hohen Temperaturen, die hier nicht in Betracht kommen, denkbar. Im Gegensatz dazu kommt die Dissoziationsgleichung 2 nur bei niederen Temperaturen in Frage, sie verbraucht auch am meisten Wärme. Es wird daher, wenn man von der Bildung von  $\text{SO}_3$ , das neben Wasserstoff nicht beständig sein wird, ganz absieht, zunächst die Gleichung 3, und wenn man einen Gleichgewichtszustand einerseits zwischen  $\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{SO}_2$  und  $\text{H}_2\text{S}$  etwa nach der Gleichung



und andererseits zwischen  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$  und  $\text{N}_2$  nach

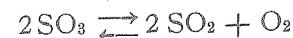
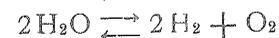
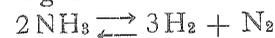


annimmt, auch Gleichung 4. und 5. in Frage kommen. Dabei könnten weiterhin Ammoniak und Schwefelwasserstoff zu Ammoniumhydrosulfid und zu Schwefelammonium, Ammoniak, Wasser und Schwefeldioxyd zu Ammonium-

bisulfit zusammentreten, die die Bildung der gasförmigen Stoffe begünstigen würden, da sie sich als Bodenkörper ausscheiden könnten. Es sind auch die in Gleichung 5. aufgenommenen Gase bei der explosiven Zersetzung der Ammonnitrat-Ammonsulfat-Gemische beobachtet und nachgewiesen worden. Inwieweit aber ihr Auftreten einer unvollständigen Zersetzung (Dissoziation) des Salzes (Gleichung 2.) zuzuschreiben ist, entzieht sich zunächst der Beurteilung. Es ist dies aber auch belanglos, da die selbständige Zersetzung des Ammonsulfats rein hypothetisch ist. Man kann also, wenn es sich nur darum handelt, die thermochemische Zersetzungsgleichung des Ammonsulfatsalpeters aufzustellen, mit jeder der 5 Gleichungen rechnen (vgl. die Gleichungen im später erwähnten I. Hauptgutachten).

Führt man die zur Zersetzung des Ammonsulfats nötige Energie in Form von Wärme verhältnismäßig langsam zu, so kann man beobachten, daß sich zuerst ein Molekül Ammoniak abspaltet und das saure Salz auftritt, was auch die Ursache ist, daß von gewisser Seite irrümlicher Weise auf einen Gehalt an freier Schwefelsäure im Oppauer Salz geschlossen wurde.

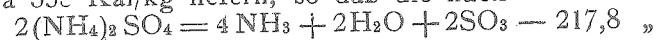
Bei weiterer Erhitzung wird die Dissoziation in Ammoniak, Wasser und  $\text{SO}_3$  vollständig und schließlich werden auch diese drei Verbindungen durch Dissoziation nach den Gleichungen:



zerlegt.

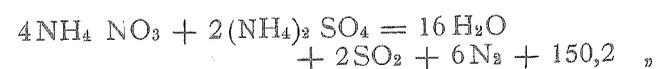
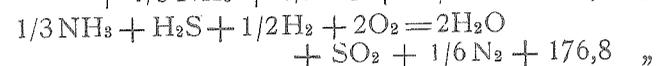
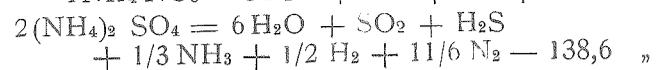
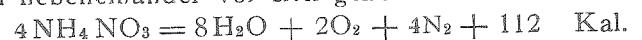
Im Ammonsulfatsalpeter wird nun die von außen zuzuführende Wärme durch die Zersetzung des Ammonnitrats und die Verbrennung des Wasserstoffs und seiner Verbindungen durch den überschüssigen Sauerstoff des Ammonnitrats aufgebracht und es kann mit dem Auftreten des freien Sauerstoffs die Verbrennung der Dissoziationsprodukte des Ammonsulfats einsetzen. Diese innere Verbrennung des Ammonsulfats kann im Maximum nach der Gleichung:

$2 \text{SO}_3 + 2 \text{NH}_3 = 2 \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O} + \text{H}_2 + \text{N}_2 + 46,6 \text{ Kal.}$   
etwa 353 Kal/kg liefern, so daß die nach

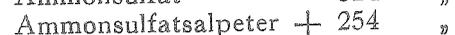


verbrauchte Dissoziationswärme von 938 Kal/kg auf 585 Kal. vermindert wird.

Man hat somit, wenn man Nebenreaktionen, wie z. B. die Bildung von Ammoniak durch sekundäre Vereinigung von Stickstoff und Wasserstoff ausschließt, als Zersetzungsstufen des Ammonsulfatsalpeters beispielsweise folgende anzusehen, die natürlich nicht nach, sondern nebeneinander vor sich gehen:



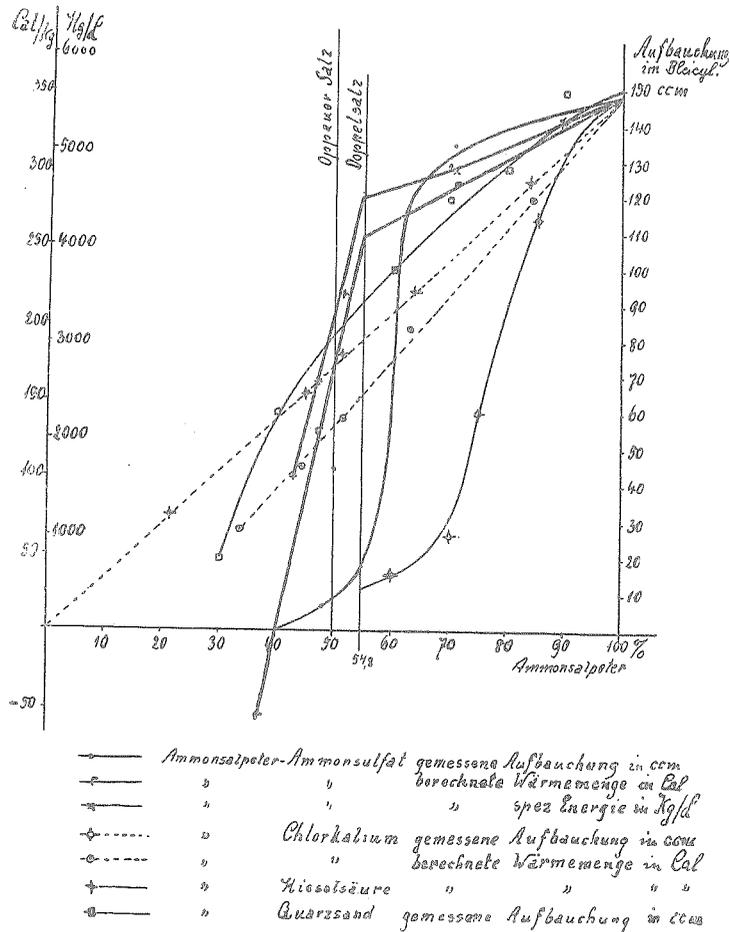
Daraus ergibt sich als Wärmemenge bei der Zersetzung von



Das Ammonsulfat beteiligt sich somit an der explosiven Zersetzung des Ammonsulfatsalpeters, sodaß es nicht als indifferenten Zusatz angesehen werden kann.

<sup>28)</sup> Vgl. Kast, Z. f. angew. Chem. 36 (1923), 72 u. 337.

Noch deutlicher zeigt sich dies, wenn man die verschiedenen Gemische von Ammonnitrat und Ammonsulfat mit den Gemischen von Ammonnitrat und mehr oder weniger indifferenten Salzen vergleicht. Trägt man die errechneten Kalorien der Gemische in ein Koordinatensystem ein (s. nachstehendes Diagramm), so zeigt sich,



wie gegenüber indifferenten Stoffen bei den Gemischen mit hohem Gehalt an Ammonsulfat die negative, bei den Gemischen mit hohem Gehalt an Ammonnitrat die positive Wärmetönung zur Geltung kommt und wie die Schmelzwärme eines schmelzbaren Stoffes wie Chlorkalium die Wärmetönung gegenüber einem als ganz indifferent angenommenen Stoff wie Quarzsand vermindert.

Es braucht nicht besonders betont zu werden, daß es sich dabei nur um trockene Gemische von Ammonnitrat und Chlorkalium handeln kann; bei dem naß hergestellten Kaliammonsalpeter hat eine vollständige Umsetzung in Kalisalpeter und Ammonchlorid stattgefunden, also ein Gemisch, dem explosive Eigenschaften überhaupt nicht mehr zukommen.

Man sieht aus dem Verlauf der Kurve der Ammonsalpeter-Ammonsulfatgemische, daß eine exothermische Wärmetönung erst bei den Gemischen, die über 40 %

Ammonsalpeter enthalten, auftritt, daß aber dann die entwickelte Wärmemenge sehr rasch ansteigt, bis ein Gemisch von 55 % Ammonnitrat erreicht ist, das ziemlich genau demjenigen des Doppelsalzes entspricht. Hier findet die vollständige Verbrennung des Wasserstoffs statt.

Bei weiterer Steigerung des Ammonsalpetergehalts tritt dann nur noch eine geringe Erhöhung der Wärmemenge ein, die durch die infolge des überschüssigen Sauerstoffs eintretende nunmehr mögliche sekundäre Bildung von SO<sub>3</sub> nach  $2\text{SO}_2 + \text{O}_2 \rightleftharpoons 2\text{SO}_3 + 45,6 \text{ Kal.}$  noch gesteigert wird. Bei Chlorkalium und Quarzsand verlaufen die berechneten Kurven proportional der Menge dieser Bestandteile, da eine chemische Reaktion nicht eintritt.

Die Darstellung des Energiegehalts nach der Wärmetönung ist nun zwar nicht ganz genau, der dadurch entstehende Fehler ist aber gering, da es sich um gleichartige Gemische handelt. Zeichnet man die spezifische Energie der Gemische gemäß der Tabelle II in das Koordinatensystem ein, so erhält man eine Kurve, die nur wenig von der Kurve der entwickelten Wärmemengen abweicht, und man kann also bei derartigen Gemischen wohl mit der Wärmetönung rechnen.

Da die Kurve für Gemische von etwa 43–45 % Ammonsalpeter sehr schnell ansteigt, ist es schwer, die Grenze anzugeben, bei der eine Explosionsmöglichkeit nicht mehr besteht, wenn man sie nicht unterhalb von 40 % Ammonsalpeter ansetzt. Es besteht in der Zone des raschen Anstiegs (zwischen 40 und 55 % Ammonnitrat) eine Art von labilem Zustand derart, daß geringe Abweichungen in der physikalischen Beschaffenheit der Versuchsanordnung usw. die Explodierbarkeit stark beeinflussen können.

Man erkennt ferner aus der Tabelle II, daß die errechneten Explosionstemperaturen erst gegen 55 % Ammonnitrat also bei der Zusammensetzung des Doppelsalzes den Wert von 1000° erreichen, während die für das Oppauer Salz in Frage kommende Temperatur nur etwa 600° beträgt. Damit wird das Temperaturgefälle für den Zustand vor und nach der Explosion sehr flach, was zweifellos den Uebergang in die Explosion erschwert. Die Folge der niederen Explosionstemperaturen der Gemische mit weniger als 55 % Ammonnitrat ist, daß auch die spezifische Energie von dieser Zusammensetzung an stark abfällt.

Bevor nun auf das sprengtechnische Verhalten des Ammonsulfatsalpeters, wie es sich beim praktischen Versuch ergibt, eingegangen wird, soll zunächst an Hand des 3. Wärmesatzes geprüft werden, ob das in Tabelle II eingetragene Molekular-Verhältnis der Zersetzungsgase als richtig angenommen werden kann oder ob noch ein Teil der Verbindungen bei den in Frage kommenden Temperaturen und Drücken zu berücksichtigen ist. Nach der Tabelle II kommen für die verschiedenen Ammonsulfat-Ammonnitratgemische Temperaturen in

Tabelle II.

Sprengtechnische Konstanten verschiedener Ammonsulfat-Ammonnitrat-Gemische.

Molekularverhältnis		Gewichtsverhältnis		Mol.-Gewicht	Gaszusammensetzung in Mol					Explosions-			Spez. Energie kg/L
Ammonsulfat	Ammonnitrat	Ammonsulfat	Ammonnitrat		H <sub>2</sub> O	SO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	wärme Kal./kg	volumen O <sub>2</sub> , 760 m	temperatur t	
2	2	62,5	37,5	424,4	10	2	2	—	4	— 54	950	—	—
2	2 1/2	56,9	43,1	464,4	11 1/2	2	1 1/2	—	4 1/2	+ 41	940	180°	1600
2	3	52,4	47,6	504,4	13	2	1	—	5	+132	930	470°	2600
Oppauer Salz													
2	3 1/2	48,5	51,5	544,4	14 1/2	2	1/2	—	5 1/2	+195	930	720°	3485
2	4	45	55	584,4	16	2	—	—	6	+256	920	1020°	4530
2	8	29	71	904,4	24	2	—	2	10	+290	940	1080°	4800
2	30	10	90	2664,4	68	2	—	13	32	+330	965	1190°	5330
0	2	0	100	160	4	—	—	1	2	+347	980	1230°	5575

Frage, die zwischen 180° und 1200° C liegen. Aus den Wärmetönungen, die zwischen 40 und 350 Kal/kg betragen, kann man ferner nach der kinetischen Gastheorie Explosionsdrücke ableiten, die etwa zwischen 2000 und 6000 kg/qcm liegen. Es fragt sich daher, inwieweit bei diesen Temperaturen und Drücken, außer den bereits berücksichtigten Gasen, H<sub>2</sub>O, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> noch H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>, SO<sub>3</sub> und NO und weiterhin Ammoniumhydrosulfid, NH<sub>4</sub>HS, und Ammoniumbisulfid, NH<sub>4</sub>HSO<sub>3</sub>, beständig sind.

Auf Grund der nach dieser Richtung angestellten Ueberlegungen und Berechnungen, die für die hauptsächlich in Frage kommenden absoluten Temperaturen von 870°, 1070° und 1270° durchgeführt wurden, kommt man zu folgenden Schlußfolgerungen:

1. Die Bildung von Schwefelwasserstoff und Ammoniak ist nur bei Vorhandensein überschüssigen Wasserstoffs möglich, wenn also weniger als 55% Ammonnitrat im Gemisch enthalten sind. Für das Doppelsalz, das gerade an der Grenze liegt, kommen also die beiden Gase als Explosionsprodukte nicht in Frage.
2. Im Gegensatz dazu ist die Bildung von SO<sub>3</sub> und NO nur bei freiem Sauerstoff, also oberhalb von 55% Ammonnitrat denkbar.
3. Ammoniak kann bei der Zersetzungstemperatur des Oppauer Salzes wegen des starken Partialdrucks des Stickstoffs gegenüber dem des Wasserstoffs nur in verschwindenden Mengen vorhanden sein.
4. Eine Schwefelwasserstoffbildung würde die Ammoniakbildung zurückdrängen, sie ist aber bei der niederen Temperatur von 870° in sehr viel geringerem Umfang möglich als die Ammoniakbildung, kommt also praktisch gleichfalls nicht in Betracht.
5. Ammoniumhydrosulfid besitzt bereits bei 870° einen Dissoziationsdruck von  $4,7 \cdot 10^5$  Atm. und ist, da der Explosionsdruck weit geringer ist, als Bodenkörper nicht mehr möglich.
6. Dagegen übersteigt der Dissoziationsdruck des Ammoniumbisulfits erst bei über 2000° die Explosionsdrücke; seine Bildung als Bodenkörper wäre daher möglich, wenn Ammoniak in nennenswerter Menge auftreten würde, was aber, wie erwähnt, nicht der Fall ist.
7. Stickoxyd ist selbst bei 1270° höchstens zu 0,00005% beständig.
8. Freier Schwefel kann, wie bereits oben erwähnt, nicht auftreten, da der Dissoziationsgrad des Schwefeldioxyds bei den fraglichen Temperaturen sehr klein ist.

Nach alledem besitzen somit die für die Zersetzung des Doppelsalzes und des Oppauer Salzes angenommenen Gleichungen einen sehr hohen Grad von Wahrscheinlichkeit, und es fragt sich somit, inwieweit sich die theoretischen Schlußfolgerungen praktisch beweisen lassen. Betrachtet man zu diesem Zweck die in Tabelle III eingetragenen Zahlenwerte der mit den verschiedenen Gemischen erhaltenen Bleizylinderaufbauchungen nach Abzug derjenigen Wirkung, die auf Rechnung der Sprengkapsel zu setzen ist<sup>29)</sup>, so ist es auffallend, daß im Gegensatz zu den berechneten Zahlen eine nennenswerte explosive Wirkung erst bei Gemischen über 55% Ammonsalpetergehalt erkennbar ist. Das zeigt sich auch bei der Empfindlichkeit gegen Schlag (s. Tabelle IV) insofern, als eine merkliche Empfindlichkeit erst bei dem Gemisch

<sup>29)</sup> Erfahrungsgemäß kommt die Sprengkapselwirkung bei chemisch trägen Stoffen viel weniger zum Ausdruck als bei gut detonierenden, weil bei jenen die Energie der Sprengkapsel zur mechanischen Zertrümmerung der Teilchen verbraucht wird. Es ist daher bei den schwer detonierbaren Gemischen ein geringerer Betrag (etwa 10 ccm) gegenüber den leichter detonierbaren abgezogen.

60% Ammonnitrat und 40% Ammonsulfat festzustellen ist. Allerdings finden sich schon beim Oppauer Salz Anzeichen von beginnender Zersetzung durch den Schlag des 20kg-Gewichts.

Tabelle III.

#### A. Sprengwirkung von Gemischen aus Ammonsalpeter und Ammonsulfat im Normalbleizylinder.

Zusammensetzung des Salzgemisches		Netto-Aufbauchung bei 15° in ccm	
Ammonsulfat %	Ammonsalpeter %	mit Sprengkapsel	ohne Sprengkapsel
100	—	0	—
52	48	24	7
50	Oppauer Salz 50	—	—
45,2	Doppelsalz 54,8	—	—
45	55	35	18
40	60	83	66
35	65	141	124
30	70	146	129
29	71	152	135
25	75	—	—
—	100	165	148

#### B. Sprengwirkung von Gemischen aus Ammonsalpeter und Chlorkalium.

Zusammensetzung des Salzgemisches		Netto-Aufbauchung bei 15° in ccm	
Chlorkalium %	Ammonsalpeter %	mit Sprengkapsel	ohne Sprengkapsel
40	60	24	14
30	70	39	25
25	75	75	60
15	85	135	115
5	95	165	145

#### C. Sprengwirkung von Gemischen aus Ammonsalpeter und Quarzsand (unter 0,5 mm Korngröße ohne Staub).

Zusammensetzung des Gemisches		Netto-Aufbauchung bei 15° in ccm	
Quarzsand %	Ammonsalpeter %	mit Sprengkapsel	ohne Sprengkapsel
70	30	77	20
60	40	70	60
40	60	113	100
30	70	137	120
20	80	147	130
10	90	172	150
—	100	172	150

Die Abweichung zwischen den berechneten und gefundenen Werten der Energie ist aber nur scheinbar; trägt man nämlich auch diese Kurve in das Koordinatensystem ein, so erkennt man, daß ihr Hauptverlauf derselbe ist, wie der der berechneten Kurve. Im besonderen fällt jedoch auf, daß sie anfangs, bis etwa 55% Ammonsalpeter, langsamer, dann bis zu etwa 70% Ammonsalpeter schneller ansteigt, um schließlich ganz abzufachen. Der Ausgangspunkt und naturgemäß auch der Endpunkt sind aber dieselben wie bei der berechneten Kurve. Der Grund für diese Erscheinung ist folgender:

Im Anfang macht sich der träge Bestandteil der Mischung (Ammonsulfat) in der Richtung bemerkbar, daß eine Verzögerung der Detonationsübertragung eintritt. In der Nähe der günstigsten Zusammensetzung gleicht sich dieser Einfluß aus, während bei den Gemischen mit höherem Gehalt an Ammonsalpeter der Einfluß der leichteren Detonierbarkeit des Ammonsalpeters zur Geltung kommt; der Ammonsalpeter detoniert hier gewissermaßen aus dem Gemisch heraus, da die Ueber-

Tabelle IV.  
Empfindlichkeit gegen Schlag und Reibung.

Sprengstoff	Art der Einwirkung	Schlagempfindlichkeit unter einem Fallhammer																				Reibungs-empfindlichkeit	Bemerkungen			
		von 2 kg Gewicht						von 10 kg Gewicht						von 20 kg Gewicht												
		bei einer Fallhöhe von cm																								
		5	10	15	20	30	40	50	60	4	6	8	10	12	16	20	24	2	4	6	8			10	12	14
Ammonsalpeter	Keine					6	6	6				6	6	5	2	3				6	6	3	3	3	Keine Einwirkung	
	Zersetzung ohne deutlichen Knall													1	3	2						2	2	1		
	Deutlicher Knall														1	1						1	1	2		
70 Ammonsalpeter	Keine					6	6	6				6	6	6	3				6	6	4	3	1	dgl.		
30 Ammonsulfat	Zersetzung ohne deutlichen Knall														1						2	2	2			
	Deutlicher Knall														2							1	3			
60 Ammonsalpeter	Keine					6	6	6				6	6	5					6	6	5	5		dgl.		
40 Ammonsulfat	Zersetzung ohne deutlichen Knall														1											
	Deutlicher Knall																					1	1			
50 Ammonsalpeter	Keine					6	6	6				6	6	6					6	6	6	5		dgl.		
50 Ammonsulfat	Zersetzung ohne deutlichen Knall																						1			
	Deutlicher Knall																									

tragung durch den geringen Sulfatgehalt nicht mehr gehindert wird. Auffallenderweise ist die Detonationsgeschwindigkeit der Gemische mit hohem Gehalt an Ammonsalpeter sogar höher gefunden worden (2800 gegenüber 1900 m/s) als die des reinen Ammonsalpeters, worauf an anderer Stelle noch näher eingegangen werden soll (s. auch das II. Gutachten). Vielleicht spielt in diesem Teil der Kurve auch die exothermisch verlaufende Verbrennung der schwefligen Säure zu Schwefelsäureanhydrid bzw. die durch die Bildung von SO<sub>3</sub> an Stelle von SO<sub>2</sub> bedingte größere Wärmetönung eine Rolle.

Ganz ähnliche Erscheinungen zeigen sich beim Vergleich der berechneten und experimentell festgestellten Kurven der Chlorkalium- und Sandgemische, es kommt aber bei diesen Kurven der oben erwähnte Gegensatz der chemisch indifferenten Stoffe und im besonderen auch der physikalische Einfluß der Schmelzwärme des Chlorkaliums zum Ausdruck: Die Kurve des Chlorkaliums verläuft gegenüber der des Ammonsulfatsalpeters ganz flach, während die Kurve des ganz indifferenten Quarzsandes fast parallel der berechneten Kurve verläuft und nur im unteren Teil, bei den Gemischen mit ganz niedrigem Gehalt an Ammonsalpeter, dessen Detonierbarkeit hier durch den Fremdkörper stark beeinträchtigt wird, abfällt.

Die mehr oder weniger leichte Detonationsübertragung kann für die Beurteilung der Gemische auf Explodierbarkeit nicht von ausschlaggebender Bedeutung sein, weil die Uebertragung viel mehr von der physikalischen Beschaffenheit eines Stoffs und seiner Anordnung als von der chemischen Zusammensetzung abhängig ist. Kleine Aenderungen in der kubischen Dichte und der Verdämmung können gerade in der Zone des rascheren Anstiegs der Kurve erhebliche Verschiebungen hervorrufen, so daß also auch die praktischen Versuche die obige Schlußfolgerung bestätigen.

Die Ausführungen erklären aber auch zum größten Teil den Zwiespalt, der zwischen den Versuchsergebnissen der einzelnen Beobachter sich bemerkbar machte.

#### Schlußfolgerungen in bezug auf die Schuldfrage.

Immerhin konnten die obigen Schlußfolgerungen ohne eine weitgehende Erfahrung auf dem Gebiet der Sprengstoffe aus den praktischen Versuchen allein nicht gezogen werden. Die Sachverständigen der Reichsanstalt konnten sich daher auf die Anfrage des Untersuchungsrichters, „ob bei dem zur Feststellung der Explosionsfähigkeit in der Badischen Anilin- und Sodafabrik ausgeführten Versuchen die angewandten Methoden zu billigen oder zu beanstanden sind und ob die Ergebnisse dieser Versuche die Fabrik zu dem Glauben berechtigten, daß das Sprengen der fraglichen Salze keinerlei Gefahr in sich schließt“, in einem ausführlichen Gutachten vom 24. Juli 1922 im wesentlichen in folgender Weise äußern:

„Die in der Badischen Anilin- und Sodafabrik zur Feststellung der Explosionsfähigkeit der Düngesalze angewandten Prüfungsmethoden können an sich nicht beanstandet werden. Es handelt sich einerseits um die nach internationalem Uebereinkommen eingeführte Trauzlsche Bleiblockprobe zur Prüfung der Sprengwirkung von Sprengstoffen und andererseits um Sprengversuche mit größeren Mengen, bei denen den praktischen Verhältnissen entsprechend stärkere Initialzündungen (Sprengpatronen) angewandt wurden. Die systematisch durchgeführten Versuche zeigen auch, daß die Fabrik bestrebt war, sich ein klares Bild von der explosiven Natur der von ihr gefertigten Düngesalze zu machen.

„Sie sind als ausreichend zu bezeichnen für die Beantwortung der Frage, um die es sich zunächst gehandelt hat, nämlich, ob die Düngesalze lagersicher sind, also ohne Bedenken in bezug auf Explosionsgefahr in großen Mengen aufgespeichert und in den Verkehr gebracht werden können. In der Tat sind ja auch bei der Lagerung, beim Transport und der Verwendung der fraglichen Düngesalze, und selbst des explosiveren Ammonsalpeters, obwohl sie in außerordentlich großen Mengen in den Verkehr gebracht worden sind, Explosionen nie vorgekommen und bedenkliche Erscheinungen nie beobachtet worden. (Fortsetzung folgt.)

# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.

Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen, 21. Jahrgang, 1926, Nr. 3.

(Fortsetzung.)

„Eine direkte Veranlassung zur Ausführung von weiteren Versuchen lag zu jener Zeit (1916—18) nicht vor, denn der Ammonsulfatsalpeter, der von der Badischen Anilin- und Sodafabrik sprengtechnisch durchgeprüft war, fiel in der Fabrikation stets gleichmäßig an und hatte überdies bei den Sprengungen in den Silos nie Anlaß zu Bedenken gegeben.

„Kurz vor dem Unglück in Oppau ist nun aber das Fabrikationsverfahren geändert worden. Damit war die Möglichkeit gegeben, daß ein Produkt von anderer physikalischer Beschaffenheit entstand, und zwar, daß es lockerer und vielleicht auch in der Kristallgröße ungleichmäßiger anfiel. Daß ein Produkt von solcher andersartigen physikalischen Beschaffenheit auch ein abweichendes Verhalten in Bezug auf Explodierbarkeit gegenüber den üblichen Initialzündungen zeigen könnte, war den Chemikern der Badischen Anilin- und Sodafabrik offenbar nicht bekannt.

„Es entsteht nun die Frage, ob man der Fabrik einen Vorwurf daraus machen kann, daß sie sprengtechnische Versuche zur Klärung des Einflusses der physikalischen Beschaffenheit auf die Explosionsfähigkeit des Düngesalzes nicht gemacht hat. Hierzu muß gesagt werden, daß es nach unserer Ansicht auch in Fachkreisen nicht allgemein bekannt gewesen ist, daß die physikalische Beschaffenheit von wesentlichem Einfluß auf die Explosionsfähigkeit eines Stoffes sein kann. Infolgedessen wird bei der Prüfung unbekannter Stoffe auf Explosionsfähigkeit diesem Umstand nicht immer Rechnung getragen. Daraus erklärt es sich, daß die Chemiker der Fabrik, nachdem sie aus ihren systematischen Versuchen und Untersuchungen die Ueberzeugung gewonnen hatten, daß die Anwendung des Sprengverfahrens unbedenklich sei, und in dieser Auffassung noch dadurch bestärkt worden waren, daß mit der Zeit mehr als 20 000 Sprengschüsse in den Düngesalzen anstandslos abgegeben wurden, die Versuche und Untersuchungen nicht auf das neue, physikalisch veränderte Material ausgedehnt haben.

„Jedenfalls unterliegt es keinem Zweifel, daß die Fabrikleitung und die Chemiker der Fabrik, wie auch die Aufsichtsbehörden nach der Durchführung systematischer Sprengversuche und nach den guten Erfahrungen bei zahlreichen Sprengungen in dem Düngesalz in dem guten Glauben waren, daß sie es mit einem gegen die angewandten Initialzündungen unempfindlichen Stoff zu tun hätten und das Sprengen keine Gefahr in sich schließe.“

## Gutachten der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Es bleibt nunmehr nur übrig, auf die Gutachten der Chemisch-Technischen Reichsanstalt näher einzugehen. Es sind an Berichten folgende erstattet worden:

1. am 27. Sept. 1921: „Bericht über die Eigenschaften des Ammonsulfatsalpeters“;
2. am 4. Okt. 1921: „Vorläufiger Bericht“ an den Herrn Reichsarbeitsminister und den Herrn Reichsminister des Innern „über die Katastrophe in Oppau am 21. September 1921“;
3. am 30. November 1921: „(I.) Gutachten über die Ursache der Explosion in Oppau“ mit einem Bericht „über die sprengtechnische und chemische Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters“;<sup>30)</sup>

4. am 11. Jan. 1922: Bericht an den Untersuchungsrichter über die beschlagnahmten Perastralitpatronen und Sprengkapseln;
5. am 14. Jan. 1922: Bericht an den 34. Reichstagsausschuß über chemische Untersuchung der von Vertretern der Badischen Anilin- und Sodafabrik in Gegenwart des technischen Aufsichtsbeamten der chemischen Industrie und von Vertretern des Arbeiterrats der Badischen Anilin- und Sodafabrik entnommenen Salzproben;<sup>31)</sup>
6. am 19. Jan. 1922: Bericht an den 34. Reichstagsausschuß über das Ergebnis der chemischen Untersuchung von in den Zwischenlagern der Badischen Anilin- und Sodafabrik in Holzminden und Dormagen entnommenen Proben Ammonsulfatsalpeter;<sup>32)</sup>
7. am 6. Juni 1922: „Erörterung über die Möglichkeit von 2 nacheinander erfolgten Explosionen bei der Explosionskatastrophe in Oppau am 21. Sept. 1921“;<sup>33)</sup>
8. am 13. Juni 1922: „Stellungnahme der Chemisch-Technischen Reichsanstalt zu den über die Oppauer Explosionskatastrophe abgegebenen Gutachten“;<sup>34)</sup>
9. am 24. Juni 1922: „II. Gutachten über die Explosion in Oppau“ mit einem Bericht über „Fortsetzung der sprengtechnischen und chemischen Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters“;<sup>35)</sup>
10. am 24. Juli 1922: Gutachten für den Untersuchungsrichter über die Zweckmäßigkeit der Versuche in der Badischen Anilin- und Sodafabrik;
11. am 7. Okt. 1922: Ergänzung zu der „Fortsetzung der chemischen und sprengtechnischen Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters.“

Von diesen Berichten und Gutachten sind im vorstehenden in ihrem wesentlichen Inhalt bereits behandelt worden die unter 1, 2, 4, 8 und 10 erwähnten, so daß nicht weiter darauf eingegangen zu werden braucht. Die Berichte unter 5 und 6 bilden eine Ergänzung zu der im I. Gutachten (unter 3) behandelten chemischen Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters, während der unter 11 erwähnte eine solche zum II. Gutachten (unter 9) und zu der unter 7 erwähnten Erörterung über die beobachteten 2 Explosionen und die Art der Sprengtrichterbildung ist.

## Hauptgutachten.

Die unter 3 und 9 erwähnten Hauptgutachten sind mit den beiden Untersuchungsberichten im Wortlaut beigefügt.

Das überraschendste Ergebnis der im I. Gutachten behandelten chemischen Untersuchung war zweifellos der Umstand, daß in einigen der aus Silo 112 durch die Sachverständigen entnommenen Salzproben ein Gehalt bis zu 90 % Ammonnitrat gefunden wurde. Dieser Befund schien im ersten Augenblick die vielfach vertretene Ansicht zu bestätigen, daß als Ursache der Explosion das Vorhandensein von Nitratnestern, die entweder durch ein bei der Fabrikation vorgekommenes

<sup>31)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 19.

<sup>32)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 21.

<sup>33)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 28, S. 1.

<sup>34)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 28, S. 5.

<sup>35)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 28, S. 9.

<sup>30)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 14.

Versehen oder durch Entmischung des Salzes zustande gekommen wären, anzunehmen sei. Diese abweichende Zusammensetzung wurde aber nur bei der ersten Probeentnahme an einer örtlich begrenzten Stelle festgestellt, die andern Proben, insbesondere auch diejenigen, die aus den aus Silo 110 übrig gebliebenen Resten und aus nachträglichen Probeentnahmen (Bericht unter 5 und 6) stammten, wiesen nur kleine Schwankungen auf. Der Ammonitratgehalt ging dabei nicht über 55% hinaus. Auch die Badische Anilin- und Sodafabrik hat in einem Schreiben an den Untersuchungsrichter mitgeteilt, daß von 800 Proben, die von ihr aus Silo 112 entnommen worden seien, nur 2 abweichende Werte, nämlich bis zu 64% Ammonitrat ergeben hätten. Von der Reichsanstalt waren im ganzen 42 Proben untersucht worden, von denen 5 Proben mehr als 60% Ammonitrat ergaben. Von diesen 5 Proben waren aber, soweit sich dies nachträglich feststellen ließ, vielleicht drei, mindestens aber 2 an derselben Stelle entnommen worden, sodaß nur an 2, höchstens 3 Stellen ein höherer Gehalt an Ammonitrat gefunden wurde. Zur Erklärung der abweichenden Zusammensetzung gab die Badische Anilin- und Sodafabrik an,<sup>36)</sup> daß

1. die Entmischung beim nachträglichen Auswaschen durch den nach der Explosion auf das zerstörte Silo 112 niedergegangenen Regen zustande gekommen sei,
2. die Ammonitratnester aus den bei der Reinigung der Ammonitratkessel in der Mischsalzfabrik abfallenden Krusten herrührten, die aus dem Bau 111 in das Silo 112 gebracht worden seien,
3. der in der Staubkammer des Spritzkastens im Bau 111 abgesetzte Staub, der besonders viel Ammonitrat enthalten habe, gleichfalls unmittelbar in das Silo geschafft worden sei,
4. das Ammonitrat durch die Wirkung der Explosion aus dem Bau 111 in das Silo 112 hineingeschleudert worden sei.

Von diesen Erklärungsversuchen können nur die unter 2 und 3 genannten ernstlich in Frage kommen, und zwar ist der erste Erklärungsversuch deshalb unwahrscheinlich, weil nirgends ein höherer Ammonsulfatgehalt gefunden wurde, der beim Auswaschen in der oberen Schicht des Salzhauens hätte entstehen müssen, der letzte aus dem Grunde, weil eine Ablagerung in diesem Fall nur an der Oberfläche der Haufen stattgefunden hätte. Die Salzproben waren aber nicht unmittelbar an der Oberfläche, sondern aus etwas tieferen Schichten entnommen worden. Auch hier soll jedoch ausdrücklich hervorgehoben werden, daß diese abweichende Zusammensetzung des Salzes nur an Proben festgestellt wurde, die aus Silo 112 entnommen waren, nicht aber an Proben, die nachgewiesenermaßen aus Bau 110 stammten. (Vgl. darüber die Angaben im I. Gutachten.)

#### Detonierbarkeit von ganz losem Salz.

Im Anschluß an die Ausführungen im „II. Gutachten vom 24. Juni 1922, Fortsetzung der sprengtechnischen und chemischen Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters“, sind in der Chemisch-Technischen Reichsanstalt noch einige sprengtechnische Versuche ausgeführt worden, um den Einfluß der kubischen Dichte und der Stärke des Einschlusses auf die Explodierbarkeit des Ammonsulfatsalpeters näher zu beleuchten.<sup>37)</sup> Die Versuche wurden durch ähnliche von Professor Poppenberg ver-

anlaßt, der gefunden hatte, daß bei ganz loser Schüttung eine Explosion des Salzes eintritt. Die Ergebnisse sind in der anliegenden Tabelle V und in den dazu gehörigen Abbildungen 6 u. 7 veranschaulicht. Es ergibt sich daraus,

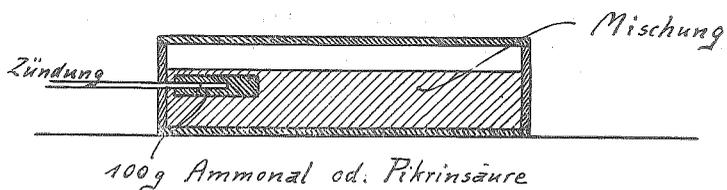


Fig. 6.

daß in sehr widerstandsfähigen Eisenbehältern bei einer ganz losen Schüttung, das ist bei einer Ladedichte von 0,75 auch das normale Salz 50/50 mit Hilfe einer Zündladung von 100 g Sprengstoff zu mehr oder weniger weitgehendem Zerfall in gasförmige Stoffe, also zur Explosion gebracht werden kann. Es machte hierbei keinen Unterschied, ob als Zündladung ein aluminiumhaltiger Ammonsalpetersprengstoff (Ammonal) oder Pikrinsäure verwendet wurde.

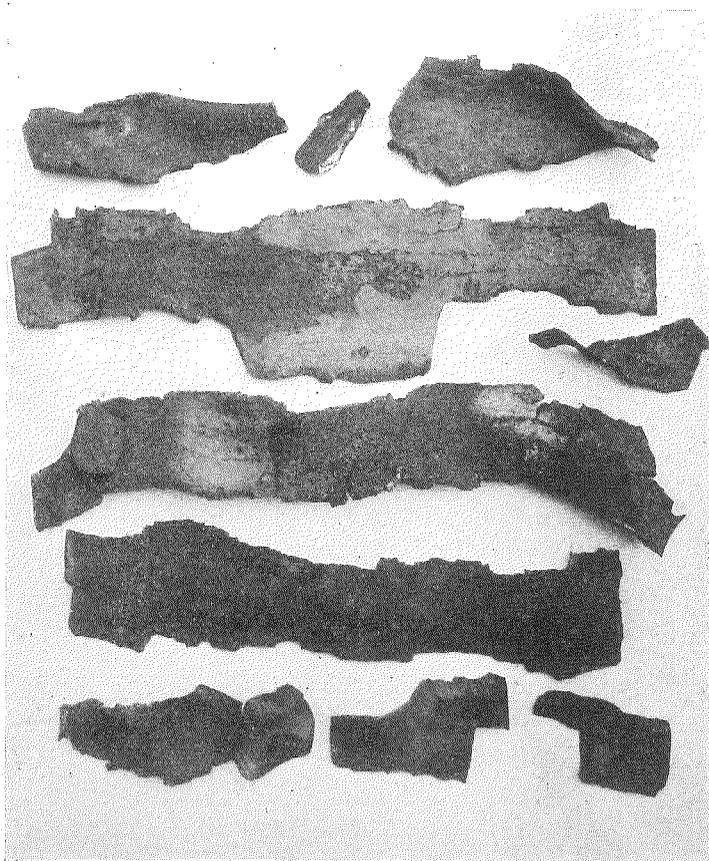


Fig. 7.

Offenbar ist die Ursache der Explosion in diesen Fällen darauf zurückzuführen, daß durch die von der Zündladung erzeugte Druckwelle das Salz aufgewirbelt und in diesem Zustand leichter zur Zersetzung gebracht wird.

Aus den den beiden Gutachten zugrunde liegenden experimentellen Untersuchungen geht somit mit aller Deutlichkeit hervor, daß unter gewissen günstigen physikalischen und sprengtechnischen Bedingungen dem Ammonsulfatsalpeter die Eigenschaft der Explodierbarkeit nicht abgesprochen werden kann. Das Zustandekommen dieser Bedingungen ist aber ein rein zufälliges, was sich daraus ergibt, daß vor der Explosion eine große Anzahl Sprengungen ausgeführt worden war, die keine bedenklichen Erscheinungen im Gefolge hatten.

<sup>36)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 20.

<sup>37)</sup> Vgl. „Ergänzung zu der Fortsetzung der chemischen und sprengtechnischen Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters“ vom 7. Okt. 1922 (Ziffer 11 der obigen Zusammenstellung) Reichstagsdrucksache Nr. 32.

Tabelle V.  
Sprengversuche mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat-Gemischen in schmiedeeisernen Büchsen von 10 cm Durchmesser, 37 cm Höhe und 4,5 mm Wandstärke.

	Zusammensetzung des Salzes		Gewicht der Ladung	Anordnung der Büchse	Dichte	Zündung	Zerlegung des eisernen Behälters	Wirkung auf die Unterlage (Bleiplatte)	Bemerkung																																																										
	% NH <sub>4</sub> NO <sub>3</sub>	% (NH <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>																																																																	
1	60	40	2300 g	Büchse aufrecht stehend	0,9	100 g Ammonal mit 30% Trinitrotoluol gepreßt auf Dichte 1,5	Obere Hälfte in vier Streifen aufgelappt	Lediglich Abdruck des Zylinders	Der größte Teil des Salzes im Behälter vorgefunden																																																										
2	60	40	2300 g		0,9					3	60	40	2460 g	0,9		In gezackte Streifen zerlegt	3 cm tiefe, 15 cm breite Aushöhlung	Salz vergast	4	50	50	2460 g	0,9	100 g Ammonal gestopft. Dichte 1,0	Bis zu $\frac{3}{4}$ der Höhe in breite Stücke aufgelappt	Kein Eindruck	Salz zum Teil noch vorhanden	5	50	50	2160 g	0,75		In breite, gezackte Stücke vollständig zerlegt	Annähernd 2 cm tiefer, cm breiter Eindruck	Salz vergast	a	60	40	1600 g	Büchse liegend	Kubische Dichte der Schüttung 0,9, darüber Hohlraum	100 g Ammonal gestopft. Dichte 1,0	In zackige Stücke zerlegt	In der untergelegten Eisenplatte kein sichtbarer Eindruck	Salz vergast  S. Abb. 8	b	50	50	1500 g	Kubische Dichte der Schüttung 0,75, darüber Hohlraum	In der ganzen Länge aufgerissen. Der untere Teil nur aufgelappt	Weißer Wolke. Salz zum Teil vergast und verstreut	c	50	50	1800 g		100 g gepreßte Pikrinsäure				d	40	60	1700 g	Nicht ermittelt, sonst wie vor
3	60	40	2460 g		0,9		In gezackte Streifen zerlegt	3 cm tiefe, 15 cm breite Aushöhlung	Salz vergast																																																										
4	50	50	2460 g		0,9	100 g Ammonal gestopft. Dichte 1,0	Bis zu $\frac{3}{4}$ der Höhe in breite Stücke aufgelappt	Kein Eindruck	Salz zum Teil noch vorhanden																																																										
5	50	50	2160 g		0,75		In breite, gezackte Stücke vollständig zerlegt	Annähernd 2 cm tiefer, cm breiter Eindruck	Salz vergast																																																										
a	60	40	1600 g	Büchse liegend	Kubische Dichte der Schüttung 0,9, darüber Hohlraum	100 g Ammonal gestopft. Dichte 1,0	In zackige Stücke zerlegt	In der untergelegten Eisenplatte kein sichtbarer Eindruck	Salz vergast  S. Abb. 8																																																										
b	50	50	1500 g		Kubische Dichte der Schüttung 0,75, darüber Hohlraum					In der ganzen Länge aufgerissen. Der untere Teil nur aufgelappt	Weißer Wolke. Salz zum Teil vergast und verstreut																																																								
c	50	50	1800 g			100 g gepreßte Pikrinsäure																																																													
d	40	60	1700 g		Nicht ermittelt, sonst wie vor	100 g Ammonal gestopft. Dichte 1,0	Bis zur Hälfte aufgelappt. Nur der obere Teil ist zerlegt		Salz zum Teil vergast, zum Teil wieder gefunden																																																										

Ursache der zwei getrennt wahrgenommenen Explosionen.

Unter den Erörterungen der Sachverständigen nahm die Behandlung der Frage nach der Entstehung der beiden nacheinander erfolgten und von den meisten Augen- und Ohrenzeugen beobachteten Explosionen eine besondere Stellung ein. Der Beantwortung dieser Frage wurde allgemein eine große Bedeutung beigemessen, weil sie zur Aufklärung der Ursache wesentlich beitragen konnte. Es hat sich daher der Referent auf Grund seiner langjährigen bei Versuchssprengungen und bei Explosionen von Sprengstoffabriken und -lagern gemachten Erfahrungen dieser Frage besonders angenommen und sich darüber in einem Gutachten der Chemisch-technischen Reichsanstalt folgendermaßen geäußert<sup>88)</sup>:

„Die von den Sachverständigen geäußerten Ansichten weichen stark voneinander ab. Die Chemisch-technische

Reichsanstalt hielt es für erforderlich, vor ihrer endgültigen Stellungnahme zu dieser Frage, der von der Badischen Anilin- und Sodafabrik große Bedeutung beigelegt wird, die gerichtlichen Zeugenaussagen und vor allem die Auswertung der in den Erdbebenwarten aufgenommenen Seismogramme abzuwarten, da nur hierdurch auch der objektive Beweis für das Vorliegen von zwei Explosionen erbracht und festgestellt werden konnte, welcher Zeitraum zwischen beiden Explosionen verstrichen ist.

„Nachdem nun von der Zentralstelle der Erdbebenwarten in Jena eine Äußerung darüber vorliegt, daß nach den Seismogrammen in der Tat zwei etwa 4 Sekunden auseinanderliegende Explosionen stattgefunden haben, und die Zeugenaussagen bekannt sind, kann auch der Erörterung der Frage über die Ursache der beiden Explosionen nähergetreten werden.

„Nach den sinnlichen Wahrnehmungen der Personen, die sich zur fraglichen Zeit in der näheren und weiteren Umgebung der Explosionsstelle befunden haben, soll zwischen der ersten und zweiten Explosion ein Zeitraum von 8 Sekunden gelegen haben. Diese Schätzung ist nicht

<sup>88)</sup> „Erörterung über die Möglichkeit von zwei nacheinander erfolgten Explosionen bei der Explosionskatastrophe in Oppau am 21. Sept. 1921“ vom 6. Juni 1922 (Ziffer 7 der obigen Zusammenstellung und Reichstagsdrucksache Nr. 28, S. 1). Vgl. ferner das Protokoll der 10. Sitzung des 34. Ausschusses vom 29. Sept. 1922.

gerade als schlecht zu bezeichnen, da man erfahrungsgemäß bei der Beurteilung derartiger Zeitunterschiede aus der Erinnerung leicht Täuschungen von mehreren Sekunden unterworfen ist.

„Die von den verschiedenen Seiten gegebenen Erklärungen und Vermutungen über die Entstehung der zwei, mehrere Sekunden auseinanderliegenden Explosionen sind nun folgende:

1. Der Inhalt des Silos 110 sei — um den allgemeinsten Fall vorwegzunehmen — infolge der räumlichen Ausdehnung des Düngesalzes in zwei Abständen zur Explosion gekommen.
2. Es sei durch irgendeine Ursache der große Kraftgasbehälter explodiert, und es habe die Explosion dieses Gasometers als Initialzündung des Siloinhalts gewirkt.
3. Die durch einen Sprengschuß ausgelöste erste Explosion habe eine Zerstörung der Sammelbehälter der Gasfabrik bewirkt und das ausströmende Gas habe nach seiner Vermischung mit Luft zu einer Knallgasexplosion Veranlassung gegeben.
4. Eine erste Teilexplosion im Silo habe eine Zersetzung des nicht explodierten Teils des Ammonsulfatsalpeters in Gase herbeigeführt, die entweder als solche oder nach ihrer Vermischung mit Luft an zweiter Stelle zur Explosion gekommen seien und unter Umständen wiederum als Initialzündung für eine weitere Menge von Ammonsulfatsalpeter gewirkt hätten.
5. Durch eine erste Teilexplosion sei der Rest des Salzes stark erhitzt worden und in Brand geraten, und es sei dann durch die hineingestürzten Holzteile des Daches ein Gemisch entstanden, das nach einiger Zeit zur Explosion gekommen sei.
6. Beide Explosionen hätten — wie aus der Form des Sprengkraters hervorgeht, der eine Einschnürung in der Längsrichtung zeigt und somit aus zwei sich teilweise überschneidenden Sprengkratern entstanden sei —, wie unter 1. erwähnt, im Silo 110 stattgefunden; es sei aber die erste, kleinere Explosion an der der Fabrik abgekehrten schmälere Stelle des Kraters, d. h. an der Südseite des Silos, die zweite, stärkere, an der der Fabrik zugekehrten Nordseite aufgetreten, woraus hervorgehe, daß die Explosion nicht durch einen der an der Nordseite angesetzten Sprengschüsse eingeleitet worden, sondern einer anderen Ursache zuzuschreiben sei.
7. Der Eindruck von zwei Explosionen sei subjektiv und nur auf die Sinneswahrnehmungen zurückzuführen, die durch die verschiedene Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Druckwelle einer Explosion im Erdboden und in der Luft hervorgerufen worden seien.
8. Die beiden Explosionen seien die Folgen von zwei getrennten Sprengschüssen, die von dem Sprengmeister gesetzt waren und nacheinander zur Entzündung kamen, dabei habe der erste Sprengschuß eine kleinere, örtlich begrenzte Explosion im Salzlager hervorgerufen, die ihrerseits das übriggebliebene Salz in einen Zustand versetzt habe, der für die Entstehung einer größeren Explosion günstig war, so daß ein zweiter, später losgehender Sprengschuß eine wesentlich größere Wirkung als der erste erzeugen konnte.

„Von diesen Erklärungsversuchen scheidet nach Ansicht der Chemisch-technischen Reichsanstalt diejenige aus, in denen angenommen wird, daß die aus irgendeinem Grunde erfolgte erste Explosion als Initialzündung im sprengtechnischen Sinne für die zweite (Hauptexplosion) gewirkt hat; denn es ist ganz ausgeschlossen, daß dann ein sinnlich wahrnehmbarer Zeitraum, der noch

dazu mehrere Sekunden betragen hat, zwischen den beiden Explosionen des Salzlagers liegt. Die Explosionsübertragung würde in diesem Fall, auch wenn es sich um zwei durch einen Zwischenraum von mehreren Metern getrennte Salzhaufen gehandelt hätte, im Bruchteil einer Sekunde erfolgt sein. Es scheidet somit Punkt 1, 2 und zum Teil auch 4 und 6 aus der Diskussion aus.

„Auch der Gedanke, daß eine Gasexplosion in irgendwelcher Weise als Uebertragungszündung für den Siloinhalt gewirkt haben könnte, ist unhaltbar, da ein Knallgasgemisch viel zu wenig brisant ist, um einen Sprengstoff, und vollends einen solchen von so träger Natur, wie sie dem Ammonsalpeter und seinen Mischungen mit anderen Stoffen zukommt, zur Explosion zu bringen. Die Brisanz des Wasserstoffknallgases beträgt schätzungsweise bei weitem noch nicht den tausendsten Teil derjenigen eines der am wenigsten brisanten Sprengstoffe. Sie ist noch ganz bedeutend geringer bei dem in Frage kommenden Wassergasluftgemisch.

„Eine Initialzündung durch Knallgas kommt im übrigen nur bei den direkt explodierbaren Sprengstoffen, d. h. solchen in Frage, die sich durch Funken oder Flamme entzünden lassen, wie Schwarzpulver, Knallquecksilber, Nitroglyzerin u. a.

„Aus diesem Grunde scheidet wiederum Punkt 2 und 4 aus der Betrachtung aus.

„Was weiterhin die Ansicht betrifft, daß die zweite Explosion einer Knallgasexplosion, sei es im Silo selbst, sei es an irgendwelcher Stelle im Luftraum, über der Fabrik, zuzuschreiben sei, so widerspricht dem die allgemein bekundete Tatsache, daß die zweite Explosion die weitaus stärkere war. Es ist aber, wie bereits erwähnt, nicht nur die Brisanz, sondern auch die Energieentwicklung einer Knallgasluftexplosion viel zureichend, um die beobachteten Gebäudeschäden hervorzurufen, die die zweite Explosion in der Tat zur Folge gehabt hat. Auch der Leiter der Erdbebenzentrale in Jena, Professor Hecker, kommt in einem an den Aufsichtsbeamten der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Ingenieur Stöpel, gerichteten Schreiben zu dem Schluß, daß die Energieübertragung einer Knallgasexplosion auf die Erde nicht ausreicht, um Erdbewegungen auszulösen, wie sie für die zweite Explosion durch weit entfernte Seismographen aufgezeichnet worden sind.

„Die Möglichkeit einer Gasexplosion im freien Luftraum außerhalb des explodierten Silos wird auch dadurch hinfällig, daß die spezifische Wirkung einer solchen, d. h. ein zweites Explosionszentrum außerhalb des Silos, oder eine Brandwirkung an den Gasometeranstrichen und sonstigen Gebäudeteilen nicht beobachtet werden konnte.

„Es soll dabei nicht bestritten werden, daß kleine Gasexplosionen sekundär an irgendwelchen Stellen, im unmittelbaren Anschluß an die Hauptexplosion stattgefunden haben, eine irgendwie nennenswerte Wirkung kann ihnen aber nicht zugeschrieben werden, sie sind vielmehr durch die Hauptexplosion vollständig überdeckt worden.

„Auch die Fernwirkung stimmt mit der örtlichen im Silo selbst vollkommen überein, so daß eine Explosion außerhalb des Silos mit starker Wirkung nicht stattgefunden haben kann.

„Somit würden Punkt 3 und wiederum Punkt 4 ausscheiden.

„Weiter hält auch Punkt 5 der näheren Prüfung nicht stand, da es nicht möglich erscheint, daß die Holzteile des Daches so fein zerteilt wurden, daß sie mit dem Ammonsalpeter ein explosives Gemisch bilden konnten. Sie würden nur lokale Brände verursacht haben. Diese Brände hätten aber in der kurzen Zeit von 4 Sekunden nicht zu einer weiteren Explosion des Düngesalzes infolge von Selbsterhitzung führen können.

(Fortsetzung folgt.)

# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.  
Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen,  
21. Jahrgang, 1926, Nr. 4.

(Fortsetzung.)

„Nachdem somit die ersten fünf Punkte in ihrem ganzen Umfang nicht stichhaltig sind, würde es sich darum handeln, festzustellen, inwieweit die in Ziffer 6) von Direktor Guckel ausgesprochene Vermutung in Frage kommen könnte. Es ist hierüber zu sagen, daß die besondere Form des Sprengkraters auch auf andere Weise erklärt werden kann als durch die Annahme, daß er aus zwei sich teilweise überschneidenden Einzelkratern entstanden sei, nämlich dadurch, daß die Hauptmenge des Salzes auf die beiden Enden des Silos verteilt, daß der Salzhauten im mittleren Teil bereits stark abgebaut und niedrig war und daß sich an dieser Stelle der Hohlraum des sogenannten Bunkers befand. Es mußte somit hier eine schwächere Wirkung als an den beiden Enden auftreten. Schließlich ist es auch deshalb nicht denkbar, daß die beiden Krater nacheinander entstanden sind, weil die zweite größere Explosion den ersten Teilkrater bis zur Unkenntlichkeit deformiert haben würde.

„Im übrigen läßt sich aus der von der Badischen Anilin- und Sodafabrik vorgelegten Zeichnung nicht mit Sicherheit der Schluß ziehen, daß der Sprengkrater wirklich aus zwei sich überschneidenden Einzelkratern entstanden ist, namentlich wenn man bedenkt, daß nachträglich Erdverschiebungen an den Kraterwänden eingetreten sind, und daß der Erdboden, auf dem das Silo stand, zum größten Teil und zwar nicht gleichmäßig aufgefüllt war. Das war gerade an der Stelle der Fall, wo sich die größere Ausbuchtung des Kraters befindet, während andererseits das Südende des Kraters, das von der Fabrik abgekehrt liegt, deshalb weniger ausgedehnt ist, weil hier nachweislich eine große Menge des Salzes nicht mitexplodiert ist. Es geht dies auch aus den Ermittlungen des Bayerischen Untersuchungsausschusses hervor. In dem Bericht dieses Ausschusses vom 3. Januar 1922 wird nämlich im Schlußsatz angegeben, daß an der Südwestseite des Silos (an der Stelle des sogen. kleineren Kraters) ungefähr 3000 t altes stark verhärtetes Salz, an der Nordseite nur 300 t davon gelegen hätten. Der Rest hätte aus frisch gespritztem, leichter explodierbarem Salz bestanden.

„Außerdem widerspricht der obigen Theorie die bereits erörterte Tatsache, daß die Explosion des Silos in zwei zeitlich getrennten Abständen erfolgt ist.

„Die in Ziffer 7) ausgesprochene Vermutung würde wohl eine Erklärung für zwei getrennt wahrgenommene Erschütterungen, nicht aber für zwei in der freien Luft hörbare starke Detonationsknalle geben. Auch sie kommt daher nicht in Betracht.

„Es bleibt somit die in Ziffer 8) ausgesprochene Ansicht als die wahrscheinlichste übrig. Sie beruht nicht nur auf reinen Vermutungen, sondern auch auf der vielfach z. B. bei Explosionen von Munitionslagern gemachten Erfahrung, daß selbst mit Initialzündungen versehene Geschosse durch den heftigen Stoß einer Explosion nicht unmittelbar zur Explosion kommen, sondern weggeschleudert werden und erst beim Aufschlag an entfernter Stelle nachträglich detonieren. Wenn z. B. bei zwei in einiger Entfernung voneinander gesetzten Sprengschüssen, die den zweiten Sprengschuß umgebende Salzschiebt beim Losgehen des ersten Schusses nicht mitexplodiert, so kann sie dem einfachen mechanischen Stoß der ersten Explosion sehr wohl soviel Widerstand bieten, um den Sprengschuß vor der unmittelbaren Explosion zu schützen, und man kann sich dann wohl denken, daß der zweite Sprengschuß unabhängig vom ersten nach einiger Zeit zur Zündung kommt. Vorausgesetzt muß bei dieser Erklärung allerdings werden, daß die

erste Explosion nur sehr beschränkt und rein örtlich war, daß sie sich also nur auf wenige Meter im Salzhauten erstreckt hat. Unterstützt wird diese Auffassung durch die Aussagen des Sprengtechnikers Gentner, der angibt, daß in der Regel sechs bis acht Schüsse gesetzt wurden, die 80—120 cm auseinander lagen. Die ganze lineare Ausdehnung der Sprengschußreihe umfaßte demnach nicht mehr als etwa 8—10 m, während die Zündung der Schüsse so bemessen war, daß zwischen dem ersten und letzten Schuß ein Zeitraum von einer Minute lag, da das Anzünden der acht Zündschnüre etwa eine Minute in Anspruch nahm und die Zündschnurlänge auf eine Brennzeit von 2 Minuten (= 120 cm) bemessen war. Es entstand also, wenn man die obige Vermutung als richtig annimmt, die theoretische Möglichkeit, daß zwischen der ersten und zweiten Explosion nicht nur ein Zwischenraum von vier Sekunden, sondern sogar ein solcher von einer Minute auftrat.“

Als Ergänzung zu diesem Gutachten wurde später<sup>39)</sup> noch folgendes ausgeführt:

„In dem Gutachten der Chemisch-Technischen Reichsanstalt vom 6. 6. 22 ist versucht worden, unter Zugrundlegung der von anderer Seite ausgesprochenen Vermutungen eine Erklärung für die zwei bei der Explosionskatastrophe in Oppau nacheinander erfolgten Explosionen zu geben.

„Inzwischen sind einige neue Umstände für die Beurteilung dieser Frage hinzugekommen, so daß es zweckmäßig erscheint, nochmals darauf einzugehen.

„So ist jetzt die von Prof. Hecker in Jena verfaßte Schrift über „Die Explosionskatastrophe in Oppau am 21. September 1921 nach den Aufzeichnungen der Erdbebenwarten“ erschienen<sup>40)</sup>, worin auch die Frage der beiden Explosionen behandelt wird.

„Ferner hat Baurat Dr. ing Kesselheim in Frankfurt auf Veranlassung von Prof. Wöhler<sup>41)</sup> in derselben Sache ein Gutachten abgegeben. Und schließlich liegt auch noch eine an den Herrn Vorsitzenden des 34. Reichstagsausschusses gerichtete Äußerung über den Gegenstand von Prof. Wöhler selbst vor.

„Während Prof. Wöhler die Beantwortung der Frage unentschieden läßt, dabei aber immerhin der Ansicht von Direktor Guckel zuneigt, treten die beiden Erstgenannten unmittelbar für diese Ansicht ein. Sie sind also der Meinung, daß es sich in der Tat um 2 Sprengtrichter handele, von denen der kleinere südwestlich gelegene zuerst, der andere größere 4 Sekunden später entstanden sei.

„Schon vor Kenntnis dieser Äußerungen sind, um die Frage auch vom experimentellen Standpunkt aus zu klären, von der Reichsanstalt einige Sprengversuche in kleinem Maßstabe auf dem Tegeler Schießplatz ausgeführt worden. Ueber diese Versuche hat der Referent bereits in der Sitzung der Sachverständigen des Oppauer Untersuchungsausschusses am 1. August in Darmstadt kurz berichtet. Er hat dabei unter Bezugnahme auf das Gutachten von Baurat Kesselheim folgendes ausgeführt:

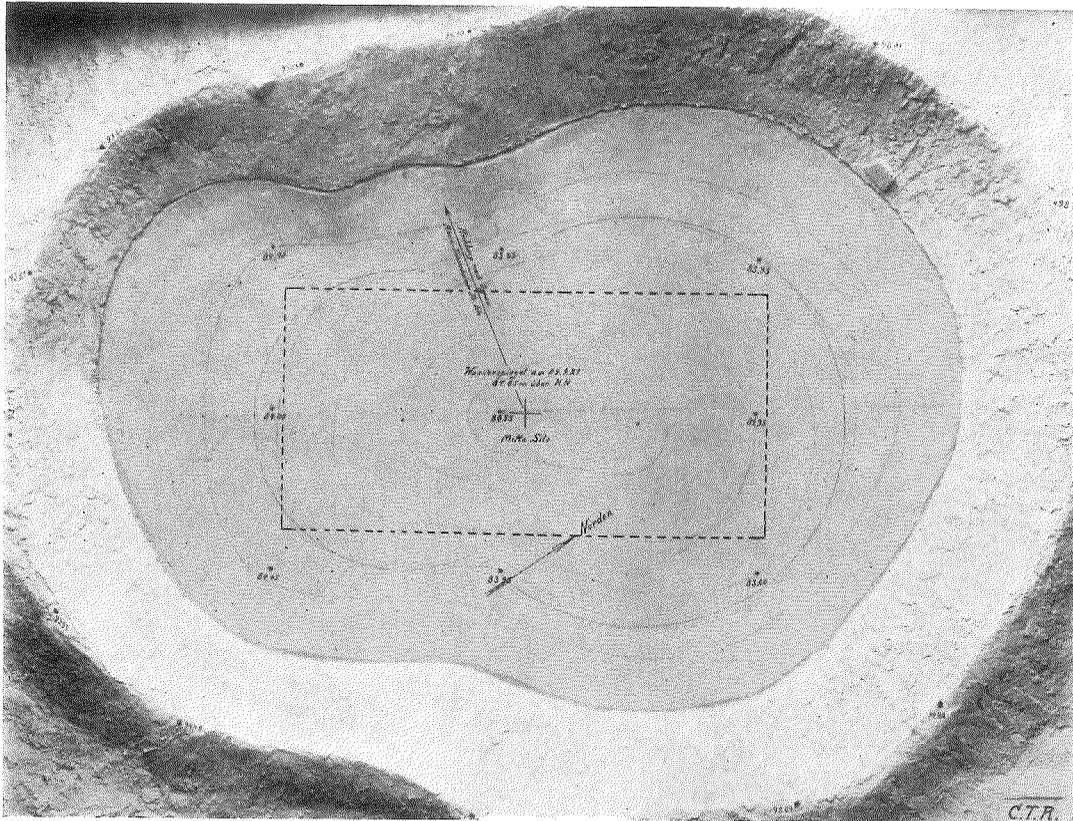
„Es könne zunächst dahin gestellt bleiben, ob wirklich zwei sich überschneidende Sprengtrichter vorhanden gewesen seien, auf keinen Fall brauche man aber annehmen, daß die äußere Form des Sprengtrichters sich nur durch 2 nacheinander erfolgte Explosionen erklären

<sup>39)</sup> Bericht an den Herrn Vorsitzenden des 34. Reichstagsausschusses vom 21. August 1922.

<sup>40)</sup> Veröffentlichungen der Hauptstation für Erdbebenforschung in Jena 1922 Heft 2, Verl. von Gustav Fischer, Jena.

<sup>41)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 27.

Fig. 8.



Gipsmodell des Sprengtrichters.

lasse. Er stehe vielmehr auf dem Standpunkt, daß in erster Linie die Massenverteilung der wirklich explodierten Sprengstoffmenge, die allem Anschein nach insgesamt nur den 10. Teil der im Silo vorhanden gewesenen Menge betragen hätte, die Ursache der besonderen Form gewesen sei.

„Die Ausdehnung der 2 Sprengtrichter müßte sich nicht nur in der Richtung nach den Seiten, sondern auch nach der Tiefe bemerkbar machen, es müßten 2 getrennte, im Zentrum der beiden mutmaßlichen Sprengtrichter gelegene tiefere Stellen vorhanden sein, was weder aus den Zeichnungen, noch aus dem in der Chemisch-technischen Reichsanstalt hergestellten Gipsmodell (s. die Abb. 8—10) ersichtlich sei. Ebensowenig sprächen die Versuchssprengungen, die in kleinem Maßstab auf dem Tegeler Schießplatz von der Reichsanstalt vorgenommen worden seien, einseitig für die von Direktor Guckel vertretene Ansicht. Auch die Erdaufschüttung um den Silo herum, der mit seiner Bodenfläche auf gewachsenem Erdboden stand und auf der nördlichen Hälfte von einer 4 m hohen Erdaufschüttung umgeben war, sei von Einfluß auf die Form gewesen.

„Das gleiche sei aus dem Umstand zu schließen, daß die Explosion viel mehr nach der Seite als in die Tiefe gewirkt habe.

„Bei der Fortsetzung der Besprechung in Ludwigshafen und Oppau führte der Referent an Hand der genau ausgeführten Profilzeichnung und des von der Badischen Anilin- und Sodafabrik hergestellten Gipsmodells aus, daß der größeren Ausbuchtung des Krater wohl ein tiefster Punkt entspreche, daß aber ein solcher im Mittelpunkt der kleineren Ausbuchtung nicht erkennbar sei. Der Mittelpunkt dieser Ausbuchtung liege außerdem am äußersten (südwestlichen) Rande des Silos und nicht, wo er eigentlich liegen müßte, in der Mitte der südwestlichen Hälfte des Salzhafens, was eine sprengtechnische Unmöglichkeit sei.

„Er sei daher der Meinung, daß zuerst, veranlaßt durch die Sprengung von Humpe, eine Explosion

von vielleicht 60—80 t des Salzes an einer beschränkten Stelle in der Mitte des Salzhafens stattgefunden habe, daß diese Explosion einen weiteren umliegenden großen Teil des Salzhafens in einen Zustand versetzt habe, der die Explodierbarkeit begünstigte, und daß die Zersetzung dieses Teils unter dem Einfluß der großen Hitzeentwicklung der ersten Explosion so beschleunigt worden sei, daß auch sie in kurzer Zeit zu einer Explosion und zwar in größerem Umfang führen mußte. Man brauche also nicht unbedingt anzunehmen, daß die zweite Explosion durch einen nachträglich losgehenden Sprengschuß verursacht worden sei.

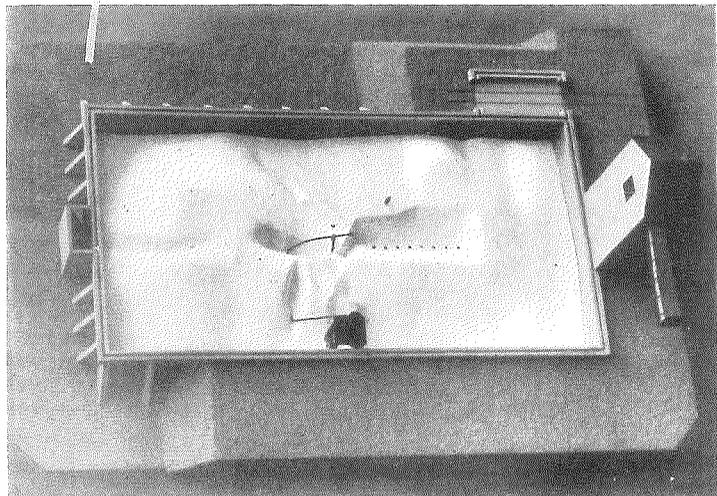
„Diese Annahme müßte im übrigen auch bei der Theorie von Direktor Guckel gemacht werden, es komme hier aber noch hinzu, daß der Eintritt der ersten Explosion dann ungeklärt bleibe. Die Tatsache, daß der Zeitpunkt der ersten Explosion nachweislich mit dem Augenblick der Sprengung durch den Sprengmeister

Humpe zusammenfalle, spreche aber dafür, daß diese erste Explosion von dem Sprengschuß ausgegangen sei.“

„Diesen Ausführungen ist nun noch folgendes hinzuzufügen:

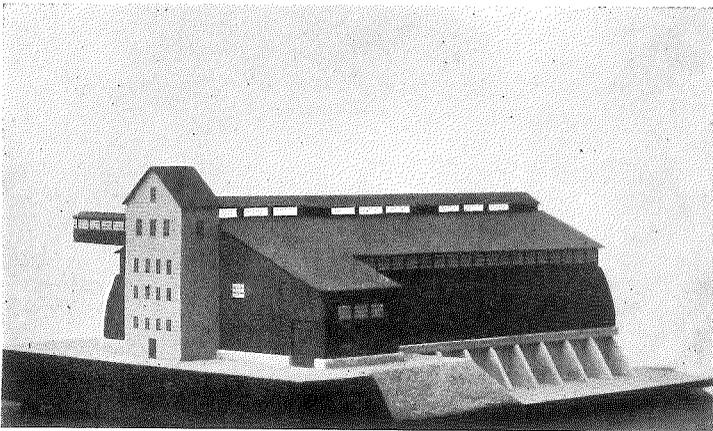
„Nach Professor Hecker müßten die bei den beiden Explosionen entwickelten Energiemengen im Verhältnis von 1:4 bis 5 gestanden haben und es müßte daher auch diesem Verhältnis der Inhalt der ausgeworfenen beiden Sprengkrater entsprechen. (Vergl. darüber weiter unten.) Nach der Berechnung kommt man aber hier zu einem Verhältnis: von 1:2,5, da der Inhalt der größeren Ausbuchtung (ohne aufgeworfene Ränder) etwa 8500, der der kleineren etwa 3400 cbm beträgt. Es ist somit auch hieraus zu schließen, daß die beiden Ausbuchtungen nicht durch die wahrgenommenen 2 Explosionen getrennt von einander erzeugt sein können, sondern eine andere Ursache haben müssen.

Fig. 9.



Gipsmodell des Salzhafens vor der Explosion.

Fig. 10.

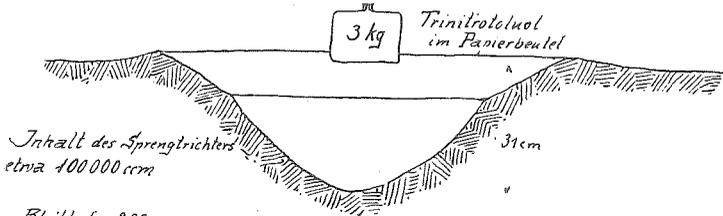


Modell des Silos vor der Explosion.

(Der vom Anbau ausgehende Laufsteg für das Transporthaus ist ein Stockwerk zu hoch angebracht.)

„Ferner spricht die Tatsache, daß die aus den Photographien ersichtliche am wesentlichen Ende in den Trichter einspringende Nase in Wirklichkeit nicht mit dem Schnittpunkt der beiden angeblichen Trichterränder zusammenfällt, nicht zu Gunsten der Theorie von Direktor Guckel.

Fig. 11.



Inhalt des Sprengtrichters  
etwa 100000 ccm

Bleibloch 285 cm  
D. G. 4500 m/s  
Dichte 0,93

Brisanzwert 104

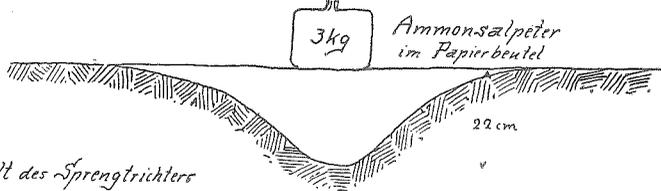
„Was nun die erwähnten Versuche der Reichsanstalt betrifft, so ist es bekannt, daß bei Sprengungen in der Erde d. h. bei eigentlichen Minensprengungen, der Inhalt des Trichters einseitig von dem Energieinhalt abhängig ist, während dagegen jetzt festgestellt wurde, daß bei solchen über der Erde, also ohne Verdämmung, die Brisanz des Sprengstoffs in erster Linie maßgebend ist: Es erzeugen nämlich (s. Abbildung 11 und 12) frei auf der Erde aufgelegt

3 kg Trinitrotoluol einen Trichter von etwa 100 L.

3 „ Ammonsalpeter „ „ „ 33,5 L.

„Die Energie der beiden Sprengstoffe verhält sich aber wie die Bleiblockausbauchungen also wie 285:200 oder 1,4:1, die Brisanz etwa wie 4:1.

Fig. 12.



Inhalt des Sprengtrichters  
etwa 33500 ccm

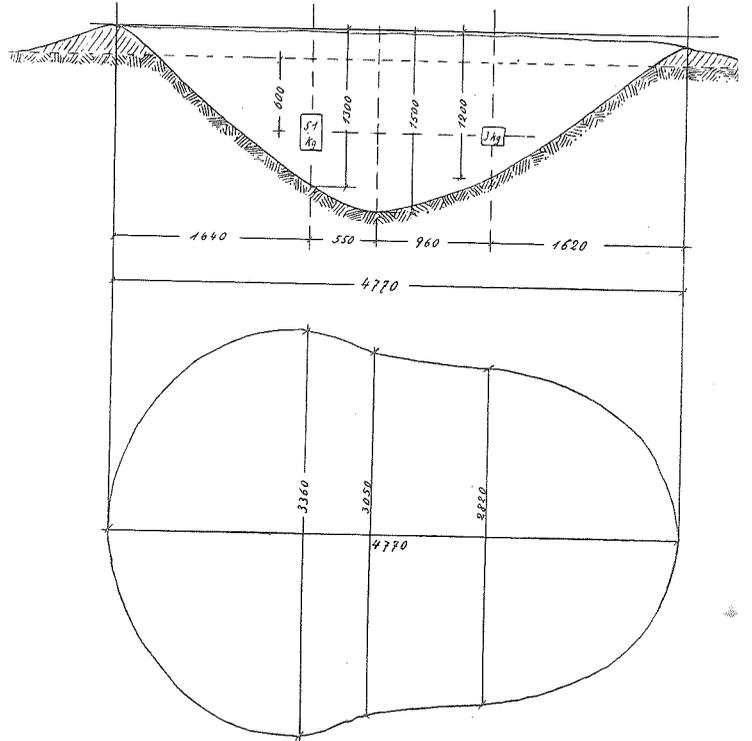
Bleibloch 200 cm  
D. G. 2000 m/s  
Dichte 0,66

Brisanzwert 26

M. 1:10

„Nimmt man die Sprengungen mit verschiedenen großen nebeneinander angeordneten Sprengstoffmengen neben einander vor, so ergeben sich die in den Abbildungen 13 bis 17 dargestellten Erscheinungen:

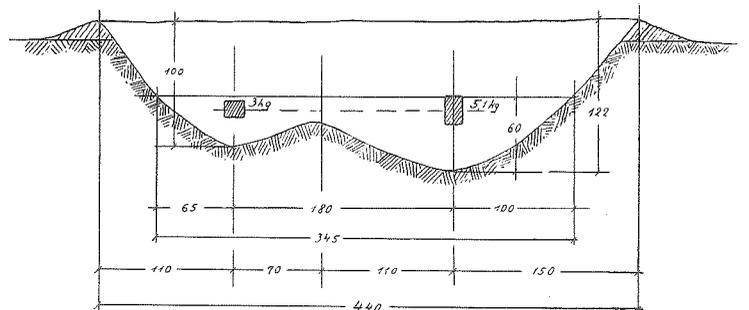
Fig. 13.



3 und 5,1 kg Trinitrotoluol in Papierbeuteln  
nacheinander gesprengt.

M. 1:30

Fig. 14.



3 und 5,1 kg Trinitrotoluol in Papierbeuteln  
gleichzeitig gesprengt.

M. 1:30

„Es zeigt sich dann, daß bei Sprengungen, die nacheinander mit 3 und 5 kg Sprengstoff in der Erde vorgenommen werden (s. Abbildung 13), der zuerst gebildete Trichter durch den nachträglich entstehenden verwischt und nach der Längsseite verzerrt wird, so



# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.  
Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen,  
21. Jahrgang, 1926, Nr. 5.

(Fortsetzung.)

Baurat Dr.-Ing. J. Kesselheim-Frankfurt  
„Bericht vom 31. Juli 1922 über Erörterungen mit der vom Reichstagsausschuß bestellten Sachverständigenkommission zur Untersuchung der Oppauer Explosion“<sup>47)</sup>.

Prof. Dr. A. Gutbier-Stuttgart

1. Gutachten (ohne Datum) über Eigenschaften, technische Darstellung und Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters<sup>48)</sup>;
2. Gutachten II über chemische Untersuchung von Salzproben<sup>49)</sup>;
3. Gutachten III über chemische Untersuchung von Salzproben<sup>50)</sup>;
4. Gutachten IV über die Eigenschaften, technische Bereitung, kristallographische und analytische Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters<sup>51)</sup>.

Dr. R. Escales-München

1. „Vorläufige gutachtliche Ausführungen zu der Oppauer Explosionskatastrophe“<sup>52)</sup>;
2. „Ergänzungen der vorläufigen gutachtlichen Ausführungen zu der Oppauer Explosionskatastrophe“<sup>53)</sup>;

Bayerische Untersuchungskommission

1. Protokolle zu der 1. bis 14. Sitzung<sup>54)</sup>.
2. „Vorbericht“ vom 3. Januar 1922<sup>55)</sup>.
3. „Untersuchungsbericht der bayerischen Untersuchungskommission zur Aufklärung des Explosionsunglücks in Oppau vom 31. Januar 1923“<sup>56)</sup>.

Die in den verschiedenen Gutachten zum Ausdruck gebrachten Ansichten der Sachverständigen stimmten in den Hauptpunkten miteinander überein. Soweit die Ansichten auseinandergingen, sollten sie gemäß einer Beschlußfassung in der 7. und 8. Sitzung des 34. Reichstagsausschusses am 7. April und 24. Juni 1922 in Berlin durch gemeinsame Beratung der Sachverständigen soweit als möglich zum Ausgleich gebracht werden. Das gemeinsame Gutachten sollte dem Reichstagsausschuß vorgelegt werden, der danach seine Entschlüsse treffen wollte. Mit der Einberufung der Sachverständigen wurde der Referent vom Reichstagsausschuß beauftragt.

Die Sitzungen und Besprechungen der Sachverständigen fanden am 1. August 1922 in Darmstadt und anschließend daran (zum Zwecke der Besichtigung des von der Badischen Anilin- und Sodafabrik angefertigten Gipsmodells des Explosionstrichters) in Oppau, sowie am 17. Sept. 1922 in Leipzig statt. Den Gegenstand dieser Beratungen bildeten eine Anzahl vom Berichterstatter des Reichstagsausschusses Abgeordneten Dr. Kulenkampff genauer formulierter Fragen<sup>57)</sup>.

Ergebnis der zusammengefaßten Gutachten.

Die Beantwortung dieser Fragen ist in einem „Zusammenfassenden Gutachten der Sachverständigen“ vom

<sup>47)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 27, S. 11.

<sup>48)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 15.

<sup>49)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 23.

<sup>50)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 24.

<sup>51)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 29.

<sup>52)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 16; Z. Schieß- u. Sprengst. 18 (1924) 44.

<sup>53)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 31; Z. Schieß- u. Sprengst. 18 (1924) 60.

<sup>54)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 11, 17, 22, 26.

<sup>55)</sup> Ungedruckt.

<sup>56)</sup> Z. Schieß- u. Sprengst. 18 (1924) 71, 90.

<sup>57)</sup> Protokoll über die 7. Sitzung des 34. Ausschusses in Berlin am 7. April 1922, S. 8.

26. Sept. 1922<sup>58)</sup> niedergelegt, das in der 9. Sitzung des 34. Ausschusses in Ludwigshafen am 28. Sept. 1922 besprochen wurde. Der Ausschuß behielt sich jedoch eine endgültige Stellungnahme bis nach dem Abschluß des gerichtlichen Untersuchungsverfahrens vor. Durch Beschluß der 2. Strafkammer des Landgerichts Frankenthal vom 10. April 1923 wurde jedoch das Strafverfahren eingestellt, da sich aus den Zeugenaussagen und den Gutachten der gerichtlichen Sachverständigen kein Anhaltspunkt für eine nachweisbare Schuld oder Fahrlässigkeit von seiten der Betriebsleitung der Badischen Anilin- und Sodafabrik ergab.

Zu demselben Ergebnis kam auch der Reichstagsausschuß, dessen Urteil in dem „Bericht des 34. Ausschusses zur Untersuchung der Ursachen des Unglücks in Oppau“ vom 13. Dezember 1923<sup>59)</sup> niedergelegt ist.

Schlußbemerkung.

Die Verhandlungen über die in der Welt einzig dastehende Katastrophe von Oppau kamen so nach mehr als zweijähriger angestrebter Tätigkeit der zur Aufklärung des Unglücks eingesetzten Organe zum Abschluß. Wenn dieser Abschluß eine volle Aufklärung der Ursache des Unglücks nur insofern gebracht hat, als man den Schluß ziehen muß, daß das Eintreten der Explosion dem unglücklichen Zusammentreffen einer Reihe mehr oder weniger zufälliger Erscheinungen zuzuschreiben ist, so kann doch damit gerechnet werden, daß die Arbeit des Untersuchungsausschusses und der Sachverständigen nicht umsonst geleistet worden ist, sondern dazu beitragen wird, ähnliche unheilvolle Vorkommnisse zum Wohle der werktätigen Bevölkerung wenn nicht ganz zu vermeiden, so doch in ihrer Anzahl und in ihrem Umfang beträchtlich einzuschränken.

Es mag hier nicht unerwähnt bleiben, daß auch von seiten des Auslands Untersuchungen über die Explosionsfähigkeit des Ammonsulfatsalpeters angestellt worden sind, deren Ergebnisse von den im vorstehenden besprochenen nicht abweichen.

Ferner lohnt es auf die Dissertation von Dr. R. Aufschläger<sup>60)</sup> hinzuweisen, der in einer sehr interessanten und sprengtechnisch hervorragenden Arbeit die hier in Frage stehenden Salze auf ihre Explosionsfähigkeit und Explosionswirkung geprüft hat. Die Arbeit, die in der Dynamitfabrik Schlebüsch ausgeführt wurde, verliert dadurch nicht an Wert, daß der Autor sich dabei der Unterstützung erfahrener Fachleute zu erfreuen hatte. Die Ergebnisse der Untersuchungen, die anfangs November 1922, also nach Abschluß der Verhandlungen und der Untersuchungen der Chemisch-technischen Reichsanstalt, veröffentlicht wurden<sup>61)</sup>, stimmen mit den vorstehenden gut überein<sup>62)</sup>.

<sup>58)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 30; Z. Schieß- u. Sprengst. 18 (1924) 29; Kast, Chem. Ztg. 48 (1924) 133, 158.

<sup>59)</sup> Reichstagsdrucksache Nr. 6402, I. Wahlperiode 1922/23. Z. Schieß- u. Sprengst. 18 (1924) 42; Kast, Chem. Ztg. 48 (1924) 133, 158.

<sup>60)</sup> Rudolf Aufschläger, „Beiträge zur Kenntnis der Explosionsbedingungen schwer detonierbarer explosiver Salze“, Dissert. Aachen 1922. Druck von Foerster & Borries, Zwickau i. Sa.

<sup>61)</sup> Naoum u. Aufschläger, Z. Schieß- u. Sprengst. 18 (1924) 35.

<sup>62)</sup> Während der Drucklegung dieser Abhandlung gelange ich durch die Güte von Sir Robert Robertson, London, in den Besitz eines Sonderabdrucks einer Arbeit des Regierungslaboratoriums in London, von dem ähnliche Untersuchungen wie die vorstehenden mit dem Oppauer Salz durchgeführt wurden. Die von den namhaftesten englischen Chemikern und Physikern ausgeführten Versuche hatten hinsichtlich der Selbstzersetzlichkeit und Explodierbarkeit des Salzes ein negatives Ergebnis. Die Arbeit ist in den Trans. of the Faraday soc. 20 (1924) I. Juliheft abgedruckt.

An den Arbeiten der Chemisch-Technischen Reichsanstalt hat sich außer den genannten Sachverständigen der Vorstand der physikalischen Abteilung Oberregierungsrat Dr. Ritter in sehr dankenswerter Weise beteiligt. Die sprengtechnischen Versuche wurden von Regierungsrat Dr. Haid unter der eifrigen Hilfeleistung von Dr. K. F. Meyer, die thermodynamischen Berechnungen z. T. von Dr. Selle ausgeführt.

Die Ausführungen der Zeichnungen und photographischen Aufnahmen sowie die Herstellung des demonstrativen Gipsmodells der Siloanlage vor der Explosion und des bei der Explosion entstandenen Sprengtrichters verdankt die Reichsanstalt der Geschicklichkeit des Technikers Neidhard.

Chemisch-Technische  
Reichsanstalt.

Berlin, den 30. November 1921.

### I. Gutachten

#### über die Ursache der Explosion in Oppau.

Durch die seit der Katastrophe in Oppau von verschiedenen Stellen und auch von den Unterzeichneten angestellten Ermittlungen ist mit Sicherheit festgestellt worden, daß die Explosion in dem Silo Op. 110, in der etwa 4500 t Ammonsulfatsalpeter gelagert haben, erfolgt ist. Mit der Herstellung von Ammoniak nach dem Verfahren von Haber-Bosch und mit der Herstellung der Düngesalze an sich hat die Ursache der Explosion nichts zu tun. Bei der Besichtigung an Ort und Stelle am 29. und 30. September d. Js. sind von uns Anhaltspunkte dafür, daß die Explosion an einer anderen Stelle als in dem Silo Op. 110 ihren Ausgang genommen hätte, nicht gefunden worden.

Es handelt sich also um eine Explosion des in dem Silo Op. 110 gelagerten Düngesalzes Ammonsulfatsalpeter, und es fragt sich daher, durch welche Umstände dieses Salz zur Explosion gekommen ist. Als Ursachen kommen für das vorliegende von der Reichsanstalt zu erstattende Gutachten in Frage:

1. Selbstzersetzung und Selbstentzündung, vielleicht infolge von zufälligen schädlichen Verunreinigungen,
2. Einleitung der Explosion durch die im Silo zur Lockerung des erhärteten Düngesalzes ausgeführten Sprengungen.

Die erste Möglichkeit kommt nach allen vorliegenden Erfahrungen nicht in Betracht. Die in der Reichsanstalt ausgeführten chemischen Untersuchungen haben hierfür bisher keine Anhaltspunkte gegeben. Auch die Badische Anilin- und Sodafabrik hält eine Selbstzersetzung und Selbstentzündung des Ammonsulfatsalpeters für ausgeschlossen. Sie hat nach dieser Richtung hin Anfang 1920 eingehende Untersuchungen über die Zersetzlichkeit von Ammonsalpeter und Ammonsulfatsalpeter ausführen lassen, die gezeigt haben, daß eine Zersetzung derartiger Salze erst bei Temperaturen über 160° stattfindet. Auch die langjährigen Erfahrungen bei der Herstellung, Verwendung und Verarbeitung des Ammonsalpeters, der besonders während des Krieges in außerordentlich großen Mengen als Ausgangsstoff für die Herstellung von Sprengstoffen und Pulvern verwandt worden ist, sprechen dafür, daß eine Selbstzersetzung und eine damit in Zusammenhang stehende Selbstentzündung nicht in Betracht zu ziehen ist.

Näher liegend war von vornherein die Annahme, daß die Explosion im Silo Op. 110 durch einen Sprengschuß eingeleitet worden ist. Die Reichsanstalt hat, nachdem ihr bekannt geworden war, daß in dem Silo zur Auflockerung des erhärteten Düngesalzes schon seit längerer Zeit Sprengungen ausgeführt worden sind, diese Möglichkeit als Ursache der Explosion in erster Linie in Betracht gezogen. Inzwischen haben die in Oppau gemachten Feststellungen, soweit hier bekannt

geworden ist, ergeben, daß auch am Tage der Katastrophe gesprengt werden sollte und die Abgabe von Sprengschüssen vorbereitet gewesen ist. Hiernach gewinnt die Annahme, daß die Explosion mit der Abgabe dieser Sprengschüsse im Zusammenhang steht, an Wahrscheinlichkeit. Erwägt man aber weiterhin, daß vor der Katastrophe nach Angabe der Badischen Anilin- und Sodafabrik bereits mehr als 20000 Sprengschüsse in den Silos zur Auflockerung des Ammonsulfatsalpeters abgegeben worden sind, ohne daß eine Uebertragung der Explosion auf das Salz beobachtet worden ist, und daß ferner vor der Einführung des Sprengverfahrens in der Fabrik systematische sprengtechnische Versuche ausgeführt worden sind, die zu dem Ergebnis führten, daß der technische Ammonsulfatsalpeter im Gegensatz zu Ammonsalpeter oder Salzen mit höherem Ammonsalpetergehalt keine explosiven Eigenschaften mehr besitzt, so muß man den Schluß ziehen, daß ganz besondere Umstände vorgelegen haben müssen, wenn ein Sprengschuß die Explosion des Düngesalzes eingeleitet hat.

Die Reichsanstalt hat sich mit Rücksicht auf diesen Sachverhalt besonders mit der Klärung der Frage beschäftigt, welche besonderen Umstände die Explosionsübertragung von einem Sprengschuß auf das Düngesalz bewirkt haben können. Es wurden sogleich nach der Katastrophe Untersuchungen und sprengtechnische Versuche eingeleitet und inzwischen in der Hauptsache durchgeführt zur Feststellung:

1. ob und unter welchen Bedingungen techn. Ammonsulfatsalpeter, bestehend aus etwa 50 Teilen Ammonsalpeter und 50 Teilen Ammonsulfat, zur Explosion gebracht werden kann,
2. in welchem Grade die Explosionsfähigkeit des Ammonsulfatsalpeters mit der Erhöhung des Gehaltes an Ammonsalpeter wächst,
3. welche Zusammensetzung die durch die Explosion in der Nachbarschaft des zerstörten Silos Op. 110 aufgefundenen Reste des Düngesalzes besitzen,
4. welche Zusammensetzung die vom Untersuchungsrichter und den Vertretern der Reichsanstalt aus Silo Op. 112 entnommenen Proben des dort gelagerten Düngesalzes haben.

Von dem Untersuchungsrichter in Frankenthal sind den Sachverständigen der Reichsanstalt in einem Schreiben vom 8. XI. 21 zwei Fragen, die sich in der gleichen Richtung bewegen, zur Beantwortung vorgelegt worden. Die Fragen lauten:

„Kann auf Grund der dortigen chemischen Untersuchung der 3 Gruppen von übersandten bzw. mitgenommenen Brocken Düngesalz, nämlich stammend

- a) aus der Umgebung von Silo 110,
- b) aus Silo 112,
- c) aus dem Böschungsrand des Trichters, entnommen gelegentlich der Wiederaufräumarbeiten,

unabhängig von den noch längere Zeit nicht abzuschließenden Zeugenaussagen und sonstigen Erhebungen schon jetzt ein vorläufiges Gutachten darüber erstattet werden:

1. ob die Zusammensetzung des Mischsalzes eine einheitliche war, oder ob sich Gemische mit erhöhter Explosionsfähigkeit (z. B. größerer Gehalt an Ammonnitrat oder Beimengungen von Schwefel usw.) darin befinden,
2. wie diese einzelnen Brocken auf Explosionsstoffe reagieren.“

Die zur Beantwortung der gestellten Fragen ausgeführten sprengtechnischen und chemischen Untersuchungen sind in dem beigefügten Bericht des Vorstandes der sprengtechnischen Abteilung der Reichsanstalt Professor Dr. Kast, der die Untersuchungen geleitet hat, niedergelegt. Aus dem Bericht geht folgendes hervor:

### Explosionsfähigkeit des technischen Ammonsulfatsalpeters.

Es ist in der Reichsanstalt mit den gewöhnlichen bei Sprengstoffen angewandten Mitteln (Sprengkapseln) bisher nicht gelungen, technischen Ammonsulfatsalpeter von normaler Zusammensetzung (50% Ammonsalpeter und 50% Ammonsulfat) zur Explosion zu bringen. Bei der Prüfung im Trauzl'schen Bleiblock unter Anwendung von 2-g-Sprengkapseln fand eine Uebertragung der Explosion von der Sprengkapsel auf den Ammonsulfatsalpeter nicht statt. Eine nur wenig stärkere Aufbauchung, als der Wirkung der Sprengkapsel entspricht, ist auf eine Zersetzung der der Sprengkapsel unmittelbar benachbarten Teile des Salzes zurückzuführen. Bei den Versuchen unter sehr viel schärferen Bedingungen, d. h. bei festem Einschluß in schmiedeeisernen Röhren und bei Anwendung starker Initialzündungen (Einschaltung von 300 g Pikrinsäure zwischen Sprengkapsel und Salz) wurde gleichfalls eine ausgesprochene Explosion des Mischsalzes nicht herbeigeführt. Es bleibt zweifelhaft, ob die schwache Zerlegung der schmiedeeisernen Röhre in der Nähe der Initialzündung nur von dieser herrührt oder ob ein kleiner Teil des Mischsalzes mit zum explosiven Zerfall gekommen ist. Auf jeden Fall ist die Explosionswirkung der Zündladung (Pikrinsäure) sehr schnell in dem Mischsalz zum Erlöschen gekommen. Angewandt wurden bei diesen Versuchen etwa 1,6—2,8 kg Ammonsulfatsalpeter.

Zu einer weiteren Prüfung mit erheblich größeren Mengen wurde von der Badischen Anilin- und Sodafabrik ein Faß mit etwa 300 kg technischem Ammonsulfatsalpeter beschafft. Die Versuche konnten bis jetzt noch nicht durchgeführt werden.

### Explosionsfähigkeit des Mischsalzes mit höherem Gehalt an Ammonsalpeter.

Es wurde gefunden, daß die Explosionsfähigkeit des Mischsalzes mit der Erhöhung des Gehaltes an Ammonsalpeter wächst. Dies kam sowohl bei der Prüfung im Trauzl'schen Bleiblock als auch bei den Versuchen in schmiedeeisernen Röhren zum Ausdruck. Insbesondere zeigten die zuletzt genannten Versuche, daß schon bei Zusatz von 10% Ammonsalpeter zu dem technischen Salz, wodurch ein Gesamtgehalt an Ammonsalpeter von etwa 60% erreicht wird, eine Mischung entsteht, die durch starke Initialzündung (2-g-Sprengkapsel und 100 g Pikrinsäure) bei guter Verdämmung zum explosiven Zerfall gebracht werden kann. Bei weiter erhöhtem Ammonsalpeterzusatz wird, wie die Versuche im Bleiblock zeigen, der explosive Zerfall schon mit kleineren Initialzündungen bewirkt, und die Wirkung wird entsprechend dem Zusatz verstärkt.

### Zusammensetzung der in der Nachbarschaft des zerstörten Silos Op. 110 aufgefundenen Reste des Düngesalzes.

Die von dem Untersuchungsrichter eingesandten 4 Proben, die z. T. in der Nähe des Silos Op. 110 aufgefunden und z. T. am Rande des großen Sprengtrichters entnommen worden waren, hatten normale Zusammensetzung. Der Gehalt an Ammonsalpeter liegt zwischen 46,5 und 49,3%, der Gehalt an Ammonsulfat wurde zu 47,3 bis 52,8% gefunden.

### Zusammensetzung der aus dem Silo Op. 112 entnommenen Proben des Düngesalzes.

Die von dem Untersuchungsrichter eingesandten Proben des Düngesalzes aus dem Nordende des Silos 112 hatten verschiedene Zusammensetzung. Der Ammonsalpetergehalt schwankt zwischen 50,7 und 90,8%. Eine Probe enthält 50,7, 2 Proben etwa 75%, 1 Probe 90,8%. Dem entspricht der gefundene Ammonsulfat-

gehalt. Es wurden bei einer Probe 49%, bei 2 Proben etwa 20% und bei der 4. Probe 6,7% ermittelt. Von diesen Proben hatte also nur eine die normale Zusammensetzung von etwa 50:50%.

Auch unter den von Vertretern der Reichsanstalt bei der Besichtigung am 30. IX. 21 aus dem Silo Op. 112 an derselben Stelle entnommenen 6 Proben fanden sich 2, die einen Gehalt von 68—70% Ammonsalpeter und nur 24,5 bis 27% Ammonsulfat aufwiesen. Die übrigen hatten normale Zusammensetzung.

Die von einem Vertreter der Reichsanstalt am 15. XI. 1921 in Silo Op. 112 am Südende nachträglich noch entnommenen 10 Proben hatten eine Zusammensetzung, die dem technischen Ammonsulfatsalpeter entspricht. Der Ammonsalpetergehalt lag in diesen Proben nicht über 55%.

Bemerkenswert ist, daß Abweichungen von der normalen Zusammensetzung nur bei Proben aus dem Nordende des Silos 112 festgestellt worden sind.

Durch diese Untersuchungsergebnisse ist der direkte Beweis, daß in den Salzlagern Stellen mit höherem als dem normalen Gehalt an Ammonsalpeter vorhanden gewesen sind, für den Silo 110 nicht erbracht worden, wohl aber für den Silo 112. Allerdings sind aus Silo 110 nur 4 Proben, aus Silo 112 dagegen 20 Proben entnommen worden.

Es läßt sich daher die Möglichkeit nicht von der Hand weisen, daß auch in dem explodierten Silo Op. 110 Schichten oder Nester von Ammonsulfatsalpeter mit höherem Gehalt an Ammonsalpeter vorhanden gewesen sind.

War dies der Fall, so kann darin nach den von der Reichsanstalt ausgeführten sprengtechnischen Versuchen ein Grund für das Zustandekommen der Explosion durch die Uebertragung eines Sprengschusses auf das Düngesalz gefunden werden, besonders dann, wenn noch andere ungünstige Momente vorgelegen haben, deren restlose Erfassung nicht möglich ist.

Eine große Bedeutung für die Einleitung einer Explosion hat u. a. auch die physikalische Beschaffenheit eines Explosivstoffes. Stark verdichtet ist er schwerer zur Explosion zu bringen als in lockerem feinverteiltem Zustande. Wenn somit in dem vorliegenden Falle der Sprengschuß in einer starken Schicht von Ammonsulfatsalpeter abgegeben wurde, der einen hohen Ammonsalpetergehalt hatte und gleichzeitig locker und wenig verdichtet war, so konnte diese Schicht zur Explosion kommen und dadurch auch weniger verdichtete benachbarte Schichten mit normalem Ammonsalpetergehalt zum explosiven Zerfall bringen.

Ob in Wirklichkeit die Katastrophe sich in dieser Weise entwickelt hat, kann natürlich nicht gesagt werden. Jedenfalls müssen, wenn man annimmt, daß ein Sprengschuß die Ursache der Explosion gewesen ist, besonders ungünstige Momente zusammengetroffen sein, die die Uebertragung des Sprengschusses auf die Salzmasse begünstigt haben. Hierfür ist der Beweis allein schon dadurch erbracht, daß nicht nur in der Badischen Anilin- und Sodafabrik, sondern auch in anderen Fabriken (Aktiengesellschaft für Anilinfabrikation) und in den Düngesalzlagern größerer landwirtschaftlicher Betriebe viele Tausende von Sprengungen abgegeben worden sind, ohne daß eine Explosion eingetreten ist.

Zum Schlusse ist noch zu erwähnen, daß in Oppau nach Zeugenaussagen zwei Explosionen kurze Zeit hintereinander stattgefunden haben sollen. Ob dies wirklich der Fall gewesen ist und welche Ursache dafür in Frage kommt, ist noch nicht geklärt. Die Reichsanstalt kann zu dieser Frage erst nach Eingang des gerichtlichen Untersuchungsmaterials Stellung nehmen.

gez. Dr. Bergmann. gez. Dr. Lenze.

gez. Dr. Kast.

**Sprengtechnische und chemische Untersuchung des  
Ammonsulfatsalpeters.**

Bei den zur Aufklärung der Explosion in Oppau in der Chemisch-Technischen Reichsanstalt vorgenommenen Untersuchungen wurde von der Annahme ausgegangen, daß die Explosion des im Silo Op. 110 eingelagerten Mischsalzes durch einen in dem Mischsalzhaufen abgegebenen Sprengschuß hervorgerufen worden ist. Diese Annahme war umsomehr berechtigt, als die Wahrscheinlichkeit, daß die Katastrophe auf chemische Vorgänge (Selbsterzersetzung) zurückzuführen ist, deshalb nicht in Betracht kommt, weil der Vorgang der Explosion sich dann nicht ohne vorausgehende auffallende Erscheinungen hätte abspielen können. Die in der Reichsanstalt ausgeführten Versuche haben bis jetzt auch keinerlei Anhaltspunkte für eine solche Selbsterzersetzung ergeben.

Die Untersuchungen erstreckten sich daher in der Hauptsache nach zwei Richtungen: Bei der ersten handelte es sich um die Beantwortung der Frage, inwieweit dem Ammonsulfatsalpeter Sprengstoffeigenschaften zukommen, die zweite hatte die chemische Zusammensetzung des von der Fabrik erzeugten Produktes zum Gegenstand, weil von dieser Zusammensetzung die Sprengfähigkeit abhängig ist.

**Sprengtechnische Untersuchung.**

1. Für den ersten Zweck wurden eine Reihe von Mischungen aus Ammonsulfatsalpeter und Ammonnitrat, die beide aus dem Handel bezogen worden waren, hergestellt und im Vergleich zu Ammonnitrat und Ammonsulfat geprüft.

Außerdem wurden in einer zweiten Versuchsreihe Mischungen geprüft, die durch Zusatz von Ammonnitrat zu dem von der Badischen Anilin- und Sodafabrik aus Silo 112 übersandten Ammonsulfatsalpeter hergestellt worden waren.

Es war aus der chemischen Literatur bekannt und bereits in dem für die Reichstagsverhandlung erstatteten Gutachten der Chemisch-Technischen Reichsanstalt vom 27. September 1921 zum Ausdruck gebracht worden, daß der Ammonsalpeter unter gewissen Umständen explosive Eigenschaften besitzt; außerdem waren eingehende Versuche schon während des Krieges von seiten des Militärversuchsamts und später in noch ausgedehnterem Maße von seiten der Chemisch-Technischen Reichsanstalt angestellt worden, die gezeigt hatten, daß dieses Salz unter Anwendung starker Initialsprengstoffe und unter starkem Einschluß zum explosiven Zerfall gebracht werden kann.

Dem Ammonsulfat für sich allein können dagegen auf Grund seiner elementaren Zusammensetzung und seiner thermochemischen Beschaffenheit explosive Eigenschaften nicht zugeschrieben werden. Immerhin war zu beachten, daß dieses Salz, wenn es auch in keiner Weise als Sprengstoff angesehen werden kann, chemisch so beschaffen ist, daß es im Gemisch mit explosiven Stoffen befähigt ist, sich an der Explosion unter Wärmeentwicklung zu beteiligen. Der Beweis dafür, daß Ammonsulfat nicht als chemisch träger Körper angesehen werden kann, wurde dadurch erbracht, daß das Ammonsulfat im Gemisch mit Aluminium nach energischer Inbrandsetzung durch ein Thermitgemisch freiwillig abbrennt.

Ueber die bei der Explosion freiwerdende Energie der Salze, sowie über den Charakter des Ammonnitrats als Sprengstoff wird unten noch Näheres ausgeführt werden.

Bei Verwendung der beiden Salze in wechselndem Mischungsverhältnis war nun die Möglichkeit gegeben, den explosiven Charakter des Gemisches beliebig abzustufen.

Die Versuche wurden derart ausgeführt, daß in schmiedeeisernen Zylindern von 4 mm Wandstärke, 8—10 cm Durchmesser und 30—37 cm Höhe, die beiderseits mit einer aufgeschraubten Blechplatte verschlossen waren, etwa 1,6 bis 2,8 kg der Salze bzw. ihrer Mischungen gesprengt wurden. Als Zündladung wurde eine 5 cm hohe Schicht aus z. T. gepreßter, z. T. loser Pikrinsäure in einer Gesamtmenge von 300 bis 400 g verwendet, die mit Hilfe einer Sprengkapsel zur Detonation gebracht wurde.

Bei der zweiten Versuchsreihe wurden nur 100 g gepreßte Pikrinsäure verwendet und der Zylinder mit Sand überschüttet. Es wurde dadurch eine stärkere Verdämmung erreicht, wie sie auch bei den Lager-sprengungen in den Mischsalzhaufen vorlag.

Zur Beurteilung der Explosionswirkung diente sowohl die Zerlegung des eisernen Behälters in einzelne Sprengstücke als auch die in einer 2 cm starken untergelegten Bleiplatte hervorgerufene Aushöhlung.

Die bei den Versuchen erhaltenen Ergebnisse sind in der Zusammenstellung (Anlage I und II) eingetragen und in Abbildungen veranschaulicht<sup>1)</sup>.

Sie bestätigen die oben über Ammonsalpeter und Ammonsulfat gemachten Angaben insofern, als bei ersterem eine ausgesprochene Sprengwirkung, erkenntlich an der weitgehenden Zerlegung des Behälters und der tiefen Ausbauchung der Bleiplatte, bei letzterem lediglich eine der Menge der angewandten Initialzündung entsprechende Kraftäußerung zu Tage tritt.

Die Mischungen ergaben je nach ihrem Gehalt an Ammonsalpeter verschiedene Wirkung. Der Eindruck auf der Bleiplatte insbesondere zeigt, daß die Explosion bei 60 % Ammonnitrat und darüber noch durch die Masse fortgepflanzt wird, während sie bei geringerem Gehalt in größerer oder geringerer Entfernung von der Initialzündung zum Erlöschen kommt, so daß nur ein dem Durchmesser des Zylinders entsprechender Abdruck, aber keine Aushöhlung auf der Bleiplatte entsteht.

Bei den bisher ausgeführten Versuchen konnte der Umstand noch nicht berücksichtigt werden, daß der Ammonsulfatsalpeter nicht nur als einfaches Gemenge der beiden Bestandteile Ammonnitrat und Ammonsulfat, sondern auch als Doppelsalz in Form einer losen chemischen Verbindung vorliegen kann. Im letzteren Fall muß aus theoretischen Gründen mit einer etwas schwereren Detonierbarkeit gerechnet werden, weil bei der Bildung der Verbindung Energie verbraucht worden ist, die bei der Zerlegung wieder aufgewandt werden muß.

Die Fabrik selbst weist auf diesen Umstand hin, kommt aber auf Grund ihrer Versuche zu dem Schluß, daß der Unterschied in der Detonationsfähigkeit zwischen Gemenge und chemisch gebundenem Doppelsalz verschwindend ist.

Uebereinstimmend hiermit ist das Ergebnis der Prüfung auf Sprengwirkung im Bleiblock. Dieser Prüfung wurden auch die von den Vertretern der Reichsanstalt entnommenen Proben mit 70 % Ammonsalpeter unterworfen, wobei eine dem Ammonsalpetergehalt entsprechende Ausbauchung des Bleiblocks erhalten wurde. Die Wirkung im Bleiblock wird außer durch die tabellarische Anordnung auch durch eine graphische Skizze veranschaulicht. Die Skizze zeigt deutlich, daß der Wendepunkt in der Explodierbarkeit des Salzes zwischen 55 und 60 % Ammonsalpetergehalt liegt.

(Fortsetzung folgt.)

<sup>1)</sup> folgen später.

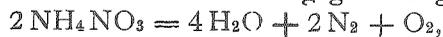
# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.  
Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen,  
21. Jahrgang, 1926, Nr. 6.

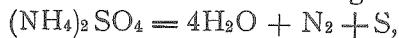
(Fortsetzung.)

Das Ergebnis der bisher durchgeführten sprengtechnischen Untersuchungen steht mit den von der Badischen Anilin- und Sodafabrik bereits vor der Explosionskatastrophe im dortigen Laboratorium festgestellten Tatsachen im Einklang. Auch der Fabrik war der explosive Charakter des Ammonitrats und der Umstand bekannt, daß durch Zusatz des Ammonsulfats die explosiven Eigenschaften abgeschwächt werden. Es war daher der ursprüngliche Zweck ihrer Versuche gewesen, denjenigen Gehalt an Ammonsulfat im Mischsalz festzustellen, bei dem die explosiven Eigenschaften der Mischungen nicht mehr vorhanden sind.

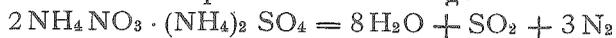
Vom wissenschaftlichen Standpunkt aus ist gegen diese Versuche und die Art ihrer Ausführung nichts einzuwenden. Sie mußten ausgeführt werden, da die thermochemische Berechnung keine genügende Unterlage bietet. Wenn man nämlich für Ammonitrat die thermochemische Zersetzungsgleichung



für Ammonsulfat die Gleichung:



für Ammonsulfatsalpeter die Gleichung:



zu Grunde legt, so erhält man als freigewordene Energie

bei Ammonitrat . . .	+ 350 Cal/kg
„ Ammonsulfat . . .	- 380 Cal/kg
„ Ammonsulfatsalpeter	+ 257 Cal/kg

Die Unterschiede zwischen Ammonitrat und Ammonsulfatsalpeter treten also hier nicht deutlich in die Erscheinung. Nur das Ammonsulfat zeigt mit seiner negativen Zersetzungswärme eine bemerkenswerte Abweichung.

Diese Art der Zersetzung ist allerdings hypothetischer Natur, sie kann auch anders vor sich gehen; da aber die Gleichungen nach denselben Grundsätzen aufgestellt sind, können die rechnerisch ermittelten Energiewerte doch in Vergleich gesetzt werden.

Es muß nun aber auch gesagt werden, daß zu einer vollständigen Beurteilung der Explosionsfähigkeit eines Stoffes auch die Laboratoriumsversuche, wie sie oben durch die sprengtechnischen Versuche dargestellt sind, nicht ausreichen, da die Explosionsfähigkeit nicht nur von den chemischen, sondern auch von den physikalischen Eigenschaften, und auch von gewissen äußeren Umständen beeinflußt wird.

Von den physikalischen Eigenschaften ist vor allem die Dichte, die in zweierlei Form: als spezifisches Gewicht der Kristalle und als kubisches Gewicht der Masse, in Erscheinung tritt, und ferner die Korngröße der Kristallaggregate; bei den äußeren Umständen sind dagegen die Stärke der Initialzündung, die Art und Anordnung des Bohrloches, der Ort, wo dieses angebracht ist, die Stärke der Verdämmung, die Festigkeit der Umgebung usw. von Wichtigkeit.

Alle diese Umstände in die Versuchsanordnung einzuziehen, ist nun nicht möglich und man muß annehmen, daß in gewissen Fällen eine Reihe die Explosionsübertragung befördernder Faktoren zusammen-treten kann.

## Analytische Untersuchung.

2. Zur Beantwortung der zweiten oben gestellten Frage über die chemische Zusammensetzung des von der Fabrik erzeugten Produktes wurde eine große Anzahl von Proben analytisch untersucht.

Die Proben waren z. T. vom Untersuchungsrichter eingesandt, z. T. durch Vertreter der Reichsanstalt an Ort und Stelle entnommen worden und stammten sowohl aus aufgesammelten aus Silo Op. 110 herrührenden, nicht explodierten Resten, als auch aus verschiedenen Schichten des im Silo Op. 112 noch lagernden Mischsalzes.

Die Untersuchung erstreckte sich zunächst auf die Bestimmung des Nitrat- und des Sulfatgehaltes nach verschiedenen Methoden:

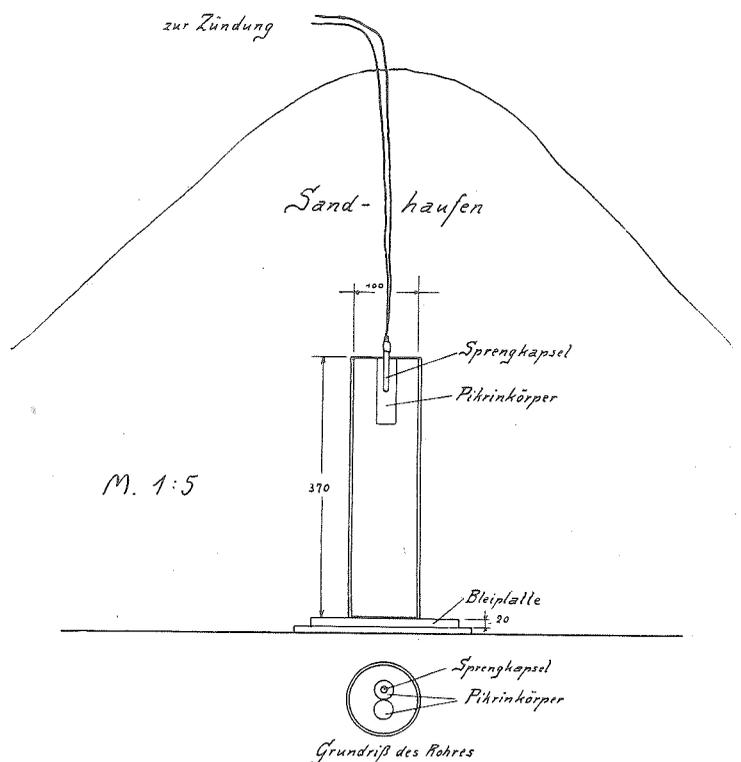
Der Nitratstickstoff wurde nach Schulze — Tiemann und im Lungeschen Nitrometer, das Sulfat gewichtsanalytisch als Bariumsulfat ermittelt. Die Werte des ersteren wurden auf Ammonitrat, die Werte des letzteren auf Ammonsulfat umgerechnet (s. Anlage III).

Die Ergebnisse dieser analytischen Untersuchung lassen erkennen, daß die aus dem explodierten Silo Op. 110 übrig gebliebenen Anteile durchweg die normale von der Fabrik angegebene Zusammensetzung haben, daß dagegen einige im Silo Op. 112 entnommene Proben erhebliche Schwankungen im Gehalt an Ammonitrat und Ammonsulfat aufweisen. In einzelnen Stücken der von seiten des Untersuchungsrichters entnommenen Proben und in zwei weiteren, die von den Vertretern der Reichsanstalt genommen worden waren, wurde ein Gehalt von 70% Ammonitrat und darüber festgestellt.

Die gefundenen hohen Werte für den Gehalt des Mischsalzes an Ammonsalpeter, der je nach der Art der Probeentnahme Schwankungen unterworfen ist, führen zu der Annahme, daß in dem Salzgemisch ammonsalpeterreiche Stellen vorhanden gewesen sind. Bei der beschränkten Probeentnahme kann jedoch auf die räumliche Ausdehnung dieser Stellen kein Schluß gezogen werden.

Dieses bei der Untersuchung vereinzelt, bei den laufenden Fabrikanalysen nachweislich der Analysenhefte des Fabriklaboratoriums aber in keinem Falle erhaltene Ergebnis gab Veranlassung, erneut Proben aus dem

Versuchsanordnung zu Anlage I und II



Silo 112 durch einen Vertreter der Reichsanstalt entnehmen zu lassen.

Inzwischen war aber der größte Teil des Mischsalzhaufens abtransportiert worden, so daß eine weitere Probe nur noch aus einem kleinen Teil am südlichen Ende des Silos 112 entnommen werden konnte. Diese Proben, die nunmehr aus verschiedenen Tiefenschichten stammten und auch verschiedenes Aussehen hinsichtlich ihrer Farbe hatten, zeigten trotzdem eine wesentliche Abweichung von der normalen Zusammensetzung des Mischsalzes nicht.

Unregelmäßig zusammengesetzt waren also nur einzelne Proben aus dem nördlichen Teil des Mischsalzhaufens im Silo 112.

Dem Gehalt an Ammonsalpeter entspricht der Gehalt an Ammonsulfat, d. h. an den Stellen, wo ein hoher Gehalt an Ammonnitrat vorhanden war, wurde der Ammonsulfatgehalt niedrig gefunden.

Nach alledem ist die Möglichkeit einer wechselnden Zusammensetzung des Mischsalzes in begrenztem Um-

fang anzunehmen. Es entzieht sich aber der Beurteilung, ob ein solches Vorkommen einer abweichenden Zusammensetzung im Verlauf der Fabrikation mehrmals aufgetreten ist, und insbesondere, ob es auch für den Silo 110 zutrifft. Immerhin ist die Wahrscheinlichkeit, wenn auch nicht der Beweis dafür durch das Untersuchungsergebnis erbracht worden.

Der direkte Beweis einer abweichenden Zusammensetzung des explodierten Mischsalzes, der aus der Untersuchung der übrig gebliebenen Reste aus Silo 110 sich hätte ergeben können, ist insofern erschwert, als anzunehmen ist, daß gerade diese Teile wegen ihrer leichteren Detonierbarkeit von der Explosion ergriffen worden sind.

Die weitere analytische Untersuchung des von der Fabrik übersandten Mischsalzes ergab, daß in dem Ammonsulfatsalpeter keine nennenswerten Mengen von Verunreinigungen enthalten sind. Insbesondere ist das Salz frei von Schwefel und organischen Stoffen.

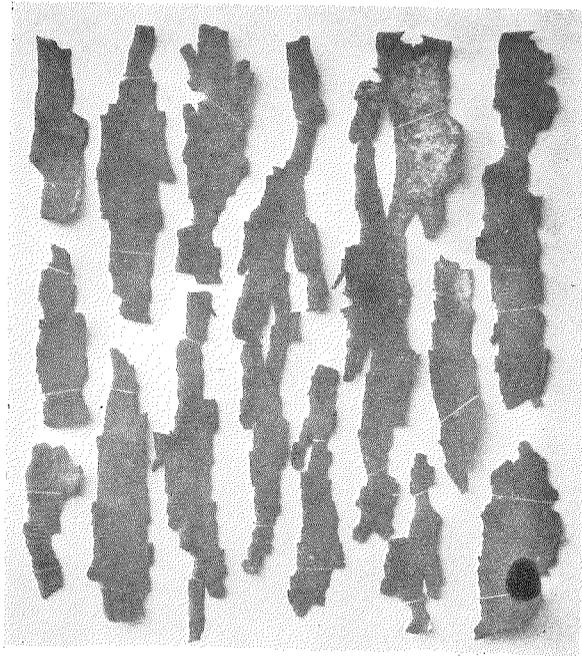
Dr. Kast.

Sprengversuche mit — aus dem Handel bezogenem — Ammonsalpeter, Ammonsulfat und Ammonsulfatsalpeter in schmiedeeisernen Behältern (beiderseits verschlossenen Röhren von 8 bis 10 cm Durchmesser. 27 bis 37 cm Höhe und 4 mm Wandstärke).

Nr.	Zusammensetzung des Salzes	Gewicht der Ladung	Dichte	Zündladung	Anordnung	Beobachtete Wirkung	Wiedergefundene Reste des Salzes	Art der Explosion
1 <sup>1)</sup>	Ammonsalpeter	1350 g	0,76	420 g Pikrinsäure als 5 cm hohe Schicht über dem Salz	Der Behälter war auf eine Bleiplatte gestellt und durch Überschichten mit Sand verdammt	Der eiserne Behälter in kleine Stücke zerlegt. Auf der Bleiplatte 3,2 cm tiefe Aushöhlung von 17 cm Durchmesser.	Das Salz explodierte restlos unter Bildung von nitrosen Gasen.	Ausgesprochene Explosion
2 <sup>1)</sup>	Ammonsulfat	2300 g	0,98	480 g Pikrinsäure angeordnet wie bei 1	Der Behälter stand auf einer Bleiplatte	Der Behälter durch die Zündladung in der oberen Hälfte aufgefaltet. Unterer Teil vollständig erhalten, auf der Bleiplatte Abdruck der Bodenfläche.	Das Salz wurde zerstreut, ein großer Teil lag auf der Bleiplatte.	Keine Explosion
3 <sup>2)</sup>	Ammonsulfatsalpeter mit 41 bis 45% Ammonsalpeter	1620 g	0,97	370 g Pikrinsäure als 7 cm hohe Schicht über dem Salz	—	Der Behälter in seinem oberen, der Zündladung zugekehrten Teil zerlegt, während der untere aufgerissen und in Stücke zerteilt wurde.	Reste des Sprengstoffs wurden noch vorgefunden.	Teilweise Explosion
4		2400 g	1,0	480 g Pikrinsäure wie bei 1	—	Der Behälter in 6 bis 7 cm breite Längsstreifen zerlegt.		
5		1850 g	1,0	420 g Pikrinsäure wie bei 1	—	Der Behälter unvollständig zerlegt.		
6	Ammonsulfatsalpeter mit Zusatz von Ammonsalpeter	2210 g	0,95	420 g Pikrinsäure wie bei 1	Der Behälter war mit Sand leicht verdammt und auf eine Bleiplatte gestellt	Der Behälter vollständig zerlegt. In der Bleiplatte 3 cm tiefe Aushöhlung von 28 cm Durchmesser.	Reste des Sprengstoffs wurden nicht mehr vorgefunden,	Explosion
7	62,3% Ammonsalpeter	1600 g	0,98	270 g Pikrinsäure wie bei 1	wie bei 6	Der Behälter in schmale Streifen zerlegt. In der Bleiplatte Aushöhlung von 1 cm Tiefe und 12 cm Durchmesser		
8	Mischung aus 65% Ammonsalpeter 35% Ammonsulfat	1600 g	1,0	100 g Pikrinsäure. Zwei gepreßte 9 cm lange Körper nebeneinander	wie bei 6	Der Behälter seiner ganzen Länge nach gleichmäßig zerlegt. In der Bleiplatte 1,5 cm tiefe, 12 cm breite Ausbauchung.		

<sup>1)</sup> Anmerkung. S. Abbildungen Figur 18. <sup>2)</sup> Der Versuch deckt sich mit dem im Text S. 32 unter Z. 4 beschriebenen.

Fig. 18 (a—d)



a) Sprengversuch mit Ammonsalpeter.

Fig. 19.  
Sprengversuch mit Ammonsulfatsalpeter aus Silo 112.  
(Gehalt an Ammonnitrat 48%)

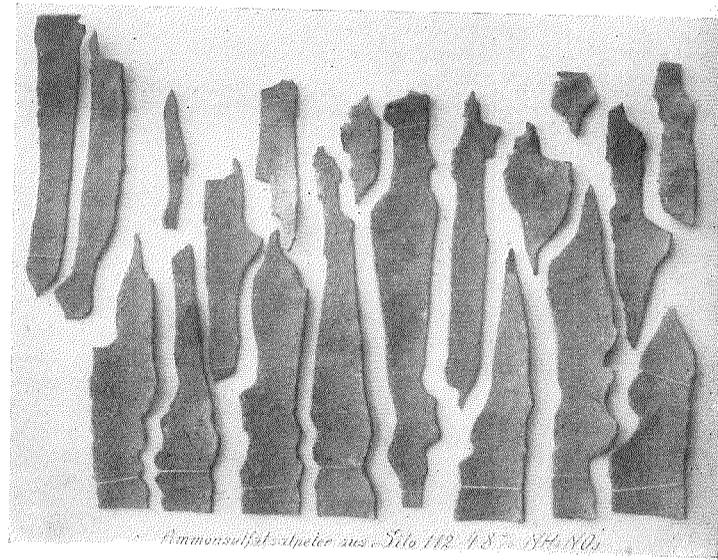
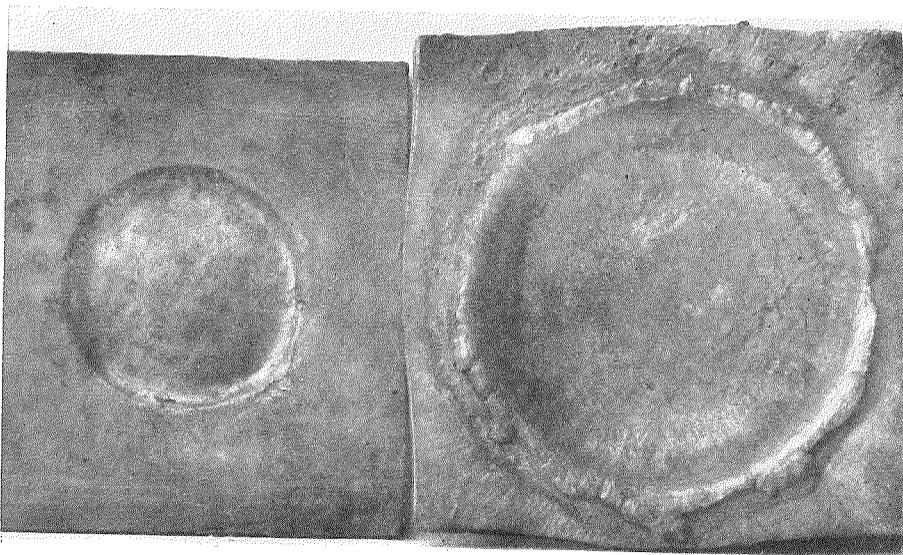
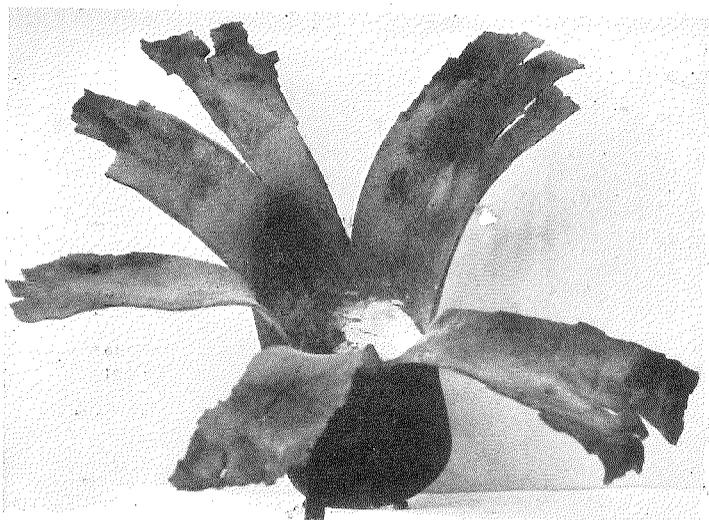


Fig. 20.  
Sprengversuch mit Ammonsulfatsalpeter aus Silo 112  
mit Zusatz von Ammonsalpeter.  
(Gehalt an Ammonnitrat 65%)

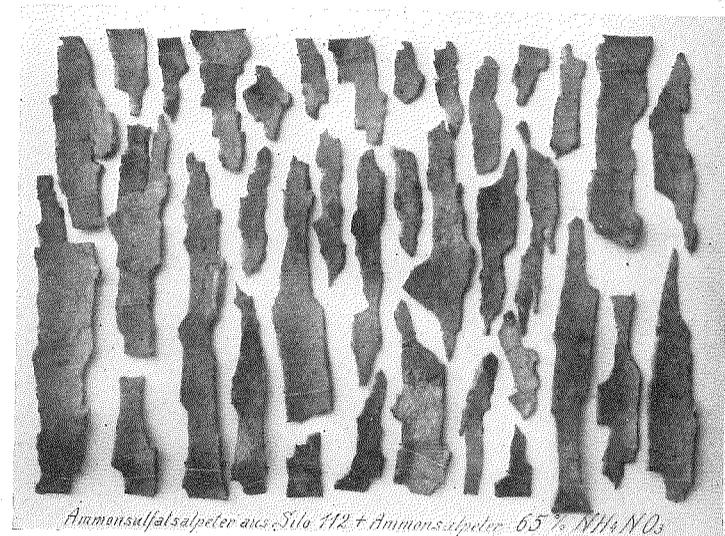


b) Sprengversuch mit Ammonsulfat.

c) Sprengversuch mit Ammonsalpeter.



d) Sprengversuch mit Ammonsulfat.



Sprengversuche mit Ammonsulfatsalpeter aus Oppau, Silo 112, mit und ohne Zusatz von Ammonsalpeter.

Sprengversuche mit Ammonsulfatsalpeter aus Silo 112, in schmiedeeisernen Behältern (beiderseits verschlossenen Röhren von 10 cm Durchmesser und 37 cm Höhe Wandstärke 4 mm).

Nr.	Bezeichnung und Zusammensetzung des Salzes		Gewicht der Ladung	Dichte	Zündladung	Wirkung auf die Unterlage (Bleiplatte)	Zerlegung des eisernen Behälters	Schwaden	Art der Explosion
	Ammonsalpeter %	Ammonsulfat %							
1 <sup>1)</sup>	48	52	2580	0,97	100 g gepreßte Pikrinsäure 9cm Höhe, 3 cm Durchmesser	Auf der Bleiplatte Abdruck der Bodenfläche des Zylinders.	In breite, nicht gezackte Streifen zerlegt.	Ein größerer Teil des Salzes wurde nicht vergast. Die Schwaden rochen nach schwefeliger Säure und Schwefelwasserstoff.	Teilweise Explosion
2	48	52	2540	0,97	wie bei 1				
3	55	45	2800	0,97	wie bei 1	Auf der Bleiplatte wenig breiterer Eindruck als bei 1 und 2.	Im oberen Teil ungezackte, im unteren in glatte Streifen zerlegt.	Salzreste lagen noch auf der Bleiplatte. Die Schwaden hatten einen Geruch nach schwefeliger Säure, der Geruch nach Schwefelwasserstoff trat zurück.	Teilweise Explosion
4	55	45	2800	0,97	wie bei 1				
5	60	40	2750	0,94	wie bei 1	Auf der Bleiplatte 3 cm tiefe, 18 cm breite Ausbuchtung.	In gezackte Streifen zerlegt.	Salzreste wurden nicht mehr vorgefunden. Die Schwaden rochen nach schwefeliger Säure.	Explosion
6	60	40	2750	0,94	wie bei 1				
7 <sup>1)</sup>	65	35	2740	0,91	wie bei 1	Bleiplatte 3 cm tiefe Ausbuchtung mit einem Durchmesser von 19 cm.	In kleinere, gezackte Stücke gleichmäßig zerlegt.	Salzreste wurden nicht mehr vorgefunden. Die Schwaden rochen nach schwefeliger Säure.	Ausgeprägte Explosion
8	65	35	2750	0,91	wie bei 1				

<sup>1)</sup> Anmerkung: s. Abbildungen Fig. 19 und 20.

Chemische Untersuchung der aus Silo 110 stammenden und aus Silo 112 entnommenen Proben.

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Art der Probe		Ammonsalpetergehalt nach								Ammonsulfatgehalt				
		Ort der Entnahme	Probentnehmer	Schulze-Tiemann (Stickoxyd auf Prozente Ammonsalpeter umgerechnet)				Lunge-Lubarsch				Aus Bariumsulfat umgerechnet				
				a	b	c	Mittel	a	b	Mittel	Ammonsalpetergehalt in %	a	b	c	Mittel	
1	I	Aufgesammelte Brocken, angeblich aus Silo 110	Vom Untersuchungsrichter einges.	46,5	—	—	46,5	—	—	—	—	—	53,4	52,1	—	52,8
2				49,3	—	—	49,3	—	—	—	—	—	49,9	50,0	—	50,0
3		Am Sprengtrichterrand (Silo 110) entnommen		48,7	—	—	48,7	—	—	—	—	—	51,8	51,4	—	51,6
4				49,2	—	—	49,2	—	—	—	—	—	46,5	46,8	48,7	47,3
5	II	Proben aus Silo 112	Vom Untersuchungsrichter eingesandt	51,7	49,7	—	50,7	—	—	—	—	—	48,9	49,6	47,9	48,8
6				74,7 <sub>8</sub>	75,2 <sub>8</sub>	—	74,9	—	—	—	—	—	18,3	20,9	21,4	20,2
7				75,1	—	—	75,1	—	—	—	—	—	20,0	21,2	—	20,6
8				91,1	90,5	—	90,8	—	—	—	—	—	6,5	6,9	—	6,7
9	III	Die Proben (400—500 g) wurden aus verschiedenen Schichten des Salzrestes am 15. XI. entnommen (Silo 112)	Dr. Haid	51,4	—	—	51,4	—	—	—	—	—	47,9	47,6 <sub>9</sub>	—	47,8
10				53,8 <sub>2</sub>	—	—	53,8	—	—	—	—	—	45,3 <sub>3</sub>	44,7 <sub>5</sub>	—	45,0 <sub>4</sub>
11				49,5 <sub>2</sub>	—	—	49,5	—	—	—	—	—	49,6 <sub>3</sub>	49,6 <sub>7</sub>	—	49,7 <sub>5</sub>
12				43,5 <sub>6</sub>	—	—	43,5	—	—	—	—	—	46,0 <sub>1</sub>	56,4 <sub>7</sub>	—	56,2 <sub>4</sub>
13				51,6	—	—	51,6	—	—	—	—	—	48,5 <sub>1</sub>	48,1 <sub>7</sub>	—	48,3 <sub>4</sub>
14				49,1 <sub>7</sub>	—	—	49,1	—	—	—	—	—	52,1 <sub>8</sub>	51,7 <sub>8</sub>	—	51,9 <sub>8</sub>
15				44,7 <sub>9</sub>	—	—	44,7	—	—	—	—	—	56,0 <sub>2</sub>	56,3 <sub>7</sub>	—	56,2
16				53,2 <sub>1</sub>	—	—	53,2	—	—	—	—	—	45,8 <sub>8</sub>	46,5 <sub>3</sub>	—	46,1 <sub>8</sub>
17				44,4 <sub>4</sub>	—	—	44,4	—	—	—	—	—	56,8 <sub>0</sub>	56,4 <sub>3</sub>	—	56,6 <sub>2</sub>
18				52,8 <sub>4</sub>	—	—	52,8	—	—	—	—	—	46,4 <sub>1</sub>	46,8 <sub>0</sub>	—	46,3 <sub>5</sub>
19	I	<sup>1)</sup> Stapel im Silo 112 1,5 m ü. Sohle	Prof. Lenze und Kast	68,0	69,7	70,7	69,4	12,50	12,63	12,61	72,06	26,5	26,4	27,1	26,7	
20	II	Auf halber Höhe dess. Haufens 3 m ü. Sohle		70,8	71,1	70,8	70,9	12,61	12,53	12,57	71,83	24,6	24,7	24,2	24,5	
21	III	Auf dem Gipfel desselben Haufens 5 m ü. Sohle		47,1	—	48,4	47,7	8,50	8,51	8,51	48,63	30,3	49,6	—	50,0	
22	IV			46,1	—	46,2	46,2	8,25	8,23	8,24	47,09	50,4	48,3	—	49,9	
23	V	Haufen am Westrand der Südseite		45,3	—	45,3	45,3	8,44	8,33	8,39	47,94	56,0	33,1	—	54,2	
24	VI	Haufen am Ostrand der Südseite		46,4	—	46,0	46,2	8,18	8,2	8,15	46,58	53,0	51,1	—	52,0	

<sup>1)</sup> s. Skizze zur lfd. Nr. 19—24.

(Fortsetzung folgt.)

# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.

Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen, 21. Jahrgang, 1926, Nr. 7.

(Fortsetzung.)

Chemisch-Technische Reichsanstalt.

Berlin, den 24. Juni 1922.

## II. Gutachten

### über die Explosion in Oppau.

In dem Gutachten der Reichsanstalt vom 30. XI. 1921 (Bericht Nr. 14 des 34. Ausschusses des Reichstages) ist ausgeführt worden, daß aller Wahrscheinlichkeit nach ein Sprengschuß die Ursache der Explosion in Oppau gewesen ist. Der Beweis hierfür ist allerdings nicht erbracht worden, doch sind seitdem keine Feststellungen gemacht worden, die für ein anderes Zustandekommen der Explosion mehr sprechen würden (vergl. das Gutachten der Reichsanstalt vom 24. Juni 1922).

Die weiteren sprengtechnischen Untersuchungen und Versuche sind daher in der Richtung durchgeführt worden, die besonderen Umstände, die die Uebertragung der Explosion der Sprengpatrone auf das Düngesalz im Silo 110 verursacht oder begünstigt haben können, festzustellen.

Die Ergebnisse der in dem ersten Gutachten beschriebenen sprengtechnischen Versuche ließen die Möglichkeit zu, daß die Explosion durch das Vorhandensein von Nestern oder Schichten von ammonsalpeterreicherem Ammonsulfatsalpeter zustande gekommen sei. Es wurde aber schon damals ausdrücklich betont, daß auch noch andere ungünstige Momente für die Uebertragung eines Sprengschusses auf das Düngesalz in Frage kämen; so besonders die physikalische Beschaffenheit des in dem Silo 110 vorhanden gewesenen Düngesalzes, sowie ferner Art und Stärke der Zündung und der Verdämmung, Feuchtigkeitsgehalt u. a.

Die neueren Versuche der Reichsanstalt sind nun im wesentlichen nach zwei Richtungen hin fortgeführt worden. Es wurden zunächst noch ausgedehntere Untersuchungen vorgenommen, um festzustellen, ob sich für die Annahme des Vorhandenseins ammonsalpeterreicherer Nester in dem Düngesalz noch weitere Stützpunkte finden ließen. Weiterhin wurde auf experimentellem Wege zu klären gesucht, welchen Einfluß eine verschiedenartige physikalische Beschaffenheit der Düngesalze, die Art und Stärke der Zündung, die Art der Verdämmung usw. ausüben. Die Ergebnisse der ersteren Untersuchungen sind in den Berichten der Reichsanstalt vom 14. I. 22 und vom 19. I. 22 (Bericht Nr. 19 und Nr. 21 des 34. Reichstagsausschusses) niedergelegt. Die Ergebnisse der Untersuchungen und Versuche über den Einfluß der physikalischen Beschaffenheit usw. sind ausführlich in dem beiliegenden Bericht über die „Fortsetzung der sprengtechnischen und chemischen Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters“ behandelt worden.

Was zunächst die chemischen (analytischen) Untersuchungen der noch nachträglich entnommenen sehr zahlreichen Proben Ammonsulfatsalpeter betrifft, so ist festgestellt worden, daß keine dieser Proben eine derartig abweichende chemische Zusammensetzung aufwies, wie die in der ersten Zeit untersuchten Proben, die vom Untersuchungsrichter und Mitgliedern der Reichsanstalt entnommen waren (Ende September 1921) und die z. T. erheblich mehr als 50% Ammonsalpeter enthielten; vergl. Bericht der Reichsanstalt vom 20. XI. 1921.

Von den vorstehend erwähnten neueren Proben hatten die auf Veranlassung des Aufsichtsbeamten der Berufsgenossenschaft der Chemischen Industrie, Ingenieur Stöpel, im Dezember 1921 im Silo 112 entnommenen 23 Proben bis auf zwei, die auch nur etwa 54% Ammonsalpeter enthielten, eine normale Zusammensetzung 50 T. Ammonsalpeter: 50 T. Ammonsulfat. Die auf

Veranlassung des Reichstagsausschusses in den Düngesalzlagern in Holzminden und Dormagen entnommenen Proben (46) besaßen ebenfalls einen normalen Ammonsulfatpetergehalt.

Aus den Ergebnissen der in der Reichsanstalt ausgeführten analytischen Untersuchungen der Ammonsulfatsalpeterproben geht also hervor, daß von im ganzen etwa 100 Proben nur 5, davon je 2 an derselben Stelle entnommen, einen von der normalen Zusammensetzung erheblich abweichenden Ammonsulfatsalpetergehalt hatten. 95 Proben hatten die richtige Zusammensetzung oder zeigten doch nur eine geringfügige Abweichung. Bemerkenswert ist auch, daß die erstgenannten 5 Proben zu den aus dem Silo 112 entnommenen 18 Proben gehörten, also nicht dem durch Explosion zerstörten Silo 110 entstammten.

Die auf Grund der früheren Untersuchungen gemachte Annahme, daß in dem Silo 110 ammonnitratreichere Nester vorhanden gewesen seien, findet somit durch die später vorgenommenen Untersuchungen keine neue Stütze.

Die in der zweiten Richtung vorgenommenen neueren Versuche der Reichsanstalt haben ergeben, daß die Explosionsfähigkeit des Düngesalzes tatsächlich nicht unwesentlich von der physikalischen Beschaffenheit des Salzes, insbesondere der Größe der Krystalle und der kubischen Dichte der Masse beeinflusst wird. So hat sich gezeigt, daß ein Mischsalz von ungleichmäßiger physikalischer Beschaffenheit bei kleiner Korngröße des Ammonsalpeters und bei großer des Ammonsulfates leichter durch eine Initialzündung zum explosiven Zerfall gebracht wird, als das Düngesalz von normaler physikalischer Beschaffenheit. Bei einer solchen abweichenden Beschaffenheit des Ammonsulfatsalpeters konnte bei starker Initialzündung und in verschlossenen Eisenröhren das Düngesalz bereits bei einem Ammonsalpetergehalt von 40–45% zur Explosion gebracht werden.

Es ist nun wahrscheinlich, daß das nach dem neuen Fabrikationsverfahren (Spritzverfahren) gewonnene Düngesalz eine andere physikalische Beschaffenheit hatte als das nach dem alten Fabrikationsverfahren hergestellte Salz, und daß dadurch die Uebertragung der Explosion von den Sprengpatronen auf die Salzmasse begünstigt worden ist.

Auch die Art, wie sich der Ammonsulfatsalpeter bei dem Spritzverfahren in dem Silo absetzte und dort lagerte (Anm.), kann von Einfluß gewesen sein. Es ist denkbar, daß ein in dünnen Schichten abgesetztes feineres und lockeres Material von stärkeren Schichten festeren Materials überlagert worden ist, so daß das feinere Produkt sich gewissermaßen in stärkerer Verdämmung befand.

Schließlich können auch noch andere Umstände, wie ein besonders niedriger Feuchtigkeitsgehalt und vielleicht auch die etwas erhöhte Temperatur des Salzes eine gewisse Rolle bei der Explosionsübertragung von dem Sprengschuß auf die Düngesalzmasse gespielt haben.

Die experimentellen sprengtechnischen Versuche, die den Zweck hatten, die Faktoren festzulegen, welche die Uebertragung einer Explosion von dem Sprengschuß auf das Düngesalz begünstigen konnten, sind damit zu einem gewissen Abschluß gekommen. Bei der Tragweite der aus den Versuchsergebnissen zu ziehenden Schlußfolgerungen ist es aber notwendig, nochmals zu

Anmerkung. Der Bayerische Untersuchungsausschuß hat auf Grund seiner Feststellungen über das Fabrikationsverfahren angenommen, daß sich beim Spritzen ein Teil des Salzes (schwere Kristalle) schnell absetzt, während ein anderer Teil als feiner Staub allmählich niederfällt.

betonen, wie dies auch schon in dem ersten vorläufigen Gutachten der Reichsanstalt vom 4. X. 21 geschehen ist, daß sich die Versuchsergebnisse auf die Verhältnisse, wie sie in der Wirklichkeit vorgelegen haben, nicht direkt übertragen lassen. Wenn also gezeigt worden ist, daß das Salz bei Anwendung starker Initialzündungen in geschlossenen eisernen Röhren (Zylindern) bei entsprechender physikalischer Beschaffenheit schon bei einem Gehalt von 45 % Ammonsalpeter zur Explosion gebracht werden kann, so ist daraus noch nicht zu folgern, daß ein Ammonsulfatsalpeter von derselben chemischen Zusammensetzung und physikalischen Beschaffenheit unter anderen Bedingungen, z. B. wenn eine andere Initialzündung (Perastralit gegenüber gepreßter Pikrinsäure) bei gleichzeitig schwächerer Verdämmung benutzt wird (Anm.), ebenfalls zur Explosion kommen muß. Es ist vielmehr nur bewiesen, daß ein solcher Ammonsulfatsalpeter unter Bedingungen, unter denen das analoge Salz von normaler physikalischer Beschaffenheit nicht gezündet wird, zur Explosion kommen kann.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß die Erkenntnis, die aus den neueren ausgedehnten Untersuchungen der Reichsanstalt, insbesondere auch den Sprengversuchen mit großen Mengen Ammonsulfatsalpeter (bis zu 150 kg) und aus sonstigen Feststellungen gewonnen ist, zu der Annahme führt, daß die Katastrophe in Oppau mit der Aenderung des Fabrikationsverfahrens, d. h. mit dem Uebergang von dem alten Mischverfahren zu dem neuen Spritzverfahren, im Zusammenhange steht. Hierfür spricht auch die Tatsache, daß in dem nach dem alten Fabrikationsverfahren hergestellten Salz etwa 20000 Sprengschüsse in den Silos anstandslos abgegeben worden sind.

Es besteht wohl kein Zweifel, daß der nach dem neuen Verfahren hergestellte Ammonsulfatsalpeter in anderer physikalischer Beschaffenheit angefallen ist und sich auch in anderer Form wie das vordem hergestellte Produkt in den Silos abgesetzt hat. Auch die Möglichkeit, daß das Düngesalz in seiner chemischen Zusammensetzung in kleinen Partien von der normalen Beschaffenheit abgewichen ist, läßt sich, obwohl die analytischen Untersuchungen der zuletzt entnommenen zahlreichen Proben hierfür keine neuen Anhaltspunkte ergeben haben, besonders auch nach den Ermittlungen des bayerischen Untersuchungsausschusses nicht ganz von der Hand weisen. Schließlich können auch die durch das neue Fabrikationsverfahren bedingte andersartige Schichtung der lagernden Salzmasse, sowie deren erhöhte Temperatur und niedriger Feuchtigkeitsgehalt, weiterhin auch eine verstärkte Initialzündung eine Rolle mitgespielt haben. Danach kommt man zu dem Schluß, daß eine Reihe unglücklicher Umstände bei der Katastrophe zusammengewirkt hat, die z. T. mit der Aenderung des Fabrikationsverfahrens im Zusammenhange stehen.

Dr. Bergmann. Dr. Lenze. Dr. Kast.

Chemisch-Technische Reichsanstalt. Berlin, den 24. Juni 1922.

### Fortsetzung

der sprengtechnischen und chemischen Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters.

In dem Gutachten der Chemisch-Technischen Reichsanstalt vom 30. XI. 1921, insbesondere in der Zusammenstellung „Ueber die sprengtechnische und chemische Untersuchung des Ammonsulfatsalpeters“, ist ausgeführt worden, daß bei normaler Beschaffenheit des Ammonsulfatsalpeters die Gefahr einer Explosion durch Initialzündung erst dann nahe liegt, wenn der Gehalt an Ammonsalpeter etwa 60 % erreicht, also den üblichen

Anmerkung. Bedingungen, wie sie etwa im Silo 110 vorlagen.

Gehalt um 10 % überschreitet. Bei niedrigerem Gehalt an Ammonsalpeter konnte bei den Versuchen das Mischsalz nicht zur Explosion gebracht werden. Es ist aber an derselben Stelle bereits angegeben worden, daß außer der chemischen Zusammensetzung auch die physikalische Beschaffenheit des Salzes und die äußeren Umstände, wie Stärke der Initialzündung, Bohrlochanordnung, Verdämmung usw. von Einfluß auf die Explodierbarkeit sein können.

Zur Prüfung dieser Verhältnisse sind die chemischen und sprengtechnischen Untersuchungen in der Reichsanstalt fortgesetzt worden.

### I. Chemische Untersuchung.

Die Ergebnisse der chemischen Untersuchung, die sich auf die Analyse weiterer Ammonsulfatsalpeterproben erstreckte, sind bereits in zwei kurzen Berichten vom 14. I. 22 und vom 19. I. 22 niedergelegt worden.

Die Probeentnahme erfolgte an drei verschiedenen Orten auf Veranlassung des parlamentarischen Ausschusses (vgl. die Protokolle über die vierte Sitzung S. 15/16 und über die fünfte Sitzung S. 8), einmal an einem im Silo 112 verbliebenen Resthaufen und zwar durch den technischen Aufsichtsbeamten Ingenieur Stöpel im Beisein der Betriebsleitung und des Arbeiterrats und weiter in den Zwischenlagern von Holzminden und Dormagen durch einen Vertreter der Chemisch-Technischen Reichsanstalt. Bei der Probeentnahme besonders im Silo 112 wurde Wert darauf gelegt, daß die für die Untersuchung bestimmten Proben aus verschiedenen tiefen Schichten der Salzhaufen entnommen wurden.

Während an den in den Zwischenlagern entnommenen Proben überhaupt keine nennenswerten Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung festgestellt werden konnten, was wohl dem Umstand zuzuschreiben ist, daß das Salz vor dem Verladen in die Eisenbahnwagen noch durch eine Mühle gegangen war, wodurch eine weitere Vermischung stattgefunden hatte, waren an den im Silo 112 entnommenen Proben geringe Schwankungen nachweisbar. Die Beurteilung des Ergebnisses wurde aber in letzterem Falle zum Teil dadurch beeinträchtigt, daß bei der Probeverteilung und Versendung an die Untersuchungsstellen offenbar ein Versehen vorgekommen war. Gerade diejenigen beiden Proben, die die größten Schwankungen zeigten (54 % und 44 % Ammonsalpeter), hatten bei der Untersuchung in der Chemisch-Technischen Reichsanstalt ein anderes Ergebnis als bei den Untersuchungen, die von Professor Gutbier und von der Badischen Anilin- und Sodafabrik ausgeführt worden sind. Es ist anzunehmen, daß die betreffenden der Reichsanstalt übersandten Probeflaschen verwechselt worden sind. Ist dies der Fall, und nimmt man die Worte von Prof. Gutbier und der Badischen Anilin- und Sodafabrik als richtig an, so kann man wenigstens den Schluß ziehen, daß die gefundenen geringen Abweichungen in der chemischen Zusammensetzung sich nicht nur auf die Oberfläche des Salzhaufens, sondern auch auf die Tiefe erstreckten, daß sie also nicht nachträglich beim Lagern an freier Luft durch oberflächliche Auslaugungen hervorgerufen sein können.

Die bei einer anderen Probe festgestellte Abweichung im Ammonsalpetergehalt (35 %) ist ohne Belang, da es sich um ein Gemisch mit Torf handelte, das eine andere Zusammensetzung hatte und daher mit dem unvermischten Düngesalz nicht verglichen werden kann.

### II. Sprengtechnische Untersuchung.

Die sprengtechnische Untersuchung, die, wie erwähnt, die Bedeutung der physikalischen Beschaffenheit und der äußeren Umstände für die Explodierbarkeit des Salzes aufklären sollte, erstreckte sich auf die Feststellung des Einflusses

1. der Korngröße der Einzelbestandteile,
2. der kubischen Dichte des Salzgemisches,
3. der Festigkeit des Einschlusses (Verdämmung),
4. der Stärke der Initialzündung,
5. der Temperatur und
6. des Feuchtigkeitsgehalts des Gemisches.

#### 1. Korngröße.

Was zunächst den Einfluß der Korngröße der beiden Salze (Ammonsalpeter und Ammonsulfat) betrifft, so wurde bei Vorversuchen im Bleiblock gefunden, daß eine Salzmischung aus grobkörnigem Ammonsulfat und einem im Vergleich dazu feinkörnigen Ammonsalpeter die größte Wirkung gibt, daß sie also auch am leichtesten zum explosiven Zerfall zu bringen ist. Die Ergebnisse dieser Versuche sind in der Tabelle I zusammengestellt. Die Unterschiede in der Sprengwirkung sind bei beiden Reihen (feinkörniger und grobkörniger Ammonsalpeter) an den mit der Korngröße des Ammonsulfats ansteigenden Zahlenwerten erkennbar, sie sind aber nur gering, weil bei der kleinen Menge (10 g) die im Bleiblock angewendet werden kann, der unmittelbare Einfluß der Sprengkapsel stark in die Erscheinung tritt.

Die Versuche wurden daher mit größeren in 10 cm weiten und 37 cm langen schmiedeeisernen Behältern

Tabelle II. Sprengversuche mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat in schmiedeeisernen Rohren von 10 cm Durchmesser und 37 cm Höhe.

Einfluß der Korngröße. Korngröße des Ammonsulfats kleiner als 1 mm; Korngröße des Ammonsulfates 1,5 bis 2 mm.

	Zusammensetzung des Salzes %		Gewicht der Ladung g	Dichte	Zündung	Zerlegung des eisernen Behälters	Wirkung auf die Unterlage (Bleiplatte)	Verhalten des Salzes	Ergebnis
	Ammonsalpeter	Ammonsulfat							
1	55	45	2620	0,9	100 g gepreßte Pikrinsäure	Zylinder in 3 bis 5 cm Breite, oben (in der Nähe des Sitzes der Zündladung) mehr, unten weniger gezackte Stücke vollständig zerlegt	Auf der Bleiplatte wurde eine 16 cm breite, 3 cm tiefe Ausbauchung bewirkt	Das Salz wurde restlos vergast	Explosion
2 <sup>1)</sup>	50	50	2640	0,9		Behälter in schmale, wenig gezackte Stücke zerlegt	16 cm breite, 3 cm tiefe Ausbauchung	Salz vergast	Explosion
3 <sup>2)</sup>	45	55	2580	0,9		Behälter in 5 bis 7 cm breite gezackte Stücke zerlegt	16 cm breite, 3 cm tiefe Ausbauchung	Salz vergast	Explosion
4	40	60	2450	0,95		Behälter in 5 bis 10 cm breite gezackte Stücke zerlegt	16 cm breite, 2,5 cm tiefe Ausbauchung	Salz vergast	Explosion
5 <sup>3)</sup>	30	70	2800	0,85		Behälter in 6 Streifen aufgerissen; am unteren Teil das Rohr noch erhalten	Keine Ausbauchung auf der Bleiplatte	Salz zum groß. Teil wied. vorgefunden	keine Explosion

1) S. Fig. 21 und 22. 2) S. Fig. 23. 3) S. Fig. 24.

Sprengversuch mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat. Einfluß der Korngröße (zu Tabelle II Nr. 2).

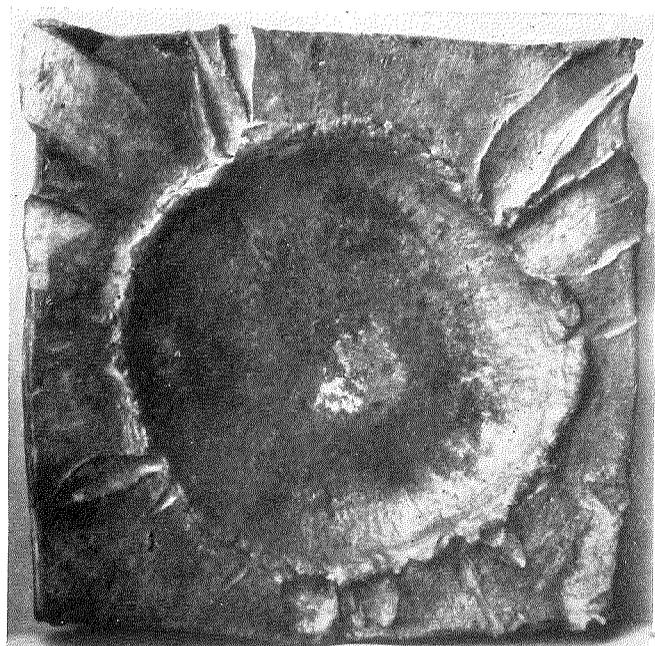


Fig. 21.



Fig. 22.

Tabelle I.  
Sprengwirkung von Ammonsalpetersulfat 60/40 bei verschiedener Korngröße.

Korngröße in mm für Ammonsalpeter	Korngröße in mm für Ammonsulfat	Höhe der Patrone mm	Ladedichte	Sprengwirkung ccm
0,1 bis 0,5	0,1 bis 0,5	27	0,76	115
	1,0 bis 1,25	28	0,73	120
	1,5 bis 2,0	29	0,70	125
1,5 bis 3,0	0,1 bis 0,5	31	0,68	65—85
	1,0 bis 1,25	32	0,65	115
	1,5 bis 2,0	33	0,62	120

von 4 mm Wandstärke eingeschlossenen Salzmenge fortgesetzt. Es wurde dabei gefunden, daß Gemische, die die oben genannte für die Uebertragung günstigste Körnung bei dem gewählten starken Einschluß besaßen, noch mit einem Gehalt von 40 t Ammonsalpeter zur Explosion gebracht werden können (s. Tabelle II). Es zeigt sich also, daß bei einer physikalischen Beschaffenheit wie sie die gewählte Mischung aufweist, die bei den Vorversuchen als die scheinbar günstigste herausgegriffen wurde, die Grenze der Explodierbarkeit, ausgedrückt in dem Gehalt an Ammonsalpeter um 20 % nach unten verschoben wird.

Sprengversuch mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat.  
Einfluß der Korngröße (zu Tabelle II Nr. 3).



Fig. 23.

Die Erklärung für dieses auffällige Verhalten liegt darin, daß durch die groben Teile des an sich nicht explodierbaren Ammonsulfats der Zusammenhang des explosiven Ammonsalpeters verhältnismäßig wenig unterbrochen wird, während bei gleichmäßiger Verteilung der fein gemahlten Bestandteile jedes Teilchen Ammonsalpeter nach allen Seiten durch nicht explosive Ammonsulfateilchen, die die Explosionsübertragung im Ammonsalpeter erschweren, begrenzt wird.

### 2. Kubische Dichte.

Aus der in Tabelle III enthaltenen Zusammenstellung geht hervor, daß die Sprengwirkung eines Gemisches aus 65 Teilen Ammonsalpeter und 35 Teilen Ammonsulfat mit zunehmender Dichte rasch abnimmt, daß der explosive Zerfall bei den Mischungen, deren kubische Dichte 1,2 übersteigt, nur noch unter ganz besonders starkem Einschluß (d. h. unter starker Verdämmung) ausgelöst werden kann, und daß bei fehlendem oder geringem äußeren Widerstand (3 mm starke Pappzylinder von 10 cm Durchmesser) die eingeleitete Explosion auch in der aufgelockerten Masse von der kubischen Dichte 1,0 nicht fortgepflanzt wird.

Was andere Mischungsverhältnisse betrifft, so ist zu bemerken, daß je niedriger ihr Ammonsalpetergehalt ist, desto niedriger auch diese Grenzdichte sein wird, daß aber ein Vergleich der absoluten Werte der einzelnen Mischungen nicht möglich ist, da mit sinkendem Ammonsalpetergehalt auch der absolute Wert der Dichte sinkt.

### 3. Einschluß (Verdämmung).

Die Versuche haben also ergeben, daß eine höhere kubische Dichte durch eine stärkere Verdämmung ausgeglichen werden kann, und daß für die Uebertragung der Explosion in den fraglichen Gemischen neben einer nicht zu hohen kubischen Dichte (obere Grenze für Ammonsulfatsalpeter etwa 1,15) ein fester Einschluß erforderlich ist.

Auch bei Ammonsalpeter ist ein solcher fester Einschluß nötig, wie 3 besondere Versuche gezeigt haben, bei denen 3,0–3,3 kg, die in einen Papierbeutel eingefüllt waren, mit 100 g gepreßter Pikrinsäure als Initialladung gesprengt wurden. Das Salz explodierte jedesmal mit gelbbrauner Rauchwolke. Beim ersten Versuch

wurde ein untergelegtes 2 1/2 cm starkes Holzbrett vollständig zersplittert, beim zweiten Versuch aber nur ein ganz flacher, beim dritten Versuch jedoch ein ausgesprochener 23 cm tiefer Sprengtrichter erzeugt.

Zur Feststellung, ob diese Beobachtungen sich bei Sprengversuchen in größerem Maßstabe bestätigen würden, wurde ein zylindrisches Holzfaß mit etwa 150 kg lose geschichtetem Ammonsulfatsalpeter, der aus Oppau bezogen worden war und nach der Analyse einen Ammonsalpetergehalt von 48,1% besaß, so tief in gewachsenen Sandboden eingegraben, daß der obere Rand des Fasses sich 30 cm unter der Erdoberfläche befand. Nachdem noch eine Sandschicht von 70 cm Höhe aufgeworfen worden war, wurde eine in der Mitte des Ammonsulfatsalpeters eingesetzte Sprengladung aus vier Perastralitpatronen mit Hilfe von zwei Sprengkapseln und Zündschnur gezündet. Das Ergebnis war negativ. Bei der Zündung machte sich nur ein ganz schwaches, von der detonierenden Sprengladung herrührendes Geräusch bemerkbar. Der Versuch wurde daher mit Mischungen von höherem Ammonsalpetergehalt wiederholt. Aber selbst bei 70% Ammonsalpeter trat unter denselben Versuchsbedingungen nur eine kleine Teilexplosion des Salzes ein. Nach Verstärkung der Initialzündung, d. h. Verwendung von 500 g Pikrinsäure an Stelle der insgesamt 320 g Perastralit wurden bei Mischungen mit 60 und 55% Ammonsalpeter bessere Wirkungen erzielt, doch handelte es sich auch hier nur um mehr oder weniger große Teilexplosionen. Trotzdem also das Salz lose geschichtet war und der Feuchtigkeitsgehalt nicht mehr als 2% betragen und der Ammonsalpetergehalt den des normalen Ammonsulfatsalpeters zum Teil weit überschritten hatte, war die Verdämmung durch eine etwa 1 m hohe Sandschicht nicht ausreichend gewesen, um eine vollständige Explosion des Salzes herbeizuführen.

(Fortsetzung folgt.)

Sprengversuch mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat.  
Einfluß der Korngröße (zu Tabelle II Nr. 5).  
(Eindruck auf der Bleiplatte wie Fig. 18b im 1. Gutachten.)

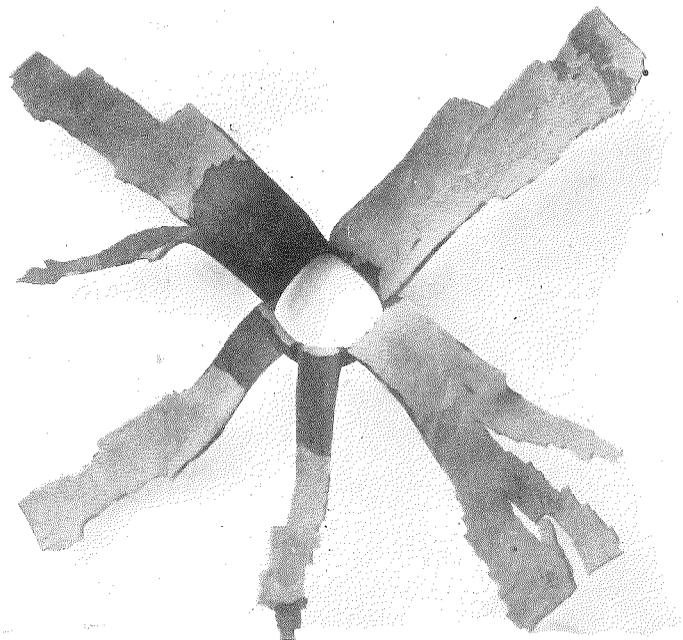


Fig. 24.

# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.  
Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen.  
21. Jahrgang, 1926, Nr. 8.

(Fortsetzung.)

Ueber die Einzelheiten dieser Versuche s. die Zusammenstellung in Tabelle IV.

## 4. Zündung.

Es war von vornherein anzunehmen, daß bei der schweren Detonierbarkeit des Salzes der explosive Zerfall nur durch einen starken Initialimpuls herbeigeführt werden kann. So konnte Ammonsalpeter (2300 g) in 4 mm starken und 10 cm weiten eisernen Behältern mit 100 g Schwarzpulver nicht zur Explosion gebracht werden. Das lose geschichtete Salz wurde vielmehr durch die Explosion der Schwarzpulverladung nur zusammengestaucht, ohne selbst eine explosive Wirkung

zu äußern. Erst bei Anwendung brisanter Sprengstoffe als Uebertragungsladung gelang es, die eingeleitete Explosion fortzupflanzen.

Um festzustellen, welchen Einfluß die Art und Menge der Zündladung ausübt, wurden Versuche mit Pikrinsäure im Vergleich zu Perastralit angestellt. Die dabei erhaltenen in Tabelle V eingetragenen Ergebnisse lassen erkennen, daß bei Einschluß des Mischsalzes 60/40 in 4 mm starken schmiedeeisernen Behältern eine Patrone von 80 g lose gestopfter Pikrinsäure oder eine Patrone von 80 g Perastralit für die Fortpflanzung der Explosion in dem Salz nicht immer ausreichend ist, insofern als bei einem ersten Versuch mit Perastralit eine gute Wir-

Tabelle III.

Sprengversuche mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat in schmiedeeisernen Rohren von 10 cm Durchmesser und 37 cm Höhe, 10 cm Stahlgranaten und 3 mm starken Pappbüchsen bei verschiedener Dichte.

Einfluß der Dichte und des Einschlusses.

Nr.	Zusammensetzung des Salzes		Gewicht der Ladung g	Dichte	Zündung	Art des Behälters	Zerlegung des Behälters	Wirkung auf die Unterlage Bleiplatte	Verhalten des Salzes	Ergebnis
	Ammonsalpet. %	sulfat %								
1	65	35	ca. 3000	1,15	100 g gepreßte Pikrinsäure	Schmiedeeisernes Rohr	Der Zylinder wurde in zackige Stücke vollständig zerlegt.	18 cm breite und 3,5 cm tiefe Ausbauchung.	Salz wurde vollständig vergast.	Explosion
2 <sup>1)</sup>	65	35	ca. 3000	1,20	100 g		Der Zylinder wurde in der oberen Hälfte in zackige Stücke zerlegt, in der unteren in breite Lappen unvollständig aufgefaltet.		Salz zum Teil noch vorhanden.	Keine Fortpflanzung der Explosion.
3	65	35	ca. 3000	1,20	300 g		Zerlegung wie bei 2.	Keine Ausbauchung.	Salz zum Teil noch vorhanden.	
4 <sup>2)</sup>	65	35	1650	1,23	100 g	10 cm Stahlgranate	Das Geschloß wurde in glatte Stücke zerlegt; der Boden in 4 Teile zerspalten, die durch ein Führungsband noch zusammengehalten werden.	—	An den Bruchstücken des Bodens Salzreste.	Unvollständige Explosion.
5	65	35	1760	1,27	100 g		Das Geschloß wurde in der unteren Hälfte in lange glatte Stücke zerlegt. Der Boden blieb vollständig erhalten.	—	Auf dem Boden eine ca. 10 cm hohe Salzschieht unversehrt erhalten.	
6	60	40	3520	1,0	100 g	Pappbüchse von 12 cm Durchmesser, 3 mm Wandstärke <sup>3)</sup>		Keine Ausbauchung. Erdtrichter 50 cm tief und 1 m breit.	Salz zum Teil wieder vorgefunden, zum Teil vergast und zerstreut.	Keine Fortpflanzung der Explosion.
7	70	30	3520	1,0	100 g					
8	60	40	7080	0,9	100 g	1 m lang. schmiedeeisernes Rohr	Das Rohr wurde in zackige Stücke vollständig zerlegt.	6—7 cm tiefe, 18 cm breite Ausbauchung.	Salz vollständig vergast.	Explosion.

<sup>1)</sup> S. Fig. 25. <sup>2)</sup> S. Fig. 26. <sup>3)</sup> Die Behälter wurden 90 cm tief in den Waldboden eingegraben.

Sprengversuch mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat,  
Einfluß der Dichte und des Einschusses (zu Tabelle III Nr. 2).



Fig. 25.

kung, bei einem zweiten eine mangelhafte eintrat, während die Wirkung der Pikrinsäure zwischen derjenigen der beiden Perastralitpatronen lag. Die beiden Sprengstoffe zeigen also bei Mengenverhältnissen, wie sie dem Gewicht einer Bergwerkspatrone entsprechen, keinen merklichen Unterschied in ihrer Wirkung als Uebertragungsladung, wie ja auch ihre Brisanz bei derselben kubischen Dichte nicht nennenswert verschieden ist. Jedenfalls stellt eine Sprengstoffmenge von 80 g für die gewählte Versuchsanordnung ungefähr die untere Grenze einer ausreichenden explosiven Zündung dar, da 50 g gepreßte Pikrinsäure, welche in ihrer brisanten Wirkung 80 g loser etwa gleichkommen, nicht mehr ausreichen, die Explosion des Salzes herbeizuführen. Andererseits war bei gepreßter Pikrinsäure eine Zunahme der Wirkung des Salzes durch Steigerung der Menge der Zündladung von 100 auf 300 und 400 g (s. I. Gutachten vom 30. XI. 21) nicht mehr zu beobachten.

Es muß hier aber betont werden, daß nicht nur zwischen Dichte und Verdämmung eine bestimmte Beziehung besteht, sondern daß auch der hemmende Einfluß hoher Dichte oder der ungenügende Widerstand eines schwächeren Einschusses durch den Impuls einer stärkeren Initialzündung ausgeglichen werden kann, daß also die Explodierbarkeit bei bestimmter Dichte und Anordnung des ganzen Systems weitgehend von der Initialzündung abhängt. In diesem Zusammenhang wird nochmals auf das Ergebnis der größeren Sprengversuche mit 150 kg Ammonsulfatsalpeter verschiedener Zusammensetzung hingewiesen (s. S. 36).

Im Anschluß an die Prüfung des Einflusses der Zündung war es nötig, festzustellen, ob die Explosion in dem Salzgemisch unter den bisher angewandten Versuchsbedingungen auch noch auf größere Entfernungen, als sie durch den beschränkten Raum der 37 cm langen Eisenröhren gegeben sind, fortgepflanzt wird, und wie die explosionsartige Zersetzung der Ammonsulfatsalpetergemische verläuft. Es war von

dem Unterzeichneten bei den Verhandlungen des parlamentarischen Ausschusses in Ludwigshafen am 5. Dezember 1921 ausgeführt worden, daß man sich die explosive Zersetzung des Ammonsulfatsalpeters, wie er in Oppau vorlag, und ähnlicher Gemische derart vorzustellen hat, daß unter dem unmittelbaren Einfluß einer kräftigen Zündladung eine größere Menge des die Zündladung umgebenden Salzes in gasförmige Stoffe zerfällt, und daß bei dieser Umsetzung freierwerdende Energie sich auf die Nachbarschichten überträgt und eine weitere Zersetzung hervorruft. Da aber die Energie nicht unter allen Umständen ausreicht, um einen gleichmäßig fortschreitenden Zerfall zu bewirken, nimmt die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der ausgelösten Reaktion ab, bis sie in größerer oder geringerer Entfernung vom Zündungspunkt erlischt. Ein solcher Vorgang tritt nicht nur bei derartig explosionsunempfindlichen Massen, wie dem Ammonsulfatsalpeter, sondern bei allen Sprengstoffen ein, wenn der Einschluß zu schwach ist und ihre Dichte einen zu hohen Grad erreicht. Dieser Vorgang hat offenbar auch bei der

Explosion im Salzlager des Silos 110 stattgefunden, da nicht die ganze Menge des Lagers, sondern schätzungsweise nur etwa der zehnte Teil desselben explodiert ist.

Man konnte daher zweifelhaft sein, ob die an der Ausbauchung der untergelegten Bleiplatte festgestellte Uebertragung der Explosion in den Salzgemischen sich nicht nur auf die verhältnismäßig kurze Strecke, wie sie durch die 37 cm lange Röhre gegeben war, sondern auch auf längere Strecken ausdehnte, und es wurde daher zur Klärung dieser Frage ein Sprengversuch in einem 1 m langen Rohr ausgeführt (s. Tabelle III Nr. 8). Aber auch hier zeigte sich an der Zerlegung des Rohrs und der Aufbauchung der Bleiplatte, daß die Explosion durch das ganze Rohr fortgepflanzt worden war, daß das Ergebnis somit dasselbe geblieben war, wie bei den früheren Versuchen.

Sprengversuch mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat,  
Einfluß der Dichte und des Einschusses (zu Tabelle III Nr. 4).



Fig. 26.

Tabelle IV.

Sprengversuche mit 130 kg Ammonsulfatsalpeter in Holzfässern bei verschiedenem Gehalt an Ammonsalpeter.

Nr.	Mischung aus		Feuchtigkeit %	Anordnung für die Sprengung	Dichte des Salzes	Zündung	Verhalten des Salzes beim Sprengversuch	Befund	
	Ammon- sulfat %	Ammon- salpeter %							
1	Angegeben		Durch Analyse gefunden	Das von Oppau bezogene Salzgemisch wurde zerkleinert, gesiebt und in zylindrische Holzfässer (von 45 cm Durchmesser und 75 cm Höhe) eingefüllt. Die Fässer wurden in gewachsenen Sandboden 1,7 m tief versenkt und etwa 1 m Sand über den Faßdeckel aufgeworfen.	0,84	4 Patronen Perastralit 25 cm unter dem Faßdeckel mit 2 Sprengkapseln Nr. 8.	Das Salz wurde nicht zur Explosion gebracht und nur ein ganz kleiner Erdaufwurf, wie er der angewandten Zündladung entspricht, bewirkt.	Nicht explodiert	
2	45	55	56		2,25	0,96	500 g kristallinische Pikrinsäure in einem Strang von 5,5 cm Durchmesser 25 cm unter dem Faßdeckel mit 2 Sprengkapseln.	Der Sand wurde strahlenförmig mehrere Meter hochgeschleudert und eine dichtgeballte weiße Wolke sichtbar. Trichter 2 m breit, 0,8 m tief. Das Salz war zum größeren Teil noch vorhanden, daß Faß nur aufgesplittet.	Teil-explosion
3	40	60	59,5		1	0,91	wie bei 2.	Der Sand wurde strahlenförmig 15 bis 20 m hochgeschleudert und eine weiße, dichtgeballte Wolke sichtbar. Trichter 3,5 m breit, 1,5 m tief. Das Salz war größtenteils explodiert, kleine angeschmolzene Reste fanden sich noch.	Expodiert
4	30	70	71		2	0,95	4 Patronen Perastralit, wie bei 1.	Der Sand wurde einige Meter hochgeschleudert und eine weiße Wolke sichtbar. Trichter 1,6 m breit, 0,5 m tief. Fast die ganze Menge des Salzes wurde wieder gefunden.	Kleine Teil-explosion

Tabelle V.

Sprengversuche mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat in schmiedeeisernen Rohren von 10 cm Durchmesser und 37 cm Höhe.  
Einfluß der Zündung.

	Zusammensetzung des Salzes %		Gewicht der Ladung g	Dichte	Zündung	Zerlegung des eisernen Behälters	Wirkung auf die Unterlage (Bleiplatte)	Bemerkung
	Ammon- salpeter	sulfat						
1 <sup>1)</sup>	60	40	2700	0,9	50 g gepreßte Pikrinsäure (3 cm Durchmesser)	Oben in 6, unten in 2 Teile aufgefaltet.	Keine Ausbauchung.	Das Salz wurde nur zum Teil vergast.
2	60	40	2600	0,9	1 Patrone (80 g) gestopfte Pikrinsäure	In lange, unten glatte Stücke vollständig zerlegt.	Flache, nicht scharf ausgeprägte Höhlung.	Das Salz wurde fast vollständig vergast.
3	60	40	2600	0,9	1 Patrone (80 g) Perastralit	In breite Stücke unvollständig zerlegt.	Keine Ausbauchung.	Das Salz wurde in größerer Menge wiedergefunden.
4	60	40	2550	0,9	1 Patrone (80 g) Perastralit	In breite zackige Stücke zerlegt.	16 cm breite und 2,5 cm tiefe Ausbauchung.	Das Salz wurde fast vollständig vergast.
5 <sup>2)</sup>	60	40	2750	0,9	100 g gepreßte Pikrinsäure 9 cm hoch, 3 cm Durchmesser	In gezackte Streifen zerlegt.	3 cm tiefe, 18 cm breite Ausbauchung.	Das Salz wurde durch die Explosion vollständig vergast.

<sup>1)</sup> S. Fig. 27. <sup>2)</sup> S. Fig. 28 und I. Gutachten Vers. 5 in Anlage II.

Tabelle VI.

## Explosionsgeschwindigkeit von Gemischen aus Ammonsalpeter-sulfat in eisernen Rohren.

	Ammon-		Dichte	Zündung	Rohrdurchmesser	Abstand des ersten Meßdrahtes von der Initiale	Meßstrecke	Explosions- geschwindig- keit	Schwaden
	salpeter %	sulfat %							
1a	70	30	0,76	100 g gepreßte Pikrin- säure	8 cm	35 cm	43 cm	2600 m/Sek.	Dichte weiße Nebel, Geruch nach schwefli- ger Säure und mehr oder weniger nach nitrosen Gasen.
b	70	30	"		"	"	"	2590 "	
2a	70	30	0,87		10 cm	"	"	2850 "	
b	70	30	"		"	"	"	2840 "	
c	70	30	"	"	"	"	"	2810 "	
d	70	30	"	"	"	"	"	2950 "	
3a	60	40	0,88	"	8 cm	"	40 cm	1990 "	"
b	60	40	"		"	"	"	1890 "	
4a	60	40	0,90		"	"	"	2490 "	
b	60	40	"		"	"	"	2420 "	
c	60	40	"	"	"	"	"	2410 "	
d	60	40	"	"	"	"	"	2400 "	

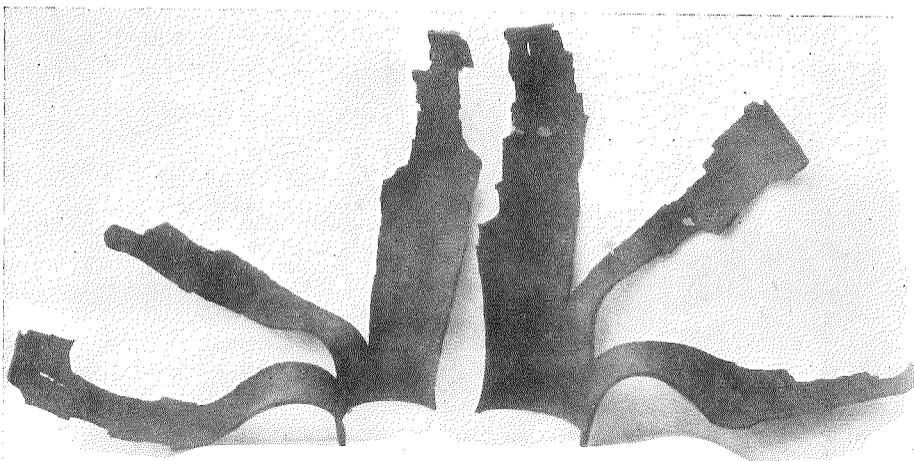
Sprengversuch mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat.  
Einfluß der Zündung (zu Tabelle V Nr. 1).

Fig. 27.

Daß die Explosion brisant, d. h. nach Art einer Detonation verläuft, ließ ein Vergleichsversuch mit Schwarzpulver, bei dem keine Wirkung auf die Bleiplatte eintrat, erkennen. Als nämlich einer der zylindrischen Behälter mit 3100 g Schwarzpulver (Sprengpulver von der kubischen Dichte 1,1) gefüllt und unter genau denselben Verhältnissen wie bei den Salzmischungen zur Explosion gebracht wurde, trat nur eine Zerlegung des Zylinders in glatte, nicht gezackte Anm.) Sprengstücke ein. Eine Ausbauchung auf der Bleiplatte wurde nicht erhalten. Die Wirkung des Schwarzpulvers ist also wesentlich weniger brisant als diejenige der explodierbaren Ammonsulfatsalpeter-Gemische, was auch von vornherein angenommen wurde (s. Abb. 31 u. 32).

Das Kennzeichen für eine detonationsartige Zersetzung des Mischsalzes war also bei den bisher beschriebenen Versuchen außer der Art der Splitterbildung (zackige Ränder) die Tiefe und Breite des in der Bleiplatte hervorgerufenen Sprengkraters. Dieses Verfahren besitzt aber den Nachteil, daß sich damit die Sprengwirkung nur unvollkommen zahlenmäßig ausdrücken läßt.

Es wurde daher die Explosionsübertragung auf dem exakten Wege der Bestimmung der Detonationsgeschwindigkeit gemessen. Die mit Hilfe dieser Methode erhaltenen Ergebnisse sind in Tabelle VI zusammengestellt.

Sie zeigen, daß für die Mischung aus 70 Teilen Ammonsalpeter und 30 Teilen Ammonsulfat der Zer-

Anmerkung. Die gezackten Sprengstücke bilden ein Kriterium für die Detonation des in dem Behälter gezündeten Sprengstoffes. Sie treten regelmäßig an der Stelle auf, wo die Zündladung sitzt, an den übrigen Stellen nur dann, wenn eine regelrechte Detonation des Salzes erfolgt ist.

fall sich unter den bisher eingehaltenen Versuchsbedingungen und bei einer kubischen Dichte von 0,8–0,9 mit einer Geschwindigkeit von 2600 bis 2900 m/Sek., für das nitratärmere Gemisch 60/40 mit einer solchen von 1900 bis 2400 m/Sek. vollzieht. Wie aus der Tabelle hervorgeht, nimmt die Geschwindigkeit beim Uebergang von einem kleineren zu einem größeren Querschnitt des Rohres etwas zu. (Vergl. Nr. 1 und 2 in Tabelle VI.) Durch enge Rohre wird die Explosion nicht fortgepflanzt, weitere als solche von 10 cm Durchmesser konnten in den Anlagen der Reichsanstalt aus Sicherheitsgründen nicht gesprengt werden.

Bei einem Versuch, bei dem die Geschwindigkeit in den aufeinanderfolgenden Teilstrecken des Gemisches 60/40 gemessen wurde, konnte eine Abnahme nicht festgestellt werden, was dafür spricht, daß innerhalb des Meßbereichs von 80 cm die Detonationsgeschwindigkeit

Sprengversuch mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat.  
Einfluß der Zündung (zu Tabelle V Nr. 5).

Fig. 28.

konstant geblieben ist. Immerhin war bei 2 von 5 Versuchen die Detonation nach Durchlaufen einer ca. 70 cm langen Strecke erloschen.

(Schluß folgt.)

# Die Explosion in Oppau am 21. September 1921 und die Tätigkeit der Chemisch-Technischen Reichsanstalt.

Von Prof. Dr. H. Kast, Chemisch-Technische Reichsanstalt, Berlin.  
Sonder-Beilage zur Zeitschrift für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen, 21. Jahrgang, 1926, Nr. 9.

(Schluß.)

## 5. Temperatur.

Die in der Tabelle VII zusammengestellten Ergebnisse von Sprengungen, bei denen das Salzgemisch in vorher angewärmtem Zustand verwendet wurde, scheinen dafür zu sprechen, daß in angewärmten Salzmassen die eingeleitete Explosion leichter fortgepflanzt wird als in nicht angewärmten. Allerdings hatte bei den bisher ausgeführten Versuchen das Salzgemisch nur eine Temperatur von etwa 70°, bei welcher man eine bedeutende Steigerung der Explodierbarkeit nicht erwarten konnte, sodaß ein sicherer Schluß aus den Ergebnissen nicht gezogen werden kann.

## 6. Feuchtigkeit.

Bei den vorerwähnten Versuchen, die mit getrocknetem Salz durchgeführt wurden, ist der Einfluß des Feuchtigkeitsgehalts noch nicht berücksichtigt worden. Es ist eine bekannte Tatsache, daß ein wachsender Feuchtigkeitsgehalt vermindern auf die Detonierbarkeit einwirkt. Zur Prüfung, inwieweit dies z. B. bei Ammonsalpeter der Fall ist, sind im Bleizylinder einige Sprengversuche ausgeführt worden, deren Ergebnis in Tabelle VIII zusammengestellt ist. Sie zeigen, daß mit wachsendem Feuchtigkeitsgehalt die Sprengwirkung abnimmt.

Die Feuchtigkeit wirkt in ähnlicher Weise wie ein Zusatz indifferenten Stoffe oder eine Erhöhung der Dichte. Ihr Einfluß kann bis zu einem gewissen Grad gleichfalls durch stärkeren Einschluß oder durch stärkere Initialzündung ausgeglichen werden.

## 7. Sonstige Einflüsse.

Außer den bisher erwähnten Faktoren können bei dem Zustandekommen der Explosion in Oppau noch

eine Reihe anderer Umstände und Zufälligkeiten eine Rolle gespielt haben, die sich entweder der Kenntnis entziehen oder auf experimentellem Wege nicht fassen lassen. Es kann z. B. die Art und Weise der Anord-

Sprengversuch mit Ammonsalpeter-ammonsulfat.  
Einfluß der Temperatur (zu Tabelle VII Nr. 1).

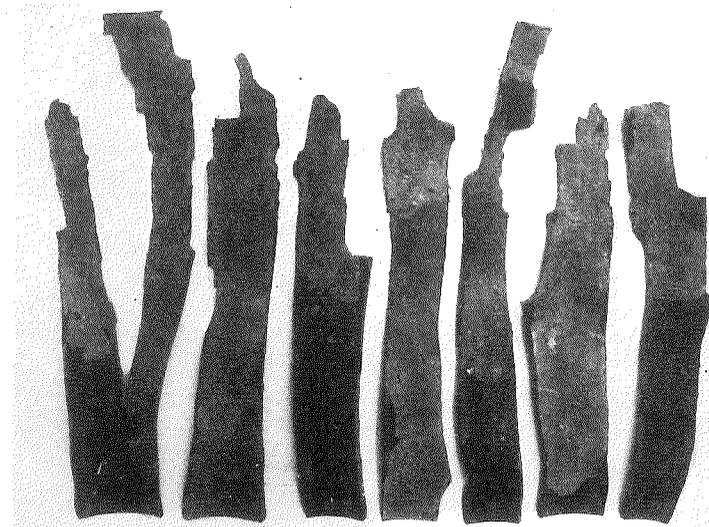


Fig. 29.

nung der Bohrlöcher für die Sprengpatronen von Einfluß auf die Uebertragung der Explosion gewesen sein. Ferner mag hier erwähnt werden, daß der große Umfang der Explosion dadurch hervorgerufen sein kann, daß durch einen der ersten Sprengschüsse eine kleine Menge des Salzes zur Explosion gebracht wurde, und daß diese

Tabelle VII.

Sprengversuche mit Ammonsalpeter-Ammonsulfat in schmiedeeisernen Rohren von 10 cm Durchmesser, 37 cm Höhe und 4—5 mm Wandstärke.

Einfluß der Temperatur.

	Zusammensetzung des Salzes		Gewicht der Ladung g	Dichte	Zündung	Zerlegung des eisernen Behälters	Wirkung auf die Unterlage (Bleiplatte)	Verhalten des Salzes	Bemerkungen
	Ammonsalpeter %	Ammonsulfat %							
1 <sup>1)</sup>	48	52	2530	0,9	100 g gepreßte Pikrinsäure	In gleichmäßige, glatte Stücke zerlegt.	Keine Ausbauchung.	Salzreste in größerer Menge wiedergefunden.	Sprengung bei gewöhnlicher Temperatur.
2	48	52	2530	0,9	desgl.	Bis zum unteren Drittel in zackige Stücke zerlegt.	Keine Ausbauchung.	Bis auf geringen Rest vergast.	Sprengung bei 70° <sup>2)</sup> .
3	50	50	2650	0,9	desgl.	In gleichmäßige, wenig gezackte Stücke zerlegt.	16 cm breite, 3 cm tiefe Ausbauchung.	Vollständig vergast.	Sprengung bei gewöhnlicher Temperatur.
4	50	50	2660	0,9	desgl.	In breite, zackige Stücke zerlegt.	17 cm breite, 3 cm tiefe Ausbauchung.	Vollständig vergast.	Sprengung bei 70° <sup>3)</sup> .

<sup>1)</sup> S. Fig. 29.

<sup>2)</sup> Der durch Papierumwicklung isolierte Behälter wurde mit dem Salz erwärmt, bis das Innere der Salzmasse eine Temperatur von 70°C zeigte. Der Behälter wurde mit ca. 100° warmem Sand verdämmt.

<sup>3)</sup> Die Splitter der erwärmten Behälter sind in beiden Fällen etwas mehr gezackt, was darauf hindeutet, daß der Zerfall des Salzes unter dem Einfluß der Wärme sich etwas leichter und explosionsartiger vollzog als bei dem nicht erwärmten. (S. Fig. 30.)

Tabelle VIII.

Sprengwirkung von feuchtem Ammonsalpeter mit verschiedenem Wassergehalt im Bleiblock.

Art der Mischung		Höhe der Patronen mm	Ladedichte	Sprengwirkung ccm
Ammonsalpeter. %	Wasser o/o			
100	—	32	0,64	196
97,5	2,5	30	0,68	(133)
97,5	2,5	29	0,70	165
95	5	27	0,75	145
95	5	27	0,75	(26)
95	5	27	0,75	78
93	7	22	0,93	56

Explosion die gleichzeitige Entzündung sämtlicher anderen Sprengschüsse bewirkt hat, wie es sonst nur bei elektrischer Zündung der Fall ist. Es würde dadurch zweifellos bei sonst günstigen Umständen das Eintreten einer größeren Explosion erleichtert worden sein. Daß aber eine Explosion des Salzes auf diesem Wege nicht unbedingt eintreten muß, zeigt die Tatsache, daß bei den früheren Sprengungen in den Silos die elektrische Zündung durch den Sprengmeister G e n t n e r angewendet wurde. Allerdings handelte es sich damals nicht um das gespritzte, sondern um das mit Hilfe von Schneckenrührern hergestellte Düngesalz.

Sprengversuch mit Ammonsalpeter-ammonsulfat.  
Einfluß der Temperatur (zu Tabelle VII Nr. 4).

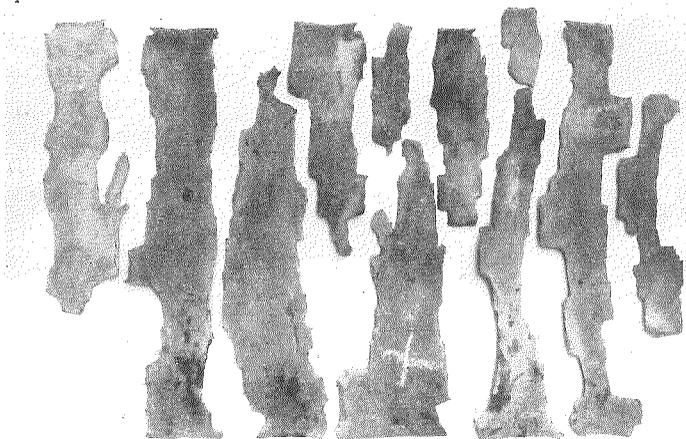


Fig. 30.

#### 8. Einfluß der Fabrikationsweise auf die Beschaffenheit des Mischsalzes.

Nachdem durch die vorstehend beschriebenen Versuche festgestellt worden ist, daß eine Aenderung der physikalischen Eigenschaften und der äußeren Umstände, unter denen die Sprengung vorgenommen wird, auch eine Aenderung der Uebertragung der explosiven Umsetzung zur Folge hat, bleibt noch die Frage zu beantworten, inwieweit im Verlauf der Fabrikation des Ammonsulfatsalpeters eine solche Aenderung der physikalischen Eigenschaften möglich war.

Nach der Aussage der Betriebsleitung bestand das Bestreben, das Salzgemisch für Düngezwecke streufähiger zu machen. Man ging daher von dem früher angewandten Mischverfahren mit Schneckenrührern zu dem Spritzverfahren über, das im Laufe des Jahres 1921 eingeführt wurde. In der Tat soll dadurch die Salzmasse nach verschiedenen Aussagen locker geworden sein, und zwar in dem Grade, daß von verschiedenen Seiten der Abbau durch Sprengen nicht mehr für erforderlich gehalten wurde. Daraus ist zu schließen, daß die Salz-

masse eine verhältnismäßig geringe kubische Dichte gehabt hat.

Ferner ist anzunehmen, daß bei dem Spritzverfahren, bei dem das feste Ammonsulfat in die 85 proz. Ammonsalpeterlauge eingebracht wurde, zunächst die feinen Ammonsulfateilchen gelöst wurden, während die groben Teile mehr oder weniger ungelöst blieben. Man hätte so eine Lösung von Ammonsalpeter und Ammonsulfat erhalten, in welcher der Ammonsalpeter überwog und außerdem ein kleiner Teil Ammonsulfat in Kristallform suspendiert war.

Vergleichssprengversuch mit Schwarzpulver



Fig. 31.

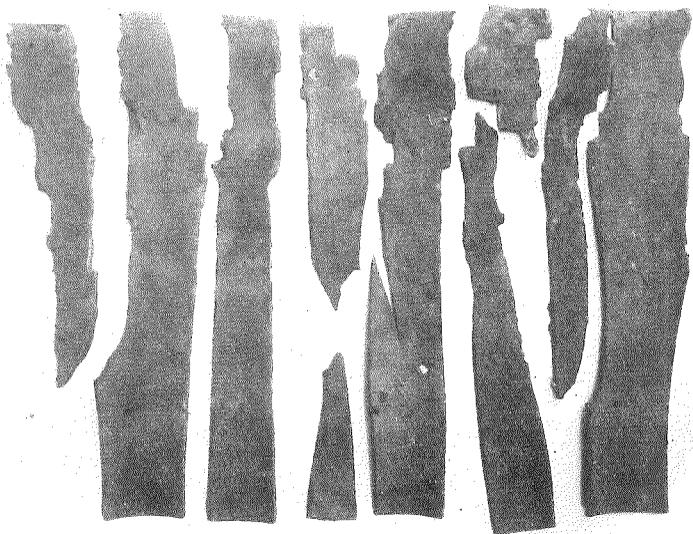


Fig. 32.

Es besteht ferner auch die Möglichkeit, daß aus der Ammonsalpetersulfatlauge das schwerer lösliche Ammonsulfat beim Verspritzen der dickflüssigen Masse zunächst auskristallisierte, was auch von der Betriebsleitung (s. Nr. 17 der Drucksache des Reichstagsausschusses S. 9 und 13) als möglich bezeichnet wird.

Ein solches Salzgemisch, das durch eine Art von physikalischer Entmischung zustande gekommen ist, würde, wie die obigen Versuche gelehrt haben, zweifellos empfindlicher gegen Explosionsübertragung sein als die homogene Mischung eines Doppelsalzes. Man braucht dabei noch nicht so weit zu gehen, daß man mit dem

bayerischen Untersuchungsausschuß auf Grund der Prüfung des Fabrikationsverfahrens in seinem Vorbericht vom 3. I. 22 eine chemische Entmischung beim Verspritzen annimmt, wobei eine an Ammonsalpeter reichere Mischung in Staubform durch die Druckluft weiter fortgetragen wurde, während sich eine an Ammonsalpeter ärmere unmittelbar auf den Boden des Silos niederschlug.

#### 9. Schlußfolgerungen aus der Fabrikationsmethode.

Schließlich ist auch die Möglichkeit gegeben, daß das Salz zur Zeit der Explosion besonders trocken war, weil man beim Spritzverfahren ein besonders trockenes Salz anstrebte, und es nach den Aussagen der Betriebsleitung auch gelungen war, den Feuchtigkeitsgehalt von 4 auf 2 % herabzusetzen.

Ob nun das im Silo 110 vorhanden gewesene Salzgemisch tatsächlich diese von dem Doppelsalz abweichende physikalische Beschaffenheit gehabt hat, ist durch die Untersuchungen nicht bewiesen. Es ist vielmehr ebenso wie bei der im ersten Gutachten vom 30. XI. 21 behandelten Frage der Ammonnitratnester nur ein Analogieschluß möglich, der durch die Tatsache unterstützt wird, daß die Explosion schon bei der zweiten Sprengung in dem nach dem neuen Verfahren gespritzten Salz erfolgte.

Die Schlußfolgerung würde zwingender sein, wenn es gelänge, auf fabrikatorischem Wege durch Spritzen ein Salzgemisch herzustellen, das bei einer (der Mischung 50 : 50) ähnlichen Zusammensetzung eine größere Explosionsfähigkeit zeigte als diese.

Dagegen würde dieses Ziel durch eine physikalische Untersuchung der nach der Explosion übrig gebliebenen Salzmasse, die von verschiedenen Seiten vorgeschlagen wurde, nicht erreicht werden, da diese Salze Abweichungen in der Explodierbarkeit bei gleicher chemischer Zusammensetzung nicht haben erkennen lassen und da sie bereits infolge der Witterungseinflüsse nicht mehr in ihrer ursprünglichen Beschaffenheit vorliegen.

#### Zusammenfassung.

1. Durch die neueren Versuche in der Reichsanstalt ist festgestellt worden, daß eine Aenderung der physikalischen Beschaffenheit des Mischsalzes eine Aenderung der Explodierbarkeit zur Folge hat.
2. Durch eine solche Aenderung der physikalischen Beschaffenheit kann bei günstigen äußeren Verhältnissen der explosive Zerfall wesentlich erleichtert werden.
3. Es ist wahrscheinlich, daß mit der Aenderung des Fabrikationsverfahrens auch eine Aenderung der physikalischen Beschaffenheit eingetreten ist, die das Zustandekommen der Explosion begünstigt hat.
4. Die im ersten Gutachten gezogenen Schlußfolgerungen werden durch die neuen Untersuchungen nicht berührt, es besteht vielmehr nach wie vor die Möglichkeit, daß nicht nur die physikalische, sondern auch die chemische Beschaffenheit bei dem Zustandekommen der Explosion eine Rolle gespielt hat.

Dr. Kast.