

Die Geschichte der Explosivstoffe

Vergleicht man die Entwicklung der Zündtechnik mit der Entwicklung der Sprengstoffsysteme, so wird deutlich, dass die ersten Anwendungen von Sprengstoffsystemen erheblich weiter zurückreichen als die der ersten Zündsysteme. Die gesamte Entwicklung der heutigen Zündtechnik, von der primitiven Zündschnurzündung zur modernen elektronischen Zündtechnik, erfolgte in den vergangenen 135 Jahren. Die Entwicklung der Sprengstofftechnik reicht viel weiter in die Vergangenheit zurück. Bereits im Jahr 1560 vor Chr. (XVI Dynastie; Ägypten) sind erste Mischungen dokumentiert, die durchaus als Vorläufer des Schwarzpulvers betrachtet werden können, wenn auch ihr anfänglicher Gebrauch anderen Zwecken diene. So waren die Aufgaben dieser Mischungen zunächst im Bereich der Signalgebung, der psychologischen (Weihrauch), hygienischen wie auch giftigen Wirkung zur Abwehr von Feinden zu suchen. Seit jeher haben Flammen und Rauch auf die Menschheit eine magische Wirkung ausgeübt. In den darauf folgenden 2000 Jahren wurden die unterschiedlichsten Mischungen aus Schwefel, Kohlenstoff (Holzkohle und/oder Erdölprodukte) und aus weiteren Beimengungen wie Kalk und Salpeter hergestellt und bei kriegerischen Handlungen eingesetzt. Zunächst war der Grundgedanke die Schwefel/Kohlenstoffmischungen durch die Zugabe von gebranntem Kalk so „einzustellen“, dass sich dieses Gemenge beim Auftreffen auf Wasser durch die stark exotherme Reaktion des gebrannten Kalks von selbst entzündet.

Schwarzpulver

Nun waren die Vorräte an gebranntem Kalk speziell in Kriegszeiten sehr begrenzt, wohingegen es Ruinen in grosser Zahl gab, aus deren Mauerwerk der Kalk zurückgewonnen werden konnte. Das Einarbeiten dieses „recyclten Bauschutts“ in die oben beschriebenen Schwefel-Kohlenstoffmischung führte unweigerlich dazu, dass teilweise auch gewisse Mengen an salpetrigen Rückständen in die Endmischung gelangten. Bei diesen Gemengen kam es unter bestimmten Voraussetzungen zu wesentlich heftigeren Reaktionen als bei den ursprünglich bekannten „reinen“ Mischungen. Die Rezepturen des „Griechischen Feuers“ und des „Huo P'au“ sind somit durchaus als die Vorläufer des heutigen Schwarzpulvers anzusehen. In den Folgejahren wurden vor allem bei der Fertigung des Schwarzpulvers weitere Verbesserungen erreicht; weg von der manuellen Herstellung hin zu einer voll mechanisierten, fernbedienten Produktion. War der Einsatz von Schwarzpulver nun durchaus gebräuchlich, so brachte die Erfindung der ersten Nitroverbindungen eine wesentliche neue Erkenntnis: Die Unterscheidung der Deflagration von der Detonation. Während sich die frei werdende Energie bei einer deflagrierenden Umsetzung den Weg des geringsten Widerstandes sucht, also den des geringsten Einschlusses, erfolgt die Energieausbreitung bei der detonativen Umsetzung gleichmässig in alle Richtungen, unabhängig von den Einschlussbedingungen. Die objektive Beurteilung der Leistungsfähigkeit der unterschiedlichen Sprengstoffarten und -mischungen war somit eine wesentliche Aufgabenstellung. Neben dieser „Einordnung“ der unterschiedlichen Sprengstoffe war es das wesentliche Entwicklungsziel, die nun gefundenen Verbindungen der Nitroverbindungen handhabungssicher zu machen.

Dynamit

Allen flüssigen Nitroverbindungen, die sich bis ins 15. Jahrhundert zurückverfolgen lassen, ist gemein, dass sie aus anwendungstechnischer Sicht höchst unsicher sind. Häufig kam es bereits während der Handhabung zur vorzeitigen Umsetzung. Trotz ihrer hohen mechanischen Empfindlichkeit war eine sichere und zuverlässige Initiierung dieser Verbindungen mit den damals verfügbaren „Zündmitteln“ nicht möglich. 1865 gelang es Alfred Nobel zunächst in den Laboratorien seiner Sprengstofffabrik „Auf dem Krümmel“ bei Hamburg mit der Erfindung des Dynamits einen handhabungssicheren Sprengstoff zu entwickeln. Nun liessen sich diese neuen, sehr leistungsstarken Sprengstoffe aber nicht mehr durch die blosse Zuführung eines thermischen

Impulses, wie er ja durch die Zündschnurzündung zur Verfügung stand, zuverlässig zünden. Der heute noch gültige Grundsatz der wirkungsvollen Initiierung der nächst folgenden Sprengstoffkomponenten innerhalb der Gesamtladung (Ladesäule) mit einem jeweils höheren Initial wurde erkannt. Die wesentliche Bedeutung des jeweiligen Zündinitials für die nächstfolgende Komponente des gesamten Zünd- und Sprengstoffsystems wurde begriffen. Anfänglich war Alfred Nobel bei der Entwicklung seines „Patentzündhütchens“ auf Schwarzpulverbasis bemüht, die Leistungsfähigkeit des Initials durch optimale Einschlussbedingungen mit hoher Verdämmung zu steigern. Da das Leistungspotential des Schwarzpulvers im Hinblick auf die Initiierung seines Dynamits selbst unter optimalen Einschlussbedingungen aber als „grenzwertig“ zu beurteilen ist, entwickelte er schon bald die erste Sprengkapsel, deren Unterladung (Knallquecksilber) der Primärladung moderner Zündmittel (Bleiazid) vergleichbar ist.

Anfo

Die Erfindung und Entwicklung der Anfo- bzw. ANC-Sprengstoffe ist durchaus vergleichbar mit der der Schwarzpulversprengstoffe. Nicht die systematische Entwicklung eines speziellen Stoffgemisches brachte diesen leistungsstarken und wirtschaftlichen Sprengstoff hervor, sondern die Analyse zahlreicher Katastrophen mit grossen Mengen für die Landwirtschaft gelagerten Ammonsalpeters. Ein weiterer physikalischer Wirkmechanismus ist für die Initiierbarkeit und detonative Umsetzung dieser explosivstofffreien Gemenge aus Sauerstoffträger und Kohlenstoff erforderlich: Der „Hot-Spot Effekt“. Eine noch grössere Bedeutung kommt einem leistungsstarken Initial bei der Anwendung von modernen Anfo- Sprengstoffen zu. Die feinen Lufteinschlüsse in den porösen Prills werden durch die Einleitung des Zündinitials sehr stark komprimiert. Vereinfacht gesehen, entsteht dadurch kurzfristig ein Bereich extrem hoher Temperatur und extrem hohen Drucks. Dieser energetisch „hochgespannte“ Bereich eilt der eigentlichen Detonationsfront voraus. Erst das Zusammentreffen beider Faktoren - also das Vorhandensein der Reaktionspartner Sauerstoff und Kohlenstoff und das kurzfristige Anheben dieses Stoffgemisches auf das oben beschriebene sehr hohe Energieniveau machen Anfo überhaupt detonationsfähig.

Emulsionssprengstoffe

Bedingt durch die hohe Leistungsfähigkeit, Handhabungssicherheit und Wirtschaftlichkeit verbreitete sich die Anwendung der Anfo-Sprengstoffe in der gewerblichen Sprengtechnik in kürzester Zeit. Wo es die betrieblichen Rahmenbedingungen zulassen, ist dieser Sprengstoff noch heute erste Wahl. Nun haben die Ammonsalpeter Prills jedoch sehr stark hygroskopische Eigenschaften, was bei wasserführenden Bohrlöchern schnell zu Leistungseinbussen bis hin zum völligen Versagen führt. Die Entwicklung eines wasserfesten Sprengstoffsystems auf Basis einer Ammonsalpeter/Öl-Mischung war somit vorgezeichnet. Zunächst wurde versucht die erforderliche Ölmenge in eine hochkonzentrierte Salzlösung einzudispersieren (Öltröpfchen in Salzlösung). Nur wenige Jahre später gelang es, feinste Salztröpfchen in Öl zu emulgieren (Ölfilm umhüllt Salztröpfchen). Die modernen Emulsionssprengstoffe waren erfunden. Heute stehen für die unterschiedlichsten Betriebs- und Rahmenbedingungen Emulsionssprengstoffe mit verschiedensten Eigenschaften zur Verfügung. Parameter wie Detonationsgeschwindigkeit, Schwadenvolumen, Dichte, Sprengkapselempfindlichkeit lassen sich variieren. Allen Rezepturen ist jedoch das physikalisch, chemische Wirkprinzip des Vorhandenseins der Reaktionspartner Sauerstoff/Öl und des „Hot-Spot Effektes“ gemein. Zwei Techniken werden heute zum Untermischen der für den „Hot-Spot“.

Sprengstoffe im Wandel der Zeit

Die Geschichte der Brand- und Explosivstoffe ist so alt wie die Menschheit selbst. Der Fokus dieser Ausarbeitung liegt auf der Geschichte und den verbundenen Entwicklungen von Sprengstoffen bei der Rohstoffgewinnung im Bergbau. Zum besseren Verständnis sei jedoch die allgemeine Entwicklung von den Anfängen des griechischen Feuers bis hin zu den brisanten Sprengstoffen erläutert. Es wird kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben, weiterführende Literatur findet sich am Ende. Das Verständnis des Begriffs Sprengstoff unterlag selbstverständlich im Laufe der Zeit einem Wandel. Heute versteht man unter Sprengstoffen nur eine Untergruppe der Explosivstoffe, welche detonationsfähig sind und zum Sprengen verwendet werden. Sprengstoffe in diesem Sinn werden erst seit wenigen Jahrhunderten verwendet. Als ihre Vorgänger können verschiedenste Brand- und Explosivstoffe angesehen werden, auch wenn eine stoffliche Verwandtschaft nicht besteht. Es ist ausserdem anzumerken, dass erfolgreiche technische Innovationen zumeist mehr als einen Vater besitzen. Ebenso wurden diese zumeist für verschiedene, teilweise konträre Zwecke eingesetzt. Der Beantwortung von Fragen nach der Namensherkunft des „Schwarzpulvers“ oder der Erkenntnis eines Unterschiedes zwischen Brand- und Explosivstoff hat eine entscheidende Bedeutung. Genaue Angaben zum Erfinder oder Innovationsjahr spielen dagegen nur eine untergeordnete Rolle, auch bedingt durch Geheimhaltung, Streitigkeiten, Irreführung oder der Spanne zwischen Zeitpunkt der Erfindung bzw. Erwähnung und dem endgültigen Einsatz, die solche genauen Angaben oft schlichtweg unmöglich machen.

Am Anfang war das Feuer

Die Fähigkeit, Feuer zu verwenden und später auch selbst zu entzünden, war der erste Schritt zur Abgrenzung der frühen Menschen gegenüber der Fauna. Es ermöglichte die Jagd viel grösserer und deutlich stärkerer Tiere, schuf Wärme und erlaubte die Herstellung erster primitiver Gerätschaften. Schon nach kurzer Zeit wurde das Feuer dann auch bei Streitigkeiten zwischen den frühen Menschen eingesetzt. Bei einem Blick auf die gesamte Geschichte der Menschheit kann man deutlich erkennen, dass der Einsatz von Brandstoffen ein Machtfaktor war. Alle Hochkulturen beherrschten die Feuerkunst und konnten verschiedene Formen von Brandstoffen gegen ihre Feinde einsetzen. Die endgültige Niederlage wurde zumeist durch das Verbrennen der gegnerischen Siedlungen besiegelt, wodurch dem Feind seine Lebensgrundlage genommen wurde. Neben dem Einsatz zu kultischen Zwecken und dem Bedarf des täglichen Lebens war der Hauptzweck der bekannten Brandstoffe somit der militärische Bereich. Die Reise durch die Geschichte der Explosivstoffe beginnt ca. 1.500 v. Chr. im vorderen Orient. Die damaligen Grossmächte der Mesopotamier, Hethiter und Ägypter teilten die bekannte Welt unter sich auf. Der Einsatz von Weihrauch und anderen Brandstoffen ist zumindest bei den Ägyptern historisch belegt. Mit Hilfe von glühenden Holzkohlen wendete man Rauchsätze an, die sowohl kultischen als auch profanen Zwecken diente, wobei diese Unterscheidung wohl an sich kaum möglich ist. Eingesetzt wurden diese Rauchsätze etwa zur Desinfizierung auf Schlachtfeldern oder bei Opfern für die Götter, zur Erzeugung von farbigem Rauch in der Signalgebung, zur Verbesserung der Luft in grossen Bauwerken oder mittels entsprechender Zusätze als chemische Waffe gegen Feinde. Auch die Bibel beschreibt im Alten Testament vielfältige Phänomene, die nach heutiger Sicht möglicherweise als Anwendung von Pyrotechnik zu erklären sind. „Das Feuer vom Himmel“ legt die Vermutung nahe, dass leichtentzündliche Brandsätze Verwendung fanden. Von Moses stammen auch die Unfallverhütungsvorschriften der Sprenggeschichte, die Priestern mit langen Harren und wallenden Gewändern die Ausführung von Opfern verbot.

Das Feuer der Griechen

Die Geschichte der Entwicklung von Brandstoffen speziell für militärische Zwecke beginnt mit der Verwendung des griechischen Feuers. Zu beachten ist jedoch, dass der Begriff des „griechischen Feuers“ in der weiteren Historie für vielfältige Stoffe verwendet wurde, oft zu Unrecht. Das eigentliche griechische Feuer ist bis heute ein Mysterium. Seine genaue Rezeptur wurde als Staatsgeheimnis so gut gehütet, dass diese bis heute nicht genau bekannt ist. Partington nennt auf Basis griechischer Quellen 30 verschiedene Mischungen. Keine ist jedoch in der Lage, die in den historischen Werken beschriebenen Wirkungen hervorzurufen. Das „Feuerwerksbuch“ des Ainius (360 v. Chr.) beschreibt den massiven Einsatz von Brandstoffen im Peloponnesischen Krieg. Belagerte Städte wurden mittels Brandstoffe in Brand gesetzt, die Kienspäne, Werg, Pech, Schwefel und zu Beginn wohl auch noch Weihrauch enthielten. Beschrieben werden ebenfalls „Flammenwerfer“, die Feuer durch das Verschiessen erdöhlaltiger Produkte entfachen konnten. Als sicher gilt heute, dass ein Grieche namens Kallinikos das Geheimnis des Griechischen Feuers von Heliopolis nach Byzanz bzw. Konstantinopel gebracht hat, der Hauptstadt des hellenistischen römischen Ostreiches. Im Oströmischen Reich befinden sich die heutigen in Rumänien liegenden Ölfelder von Baktrien, Kolchis und Mesopotamiens, dem heutigen Irak. Die Entdeckung der Destillation von Erdöl, die wohl auf Versuche mit von Alexander dem Grossen zurückgeht, gilt als sicher. Ihre Anwendung wird 400 n. Chr. in Alexandria bezeugt. Durch die Destillation wird die Reaktionsfreudigkeit und die Mischbarkeit des ursprünglich schwer entflammbareren Erdöls deutlich erhöht. Durch die Verwendung der so erzeugten Benzine konnte die ursprüngliche Rezeptur des griechischen Feuers deutlich verbessert werden. Als Staatsgeheimnis wurde diese so gut verwahrt, dass die Zusammensetzung bis heute nicht bekannt ist. Während das Weströmische Reich durch den Sturm der Völkerwanderung zerstört wurde, konnte sich das Oströmische Reich noch lange behaupten. Das neuentwickelte griechische Feuer gilt unter Historikern als einer der Eckpfeiler für die Verteidigung des Oströmischen Reiches über Jahrhunderte hinweg. 671 n. Chr. wurde das Reich von den Arabern aus dem Süden und den Bulgaren aus dem Norden angegriffen. 7 Jahre später stand Konstantinopel vor dem Fall. Jedoch konnte die arabische Flotte mittels eines griechischen Feuers zerstört werden, welches aus sog. Siphonen verschossen wurde und sich bei Kontakt mit Wasser entzündete. Es bestand wohl aus einer Mischung auf der Basis von Benzinen und Schwefel, dem gebrannten Kalk zugesetzt wurde. Dieser entwickelte bei der Berührung mit Wasser Hitze, welche die Benzine in Brand setzen konnte. Ein Angriff der Russen auf Konstantinopel im Jahre 941 konnte wohl durch Benzindampf-Luftexplosionen abgewehrt werden, die - gewollt oder ungewollt herbeigeführt - den russischen Streitkräften vernichtende Verluste beibrachten. Bei einer weiteren Seeschlacht zwischen Konstantinopel und dem Stadtstaat Pisa im Jahre 1103 wird berichtet, dass alle Schiffe des Oströmischen Reiches mit einer Art von Kanonen aus Eisen oder Bronze ausgerüstet waren, welche das griechische Feuer verschossen und die Flotte von Pisa zerstörten. Das Liber Ignium von Marcus Greacus beschreibt folgende Rezeptur, die einem Gebräu aus Mabeth gleicht: „Man mische Benzine, flüssiges Pech und Kreosot (Schwefeldestillat), fülle es ein in einen tönernen Krug. Diesen Krug vergrabe dann 15 Tage lang in Pferdemit (wahrscheinlich Anreicherung mit Stickstoff). Entnehme diese Mischung und bestreue damit Krähen. Lasse diese ins feindliche Lager fliegen. Wenn die Sonne aufgeht, wird sich diese Mixtur vor dem Schmelzen entzünden. Es wird geraten, diese Mixtur vor Sonnenuntergang oder nach dem Sonnenuntergang zu benutzen“. Arabische Quellen berichten, dass z.T. die Krähen schon direkt in Brand gesetzt wurden und wie Feuervögel ins feindliche Lager stürzten. In einer Quelle aus dem Jahre 553 n. Chr. wird in Konstantinopel ausserdem der militärische Einsatz von „schwarzem Sprengpulver“ beschrieben, bei welchem es sich vermutlich um fein zerkleinerte Holzkohle gehandelt haben dürfte, welche in Fässern oder aus Rohren versprüht eingesetzt wurde. Interessant in dem Zusammenhang ist auch, dass das Oströmische Reich im Jahre 1453 von den Türken nur erobert werden konnte, weil diese eine neuere Entwicklung in der Reihe der Explosivstoffe verwendeten – das Schiesspulver.

Der Schnee von China

Belegbar ist heute, dass es Kontakt zwischen Ostrom und China gegeben hat. Neben reinen Handelsinteressen waren zwei gemeinsame Feinde dafür ausschlaggebend: Die Araber und vor allem die Mongolen, die Teile Chinas überrannt und grosse Teil der Bevölkerung getötet haben sowie bis vor die Tore von Konstantinopel gezogen sind. Es ist daher wahrscheinlich, aber nicht belegbar, dass im Austausch für Seidenraupen oder Seide Rezepturen eines griechischen Feuers nach China gelangt sind. China als alte Hochkultur hatte im Bereich des Feuerwerks lange Erfahrungen, jedoch weniger im militärischen Bereich. Belegt ist der Einsatz der ersten von Menschenhand geschaffenen Bomben, der sogenannten Huo P'au = Feuer aus eiserner Kugel. Der Knall war wohl 100 Li (6,5 Kilometer) weit zu hören und vermochte sein Feuer über eine Fläche von 1000 m² zu verstreuen. Ob die Wirkung eher psychologischer Natur war oder der effektiven Verteidigung diente, ist umstritten. Weiterhin kamen bei derselben Belagerung auch fei-huo-tsiang (Pfeile des fliegenden Feuers) zum Einsatz. Dabei handelte es sich wohl um die ersten Raketen, die beim Einsatz einen Feuerstrahl etwa 10 Schritt weit verbreiteten. Interessant ist auch der erste Einsatz von Salpeter. Wohl bedingt durch die Kalkgewinnung aus Ruinen zur Herstellung des griechischen Feuers wurde dessen Wirksamkeit entdeckt. Salpeterausblühungen gab es in China zuhauf an alten Mauern. Nach dem Ende der Bedrohung durch die Mongolen wandte man sich in China wieder der Kunst des Feuerwerks zu, wobei weiterhin Salpeter zum Einsatz kam. Der Salpeter wurde später in Europa als der „Schnee von China“ bekannt.

Das schwarze Pulver

Die wahrscheinlich zufällige Entdeckung der feuerverstärkenden und feuerunterhaltenden Kraft des Salpeters durch die Chinesen hat den Weg zur Erfindung des Schwarzpulvers geebnet. Wer letztendlich, wann, wie und wo das Schwarzpulver erfunden hat, ist unklar. Sicherlich wurde zunächst auch der grundlegende Unterschied von Brand- und Explosivstoff nicht erkannt. Der arabische Gelehrte Abd-Allah IbnAlbaythar beschreibt 1240 n. Chr. Salpeter als den „Schnee von China“, andere Quellen reden auch vom „Salz des Felsens“. Die Araber kamen mit der Intention der Ausbreitung des Islam bis nach Kashmir vor die Tore Chinas und kontrollierten die Handelswege zwischen Europa und dem fernen Osten. Die ersten naturwissenschaftlichen Beschreibungen des Schwarzpulvers liefern der englische Mönch und Hochschullehrer Robert Bacon im Jahre 1257 sowie der Graf von Bollstädt, besser bekannt unter dem Namen Albertus Magnus, im Jahre 1280. Einige Historiker sagen, Robert Bacon habe mit seinen Arabisch-Kenntnissen moslemische Quellen angezapft, andere sind der Auffassung, die geheime Rezeptur sei ihm von Mönchen nach einem China-Aufenthalt verraten worden. Auch ist es möglich, dass dieser im bereits erwähnten Liber Ignium von Marcus Graecus abgeschrieben hat, welches in vielen Passagen mit den Angaben von Robert Bacon übereinstimmt. Im Buch „Äoerber das Wundersame der Welt“ beschreibt Albertus Magnus das Schiesspulver und schlug sogar einen Kanonenschlag vor, eine mit Schwarzpulver gefüllte Hülse. Seine Schriften wurden schnell bekannt, und er dürfte damit auch der hauptsächliche Verbreiter der Kenntnis von den Eigenschaften des Salpeters sein. Unter Historikern gilt er auch als der Mann, der das Wissen demjenigen vermittelte, der „aus der ‚Feuerlanze‘ der Chinesen eine Feuer-Zünfte zur Herstellung des schwarzen Pulvers entstanden, wie Salpeterer, Pulvermüller und Büchsenmacher. Im Grossen und Ganzen ist die Entwicklung des Schwarzpulvers zu Beginn des 15. Jahrhunderts abgeschlossen. Was folgt, sind Verbesserungen für militärische und zivile Anwendungen. Im Kriegslehrbuch „Bellifortis“ wird erstmalig die Verwendung von Schwarzpulver zum Schiessen und Sprengen erwähnt. Ein ganzes Arsenal von Raketen, Kanonen, Repetiergeschützen und sogar gepanzerte Kampfwagen wird beschrieben. Sicher ist, dass mit der Verbreitung des Pulvers durch die Verwendung von Büchsen und Kanonen in kurzer Zeit das Kriegswesen revolutioniert wurde. Die Folgen waren viel weitreichender als vielleicht auf den ersten Blick ersichtlich. Wurde zuvor die militärische Gewalt und damit oft auch die Macht von erfahrenen Berufssoldaten ausgeübt, die jahrelang mit Schwert und Lanze. Den legendären

Bertholdus Niger hat es vermutlich nie gegeben. Berthold Schwarz wird in den Chroniken der Städte Freiburg, Gent und Köln erwähnt, aber diese Quellen widersprechen sich. Der Erfinder des Schwarzpulvers ist er sicherlich nicht, manche glauben, er hätte ein Verfahren zum Granulieren der Pulvermasse erfunden. Sicher ist nur eins: Den Erfinder des Schwarzpulvers gibt es nicht! Erst im 19. Jahrhundert ging die Entwicklung detonierender Sprengstoffe zügig voran. Ein wichtiger Grund dafür ist in der Anerkennung der Chemie als Wissenschaft zu sehen. Um 1800 wurde von den Forschern Howard und Haussmann das Knallquecksilber bzw. die Pikrinsäure entdeckt. 1846 nitrierte Sobrero zum ersten Mal Nitroglycerin, welches Immanuel Nobel als Zusatz für Schwarzpulver verwendete, mit demselben geringen Erfolg wie beim „Schiesswasser“. Zur Ära der brisanten Sprengstoffe fehlte jetzt nur noch die Handhabungssicherheit der Sprengstoffe und ein verlässlicher Zünder. Beide Aufgaben wurden durch die wohl herausragendste Persönlichkeit in der Entwicklung der Sprengstoffe gelöst - Alfred Nobel - trainiert hatten, konnten nun einfache Leute nach relativ kurzer Zeit die Büchsen einsetzen. Dies führte dazu, dass die Städte, in denen sich die Zünfte niederliessen, durch diese Waffen unabhängig wurden und sich von der Vorherrschaft des Adels befreien konnten. Die Ritter des Deutschen Ordens waren die ersten, die in grossem Umfang Schwarzpulver anwandten. Durch die Bildung eigener „Feuerwerkerschulen“ war der Adel in der Lage, ein Gegengewicht zu den städtischen Feuerzünften zu schaffen.

Der grosse Knall

Durch die Möglichkeit der Herstellung von Salpetersäure und Schwefelsäure im 13. Jahrhundert wurde der Weg frei für die Nitrierung einheitlicher Sprengstoffe mit Brennstoff und Sauerstoff in einem Molekül. Zahllose Alchimisten des Spätmittelalters produzierten so die ersten Nitrokörper, auch wenn ihre Intention zumeist eine ganz andere war. Im 15. Jahrhundert wurde von einem unbekanntem Alchimisten Teer mit Schwefel- und Salpetersäure behandelt, wobei eine klare Flüssigkeit entstand, die unter dem Namen „Schiesswasser“ bekannt wurde. Es wurde dem Schwarzpulver beigemischt. Nach schweren Unfällen nahm man jedoch wieder Abstand davon, weil es genau wie bei seinem „Nachfolger“ Nitroglycerin ungewollt aus kleinsten Anlässen zur Explosion kommen kann. Der Mönch Basilius Valentinus entdeckte auf der Suche nach einem Medikament gegen die Syphilis zu Beginn des 16. Jahrhunderts das „Knallgold“. Dieses hat als Explosivstoff nie wieder eine Rolle gespielt, führte jedoch zur Entdeckung des Unterschieds zwischen Detonation und Deflagration. Basilius Valentinus beschrieb einen Versuch, den er mit einer Glasglocke durchgeführt hat: Gleiche kleine Mengen von Knallgold und von Schwarzpulver legt er unter je eine Glasglocke. Das Knallgold detonierte und zerstörte örtlich die Unterlage, die Glasglocke blieb unversehrt. Bei der Deflagration des Schwarzpulvers wurde die Unterlage nur leicht beschädigt, die Glasglocke hingegen zerstört. Ebenfalls wurden zu dieser Zeit die ersten Prüfgeräte für Schwarzpulver eingeführt: Die „Pulverprobe“ als mechanisierte Version der „Raketenprobe“.

Alfred Nobel

Der Name Alfred Nobel ist unverwechselbar mit der Entwicklung von Sprengstoffen verbunden. Alfred Nobel wurde am 21. Oktober 1833 in Stockholm geboren. Schon in jungen Jahren wurde er Gehilfe seines Vaters, der in Russland eine mechanische Werkstatt mit einer Eisengiesserei betrieb. Dort wurden Schiffsmaschinen für die russische Flotte, Heizanlagen für Wohnhäuser und später auch Seeminen erzeugt. Während seine Brüder versuchten, die Firma nach einem Bankrott wieder flott zu machen, beschäftigte sich Alfred Nobel hauptsächlich mit technisch-chemischen Experimenten. Besonders interessierte er sich für das im Jahre 1846 von dem italienischen Chemiker Ascanio Sobrero erfundene Nitroglycerin. Die von Sobrero hergestellte Mischung aus Glycerin mit Salpeter- und konzentrierter Schwefelsäure war derart brisant, dass an eine Verwendung als Sprengstoff nicht zu denken war. Nitroglycerin wurde daher zunächst nur in kleinen Mengen bei Herzkrankheiten eingesetzt. Der Wunsch nach einem wirkungsvolleren

Sprengstoff, als Schwarzpulver, für die Herstellung der Seeminen veranlasste Alfred Nobel und seinen Vater unabhängig voneinander, das Problem des kontrollierten Umgangs mit Nitroglycerin zu lösen. Das Problem bestand darin, dass Nitroglycerin handhabungssicher zu machen und eine Methode zur sicheren Auslösung der Detonation zu finden. Dies gelang ihm durch zumischen von Schwarzpulver. Im Jahr 1864 erfand er die Sprengkapsel, eine mit Knallquecksilber gefüllte auf einer Seite verschlossene Röhre. Mit dieser verwirklichte er das Prinzip der Initialzündung. Im selben Jahr eröffnete Nobel in der Nähe von Stockholm die erste Nitroglycerinfabrik. In den darauf folgenden Jahren reiste er umher und propagierte seine Erfindung, das vom ihm entwickelte Sprengverfahren mit Sprengöl. Die Gefährlichkeit des Sprengöl lag aber weiterhin in seiner flüssigen Form. Er versuchte daher das Sprengöl durch poröse Stoffe wie Kohle, Kieselgur oder Sägespäne aufzusaugen. Im Jahr 1867 liess Nobel einen neuen Sprengstoff patentieren und gab ihm den Namen Dynamit. Dieser bestand aus einer Mischung von 75 % Nitroglycerin und 25 % Kieselgur. Dieser war plastisch formbar und zur Herstellung von Patronen geeignet. Die Erfindung des so genannten Gur-Dynamits löste eine Revolution beim Bau von Verkehrswegen aus. 1875 erkannte er, dass Kollodiumwolle ein hervorragendes Gelatinierungs- und Bindemittel für Nitroglycerin ist. Die Mischung aus 93 % Nitroglycerin und 7 % Kollodiumwolle liess er sich unter dem Namen „Sprenggelatine“ patentieren. Diese bildet bis heute die Basis der gelatinösen Sprengstoffe. In den folgenden Jahren versuchte er die Sprenggelatine als Treibladung für Geschütze einzusetzen. Dies war aber zunächst nicht von Erfolg gekrönt. 1887 und 1888 erwirkte er Patente für rauchschwaches Nitroglycerin, mit dem Namen Ballisit. Alfred Nobel starb am 10. Dezember 1896 im Alter von 63 Jahren in San Remo. Einen Grossteil seines Vermögens vermachte er einer noch zu gründenden Stiftung, die jährlich Geldpreise austeilen sollte, an diejenigen die im Jahr zuvor durch Erfindungen, Entdeckungen oder Leistungen der gesamten Menschheit einen grossen Nutzen erwiesen haben. Daraus entstand im Jahr 1900 die Nobel-Stiftung.

Stand und Technologie moderner Gesteinssprengstoffe

Sprengstoffe werden heutzutage in vielen Bereichen eingesetzt. Neben ihrer doch allgemein bekannten Anwendung in Bereichen des Bergbaus und Tunnelbaus, des Bauwerkabbruchs und der Seismik kommen Sprengstoffe auch in Anwendungen unter Wasser, zur Sprengung von Eis, heissen Massen und zur Beseitigung von Lawinengefahren zum Einsatz ohne ihre speziellen Einsatzgebiete in Sicherheitseinrichtungen wie z.B. in der Automobil- und Elektroindustrie im Einzelnen zu nennen. Aufgrund der verschiedenen Einsatzbereiche mit ihren zum Teil besonderen Anforderungen ist schon allein bei der gewerblichen Nutzung die Zahl moderner Sprengstoffe mit unterschiedlichen Eigenschaften sehr gross. Um den Rahmen nicht zu sprengen, werden in diesem und im folgenden Artikel der Stand und die Technologie der Gesteinssprengstoffe beschrieben und erläutert, die sich bei übertägigen und untertägigen Sprengarbeiten durchgesetzt haben, auch wenn das Sprengstoffrecht zwischen einer weitaus grösseren Zahl an Gesteinssprengstofftypen unterscheidet. Die bei gewerblichen Sprengarbeiten am häufigsten eingesetzten Gesteinssprengstoffe lassen sich unterscheiden in gelatinöse Sprengstoffe, Anfo- Sprengstoffe und Emulsionssprengstoffe, die zu den jüngsten Entwicklungen auf dem Gebiet der Sprengstofftechnik zählen. Um Wiederholungen in diesem Heft zu vermeiden, werden in diesem Artikel im Weiteren nur die gelatinösen Sprengstoffe und die Anfo-Sprengstoffe behandelt. Im Artikel 2 mit dem Titel „Physikalisch chemisches Wirkprinzip moderner Emulsionssprengstoffe“ wird ausführlich über den Stand und die Technologie der Emulsionssprengstoffe berichtet.

Gelatinöse Sprengstoffe

Moderne gelatinöse Sprengstoffe, unter deren Vorgängern vor allem das vom Namen her bekannte Dynamit zählt, setzen sich aus den Komponenten: Sprengöl, Nitratsalze (i. d. R. Ammoniumnitrat), Zusätze zur Phlegmatisierung, Einstellung der Konsistenz und Leistungsteigerung zusammen, auf deren Bedeutung nun im Einzelnen eingegangen wird.

Sprengöle

Zur Herstellung von gelatinösen Sprengstoffen werden die Sprengöle Nitroglycerin oder Nitroglykol verwendet. Zur Herstellung von gelatinösen Sprengstoffen kommen aber auch Gemische aus diesen Sprengölen zum Einsatz, da auf diese Weise die negativen Eigenschaften eines Sprengöls durch das Zumischen des anderen Sprengöls zum Teil ausgleichen werden. Im Vergleich zum Nitroglykol hat Nitroglycerin den Nachteil, dass es bereits bei + 13°C auskristallisiert, sprich gefriert. Diese Eigenschaft des Nitroglycerins setzt die Handhabungssicherheit des Sprengstoffs insbesondere bei niedrigen Temperaturen herab, da der Umgang mit den erstarrten Patronen und das Einführen eines Zünders in die auf diese Weise ausgehärteten Patronen kaum möglich und zudem sehr gefährlich ist. Ein Vorteil des Nitroglycerins gegenüber dem Nitroglykol ist, dass es bei Zimmertemperatur wenig flüchtig ist. So können die MAK-Werte der als giftig eingestuften Sprengöle bei ihrer Verarbeitung oft ohne technische Massnahmen eingehalten werden. Auch wenn bei der Herstellung von Sprengstoffen auf Nitroglykol-Basis die durch Dämpfe gefährdeten Arbeitsplätze mit Abzugs- und Belüftungseinrichtungen ausgestattet sein müssen, haben diese Sprengstoffe für den Anwender den Vorteil, dass diese auch bei sehr niedrigen Einsatztemperaturen noch weich und somit handhabungssicher sind, da der Erstarrungspunkt des Nitroglykols bei 22°C liegt. Da bei der Herstellung der Sprengöle ein Teil des Sprengöls im Wasser in Lösung geht, müssen auch die anfallenden fischgiftigen Abwässer aufbereitet werden. Hier muss erwähnt werden, dass bei der Herstellung von Nitroglycerin nur ca. 1,5 g/l in Lösung geht, während es bei der Herstellung von Nitroglykol 7 g/l sind. Andererseits lag der Einkaufspreis beim Glycerin, als Rohstoff zur Herstellung von Nitroglycerin, in der Vergangenheit höher als der für die Herstellung des Nitroglykol benötigte Rohstoff Glykol. Unabhängig vom Nitrierverfahren, ob diskontinuierlich oder kontinuierlich, und unabhängig von der Art des Sprengöls fallen bei der Herstellung grosse Mengen Abwasser an, dessen Recycling einen hohen technischen Aufwand erfordert, was sich auch auf den Preis des gelatinösen Sprengstoffs auswirkt.

Sprengöl-Gehalt

Gelatinöse Sprengstoffe wurden bereits in der Vergangenheit in mehrere Gruppen aufgrund ihres Sprengölgehaltes von 20 - 40% unterteilt. Die von der Dynamit Nobel gefertigten gelatinösen Sprengstoffe enthielten: 40% Sprengöl (Ammongelit I mit hoher Brisanz), 30% Sprengöl (Ammongelit II) und 20% Sprengöl (Ammongelit III mit geringer Brisanz), um für die Vielzahl an Anwendungen gelatinöse Sprengstoffe mit unterschiedlicher Brisanz (Stossdruck) anbieten zu können.

Ammoniumnitrat

Das Ammoniumnitrat ist grundlegender Bestandteil der gelatinösen Sprengstoffe und dient, wie auch in den meisten anderen Gesteinsprengstoffen, als Sauerstoffträger. Der Grund für den weit verbreiteten Einsatz liegt in seiner hohen chemischen Beständigkeit und geringen Empfindlichkeit gegen Reibung und Schlag. Ein Mangel des Ammoniumnitrates besteht jedoch in seiner starken Hygroskopie. Diese Eigenschaft des Ammoniumnitrates tritt selbst bei luftdicht verschlossenen Patronen in Erscheinung, da insbesondere bei Temperaturen über 30°C das im Sprengstoff enthaltene Wasser vom Ammoniumnitrat aufgenommen und die Aushärtung des Sprengstoffs aufgrund einer Umkristallisation des Ammoniumnitrates zur Folge hat. So besteht ein Problem bei der Fertigung von gelatinösen Sprengstoffen darin, deren Eignung auch für den Einsatz in warmen, tropischen Ländern zu erzielen. Eine höhere Tropenstabilität der gelatinösen Sprengstoffe kann durch wasserbindende Zusätze aber auch durch spezielle Sorten von Ammoniumnitrat erzielt werden.

Gelatinöse Sprengstoffe mit DNT und TNT

Neben der Zugabe von Nitrocellulose zum Sprengöl zur Herstellung einer weichen und im Vergleich zum Sprengöl schlagunempfindlicheren Sprenggelatine enthalten einige gelatinöse Sprengstoffe auch Nitroverbindungen wie DNT (Dinitrotoluol) und/oder TNT (Trinitrotoluol). Durch die Zugabe dieser Nitroverbindungen ist es zum Einen möglich die Konsistenz des Sprengstoffs einzustellen, da bei Raumtemperatur DNT in flüssiger und TNT in fester Form vorliegt. Zum Anderen wird durch die Zugabe dieser Nitroverbindungen der Sprengstoff weiter phlegmatisiert ohne den Energiegehalt des Sprengstoffgemisches stark zu vermindern. Ein Nachteil dieser Nitroverbindungen ist, dass das DNT nachweislich und das TNT unter dem Verdacht steht krebserregend zu sein, so dass bereits seit einigen Jahren auch gelatinöse Sprengstoffe ohne Zugabe dieser krebserregenden Verbindungen auf dem Markt angeboten werden. Bei diesen Sprengstoffen wurden die krebserregenden Verbindungen durch Wachse und weitere Zugabe von Ammoniumnitrat ersetzt, wodurch sich der Energieinhalt des Sprengstoffs geringfügig vermindert hat aber die arbeitshygienischen Bedingungen bei der Herstellung wie auch bei der Anwendung dieser Sprengstoffe stark verbessert wurden.

Sprengstoffzusätze

Zur Leistungssteigerung von gelatinösen Sprengstoffen werden vor allem Zusätze wie Aluminiumpulver bzw. Aluminiumgriess in die lose Sprengstoffmasse eingemischt. Diese Zusätze erhöhen die Brisanz des Sprengstoffes aber auch seine Reib- und Schlagempfindlichkeit, so dass aus Sicherheitsgründen diesem Umstand bei der Weiterverarbeitung, Wartung und Reinigung der Anlagen Rechnung getragen werden muss.

Verpackungsvarianten

Gelatinöse Sprengstoffe werden ausschliesslich in patronierter Form angewandt. Patronen mit einem Durchmesser bis 40 mm werden sowohl mit gewachstem Papier umwickelt (Rollex-Patronen) als auch mit Kunststofffolie gefertigt. Der Vorteil der Rollex-Patronen ist, dass sie sich ohne Werkzeug durch Brechen teilen und sich durch leichtes Andrücken in aufsteigenden Bohrlöchern besser fixieren lassen. Der Vorteil der mit Kunststofffolie ummantelten Patronen liegt in Ihrer Undurchlässigkeit gegenüber Luft und Feuchtigkeit und in ihrer höheren Formbeständigkeit. Aufgrund der höheren Formbeständigkeit werden Patronen mit Durchmessern über 40 mm ausschliesslich mit Kunststofffolie gefertigt.

Anfo-Sprengstoffe

Die Hauptbestandteile der Anfo-Sprengstoffe sind Ammoniumnitrat als Sauerstoffträger und Öl als Kohlenstoffträger. Aufgrund der einfachen Rezeptur des Sprengstoffes und der preisgünstigen Bestandteile ist es kaum verwunderlich, dass Anfo-Sprengstoffe weltweit am meisten eingesetzt werden. Ein grosser Nachteil dieser Sprengstoffe besteht in ihrer Wasserlöslichkeit, so dass ihr Einsatz in loser Form nur in trockenen Sprengbohrlöchern möglich ist, und der Sprengstoff bei seiner Lagerung vor Feuchtigkeit geschützt werden muss.

Prillformen

Zur Herstellung moderer Anfo-Sprengstoffe werden i. d. R. poröse Ammoniumnitrat- Prills verwandt. Durch die Poren im Prill kann das dünnflüssige Öl mit einer Viskosität von 10 bis 30 Centipoise leicht aufgenommen werden. Aufgrund kapillarer Kräfte bleibt das Öl am Prill haften, so dass sich die Bestandteile selbst nach langer Lagerung nicht entmischen. Mit steigender Porosität der Prills, hier sind Schüttdichten von $0,75 \text{ g/cm}^3$ möglich, kann eine bessere Vermischung

zwischen dem Öl als Kohlenstoffträger und dem Ammoniumnitrat als Sauerstoffträger erzielt werden, wodurch die Umsetzungsreaktion des Sprengstoffs begünstigt wird und die Detonationsgeschwindigkeit steigt. Jedoch sinkt aufgrund der höheren Porosität die Dichte des Sprengstoffs und folglich auch die Ladungsdichte. Auch weisen diese Prills eine geringere Festigkeit gegenüber äussere Einflüsse durch mechanische Beanspruchung, Temperaturwechsel und Feuchtigkeit auf. Wird der Sprengstoff diesen Beanspruchungen ausgesetzt, steigt der Feinkornanteil und somit auch die Ladungsdichte des Sprengstoffs, wodurch sich auch ungewollt die charakteristischen Eigenschaften des Sprengstoffs verändern. Zur Herstellung spezieller Anfo-Sprengstoffe werden auch Ammoniumnitrat-Prills mit höherer Dichte, sogenannte Dense-Prills verwandt, um die physikalischen Eigenschaften der Anfo-Sprengstoffe hinsichtlich ihrer Charakteristik zu beeinflussen. Da die Dense-Prills über keine Poren verfügen, durch die sie das Öl aufnehmen könnten, wird bei der Herstellung des Sprengstoffs höherviskoses Öl verwandt, welches die Dense-Prills nur benetzt. Diese Anfo-Sprengstoffe sind jedoch für den sofortigen Einsatz bestimmt, da sich nach längerer Lagerung ein Teil des Öls absetzen würde.

Initiierung

Anfo-Sprengstoffe werden i. d. R. Mit Hilfe einer Schlagladung initiiert. Als Schlagladung werden häufig kapselempfindliche Sprengstoffe, wie z. B. gelatinöse Sprengstoffe, oder Booster eingesetzt. Um Anfo-Sprengstoffe effizient zu initiieren, ist es notwendig, eine ausreichend dimensionierte Schlagladung mit hoher spezifischer Energie und Detonationsgeschwindigkeit einzusetzen, um bereits nach kurzer Anlaufstrecke die maximale Detonationsgeschwindigkeit der Hauptladung zu erreichen. In Sprengbohrlöchern mit geringem Durchmesser ist es möglich den gut verdämmten Anfo-Sprengstoff allein mittels eines Sprengzünders zu zünden. Auch wenn durch diese Art der Initiierung die maximale Detonationsgeschwindigkeit der Hauptladung erst nach einer längeren Anlaufstrecke erreicht wird, sprechen von Seiten der Wirtschaftlichkeit einige Argumente für das sogenannte „Nacktsprengen“.

Herstellung

Die Herstellung von Anfo-Sprengstoffen ist recht einfach und beschränkt sich auf das Vermischen der Ammoniumnitrat-Prills mit dem Öl. Beim Vermischen der beiden Komponenten ist darauf zu achten, dass die Prills möglichst wenig mechanisch beansprucht werden und das Öl dosiert, häufig durch Einsprühen, in den Mischer eingebracht wird, um eine schonende und gleichmässige Durchmischung zu erzielen. Neben stationären Mischanlagen in den Betrieben der Sprengstoffhersteller werden zunehmend die Anfo-Sprengstoffe auch in Mischladefahrzeugen am Einsatzort hergestellt, mit den Vorteilen nur die Menge an Sprengstoff herzustellen, die benötigt wird, die Sprengbohrlöcher direkt mittels dieser Spezialfahrzeuge zu laden und den Transport von Explosivstoffen auf öffentlichen Strassen zu verringern.

Sprengstoffzusätze

Auch unter den Anfo-Sprengstoffen gibt es Sprengstoffe, denen zur Leistungssteigerung Aluminiumpulver oder Aluminiumgriess zugemischt wird. Hier besteht die Anforderung darin, dass sich die pulverförmigen und körnigen Komponenten nicht entmischen, um eine gleichbleibende Charakteristik des Sprengstoffs zu gewährleisten. Durch weitere Zusätze bei den Anfo-Sprengstoffen soll die Beständigkeit der Prills gegenüber äussere Einflüsse insbesondere Luftfeuchtigkeit, durch die die Stabilität der Prills herabgesetzt wird, verbessert werden. Zu diesen Zusätzen gehören Kaolin und Fettamine, mit denen die Prills beschichtet, man spricht hier auch vom „Coating“, und so direkt vor Feuchtigkeit geschützt werden. Magnesiumnitrat als Zusatz mit einem Gewichtsanteil von <1%, schützt die Ammoniumnitrat-Prills vor Luftfeuchtigkeit, indem es die Feuchtigkeit bindet, da es im Vergleich zum Ammoniumnitrat eine höhere Hygroskopie aufweist.

Verpackungsvarianten

Wie bereits vorab schon erwähnt, werden in zunehmenden Masse Anfo- Sprengstoffe mittels Mischladefahrzeuge direkt vor Ort hergestellt und in die Sprengbohrlöcher geladen, wobei sich eine Verpackung der Sprengstoffe erübrigt. Verpackte Sprengstoffe sind dort erforderlich, wo der Einsatz der Mischladefahrzeuge aufgrund der örtlichen Zuwegung zur Sprengstelle oder der sprengtechnischen Anwendung hinsichtlich des Bohrlochdurchmessers oder des Aufbaus der Ladesäule nicht möglich ist. Weiterhin ist auch die Grösse der Sprenganlage und der damit verbundene Gesamtsprengstoffeinsatz von Bedeutung, um die Wirtschaftlichkeit im Hinblick auf den Einsatz eines Mischladefahrzeuges oder der Verwendung von verpackten Sprengstoffen zu untersuchen. Verpackte Anfo-Sprengstoffe werden vornehmlich in Kartons oder als Sackware mit Gewichten bis ca. 25 kg angeboten. Welcher Verpackungsvariante man dem Vorzug gibt hängt meist von den Erfahrungen beim Handling mit der Verpackung im Lagerbereich und auf der Sprengstelle ab. Weiterhin werden auch von einigen Hersteller verpackte, patronierte Anfo-Sprengstoffe angeboten. Auch wenn die Kunststoffolie nur bedingte einen Schutz vor Nässe gewährleistet, da eine Beschädigung der Patronen beim Ladevorgang nicht ausgeschlossen werden kann, eignen sich diese Patronen zum dosierten Laden von Bohrlöchern in klüftigem Gestein, wodurch ein Verlaufen des Sprengstoffs verhindert wird, und zum Laden von horizontalen und aufsteigenden Bohrlöchern.

Physikalisch-chemisches Wirkprinzip moderner Emulsionssprengstoffe

Einleitung

In den letzten Jahren wurden auf dem Gebiet der Sprengstoffe immer bessere und effizientere Stoffe entwickelt und angewendet. In der täglichen Gewinnungssprengung wird auch weiterhin der Kosten-Nutzen-Aspekt den Einsatz der Sprengstoffe und Sprengstoffsysteme bestimmen. Eine der bemerkenswertesten Entwicklungen auf diesem Gebiet waren und sind bis heute die Emulsionssprengstoffe. Sie sind im Vergleich zu den gelatinösen Sprengstoffen umweltfreundlicher, zeichnen sich durch hohe Leistungsfähigkeit, bei gleichzeitiger hoher Handhabungssicherheit aus. Seit Jahren schon werden sie in pumpfähiger und patronierter Form in der täglichen Anwendung in Steinbrüchen wie auch Untertage mit grossem Erfolg eingesetzt. In all diesen Jahren, bis zum heutigen Tag, werden die Emulsionssprengstoffe verbessert und dort wo möglich, den Erfordernissen und Kundenwünschen angepasst.

Emulsionsbegriff im Hinblick auf Emulsionssprengstoffe

Was ist eine Emulsion?

Eine Emulsion ist eine Mischung, die aus mindestens zwei ineinander nahezu unlöslichen Flüssigkeiten besteht. Die eine Flüssigkeit bildet dazu eine äussere oder kontinuierliche Phase, in der die zweite, innere oder disperse Phase, in Form von Tropfen verteilt ist. Die Emulsionssprengstoffe gehören zu der Gruppe der Wasser-in-Öl Emulsionen. Der Anteil der wässrigen Salzphase (Oxidizerlösung) kann mehr als 90% betragen und besteht zu über 70% aus Sauerstoff liefernden Salzen (z.B. Ammoniumnitrat, Natriumnitrat) und typischerweise zwischen 10 und 20% Wasser. Die Ölphase besteht aus oxidierbaren Komponenten wie Öl und Wachs. Die Menge dieser sogenannten Fuelphase liegt unter 10%.

Wie bekommt man aus diesen unterschiedlichen Lösungen eine Emulsion?

Würde man die reine wässrige Salzlösung (Oxidizer) mit Mineralöl (Fuel) zusammen schütten und rühren, wäre keine dauerhafte und stabile Bindung der beiden Phasen zu einer Emulsion möglich. Sie würden sich nach kurzer Zeit entmischen und sich wieder als zwei eigene Phasen ausbilden. Erst durch Verwendung eines Emulgators bei gleichzeitigem Einbringen von Energie bildet sich bei dem Vermischen der beiden Phasen eine dauerhafte, stabile Emulsion aus.

Was ist ein Emulgator?

Emulgatoren gehören zur Stoffklasse der Tenside und sind in ihrem chemischen Molekulaufbau so strukturiert, dass sie an den Grenzflächen der Stoffe wirksam werden. Das heisst: Durch ihre hydrophilen (wasserbindend) und lipophilen (ölfreundlich) Eigenschaften sind sie in der Lage die wässrige mit der öligen Phase dauerhaft zu verbinden. Sie setzen dabei die Grenzflächenspannung zwischen den beiden Phasen herab und erreichen damit eine Stabilisierung der Emulsion. Sowohl Elastizität als auch Viskosität der Grenzflächenfilme sind wichtige Faktoren der Emulsionsstabilisierung und hängen stark vom Emulgator ab. Wurden anfangs überwiegend Sorbitan mono oleat - Emulgatoren in der Herstellung der Emulsions Sprengstoffe eingesetzt, so haben sich heute Emulgatoren auf der Basis eines Polyisobutylen succinic anhydrid bestens bewährt.

Was passiert beim Emulgieren?

In der Praxis wird zu bereits aus Mineralöl und Emulgator vorgemischtem Fuel, bei gleichzeitigem Einbringen von Energie die Oxidizerlösung zugeführt - Voremulgieren. Anschliessend wird die Rohemulsion noch durch weitere Einrichtungen mechanisch „bearbeitet“ und die gewünschte Viskosität eingestellt. Durch die mechanische Energie wird die Oxidizerlösung in feinste Tröpfchen mit einer Grössenverteilung von ca. 0,5- 10 µm aufgebrochen und es entsteht eine sehr grosse Grenzfläche. An den Bruchstellen setzt sich der Emulgator mit seinen „verbindenden“ Eigenschaften fest. Dabei ummantelt das am Emulgator hängende Öl die wässrigen Tropfen mit einem hauchdünnen Ölfilm und schliesst ihn so ein. Dabei entsteht ein unter dem Mikroskop gut zu erkennendes Wabenmuster. Die Grösse der Wassertropfen ist von der angewendeten Energie und von den Eigenschaften des Emulgators abhängig. Je schneller ein Emulgator die Bruchstellen an dem Wassertropfen besetzen und mit seinem Ölfilm ummanteln kann, desto kleiner werden die Wassertropfen bleiben. Gelingt es dem Wassertropfen jedoch den Ölfilm zu durchbrechen und sich wieder mit einem anderen Wassertropfen zu verbinden, werden die Eigenschaften der Emulsion verändert. Dies kann bis zur Kristallisation des im Wassertropfen gelösten Salzes führen. Man spricht dann vom „Brechen“ der Emulsion! Eine gebrochene Emulsion ist für die Sprengstoffherstellung nicht mehr verwendbar.

Weg von der Emulsion zu einem Sprengstoff

Die Sensibilisierung der Emulsion zu einer Sprengstoffemulsion kann über zwei verschiedene Verfahren erreicht werden: durch das Einmischen von Mikroglashohlkörpern („Glasbubbles“) oder durch die chemische Sensibilisierung („chemical gassing“). War zu Beginn der Emulsions Sprengstoffe die Sensibilisierung mit Glasbubbles die überwiegende Vorgehensweise, so wird heute die chemische Sensibilisierung beim grössten Anteil der Emulsions Sprengstoffe angewandt. Bei der chemischen Sensibilisierung wird durch Einmischen einer Natriumnitritlösung eine gasbildende chemische Reaktion innerhalb der Emulsion erzeugt. Dabei wird die zur Detonation notwendige Dichtereduzierung von einer inerten Emulsion bis hin zu einem kapselempfindlichen Emulsions Sprengstoff bewirkt. Um die Zieldichte des Sprengstoffes erreichen zu können, muss die Zugabemenge der Natriumnitritlösung auf die verwendete Emulsionsmatrix abgestimmt sein. Bei

den meisten Anwendungen wird als weitere Steuerungsmöglichkeit noch eine zweite „Gasserpflösung“, in der Regel Essigsäure, zugegeben. Sie dient dazu den pH-Wert der Emulsion zu senken und damit die Reaktion der Gaserzeugung zu beschleunigen. Die Gassingseigenschaft von chemisch sensibilisierten Emulsionssprengstoffen wird über deren Dichte bestimmt.

Bei Gewinnungssprengungen in den Steinbrüchen wird heute auch mit einer Kombination aus Emulsions- und ANC-Sprengstoff (= ANFO) gearbeitet. Dieser Sprengstoff wird direkt am Bohrloch gemischt und hineingepumpt. Hierbei wird der Emulsion meist ein Anteil von ANFO, der unter 50% beträgt, zugemischt. Die Sensibilisierung erfolgt wie beim Emulsionssprengstoff durch „Chemical Gassing“. Dieser Sprengstoff hat im Vergleich zu reinem Emulsionssprengstoff eine langsamere Detonationsgeschwindigkeit und etwas mehr Schwadenvolumen. Er kann, durch den hohen Emulsionsanteil, auch in wasserführenden Bohrlöchern eingesetzt werden. Wird ein Sprengstoffsystem benötigt, das noch grösseres Schwadenvolumen bei relativ niedriger Detonationsgeschwindigkeit liefert, so wird der Emulsion ein Anteil von über 50% ANFO zugemischt. Man erhält damit einen Sprengstoff, dessen Leistungsvermögen das der ANFO-Sprengstoffe noch übertrifft. Durch den hohen ANFO-Anteil kann dieser Sprengstoff aber nicht in wasserführenden Bohrlöchern verwendet werden. Er ist dann auch nicht mehr pumpfähig, sondern wird pneumatisch eingeblasen. Für die Anwendung Untertage wird auch ein Pumpsystem mit Ein-Komponenten-Gassing eingesetzt. Dieses Pumpsystem zeichnet sich durch seine unkomplizierten Steuerungsmöglichkeiten aus, und ist somit einfach und schnell zu erlernen. Durch den Wegfall der ätzenden Essigsäure als zweite Gassingkomponente ist dieses System für Untertage, in Bezug auf die Arbeitssicherheit, dem Zwei-Komponenten-Gassing deutlich überlegen. Auch kann die verwendete Natriumnitritlösung unter 5% Natriumnitritkonzentration bleiben und ist in dieser Lösung nicht mehr als „Gift“ zu kennzeichnen.

Detonationsvorgang bei der Umsetzung von Emulsionssprengstoffen

Durch die Initiierung einer Zündladung werden zunächst die Gasblasen im Nahbereich der Zündladung sehr schnell komprimiert und dabei stark aufgeheizt. Da die Kompression der Blasen nahezu adiabatisch verläuft, werden an den Grenzflächen der Blasenwandung und der Flüssigkeit sogenannte „hot spots“ frei, die die Aktivierungsenergie für die chemische Umsetzung von Sauerstoffträger und Brennstoff darstellen. Durch die Vielzahl der im Sprengstoff frei werdenden „hot spots“ bildet sich ein Druckprofil aus. Dieser Vorgang wird als langsame Detonation bezeichnet. Aufgrund des Dichteunterschieds zwischen den Gasblasen und dem Sprengstoff kommt es zu einem zweiten Prozess. Die eintreffende Stosswelle der Zündladung komprimiert die Gasblasen etwas und beschleunigt diese stärker als die dichteren Bereiche des Sprengstoffes. Die Gasblasen erreichen somit eine, relativ zur Stosswelle, höhere Geschwindigkeit und gelangen so in ein Gebiet niedrigeren Druckes. In diesem expandieren die Gasblasen schlagartig und setzen dabei eine hohe Energie frei. Dieser Vorgang wird als schnelle Detonation bezeichnet. Da nur Blasen gleicher Grösse und Geschwindigkeit diesen Zustand erreichen, tritt eine sehr gleichmässige Druckerzeugung bzw. Detonationsfront auf.

Quelle: Nobelheft 2004

Historische Entwicklung und Möglichkeiten des Ladesäulenaufbaus

Vergleicht man die Entwicklung der Zündsysteme mit der Entwicklung moderner Sprengstoffsysteme so wird deutlich, dass die ersten Anwendungen von Sprengstoffsystemen erheblich weiter zurückreichen als die der ersten Zündsysteme. Die gesamte Entwicklung der heutigen Zündtechnik von der primitiven Zündschnurzündung bis hin zur modernen elektronischen Zündtechnik erfolgte in den vergangenen etwa 150 Jahren. Es wurden hierbei gleichermaßen auf dem Gebiet der Zündsysteme als auch im Bereich der Anwendungstechnik erhebliche Fortschritte erzielt. Die

Entwicklung der Sprengstofftechnik reicht hingegen sehr weit zurück. Bereits im Jahr 1560 vor Chr. (XVI Dynastie; Ägypten) sind erste Mischungen dokumentiert, die durchaus als Vorläufer des Schwarzpulvers betrachtet werden können, wenn auch ihr anfänglicher Einsatz anderen Zwecken diene. So waren die Aufgaben dieser Mischungen zunächst im Bereich der Signalgebung, der psychologischen Wirkung (Weihrauch), der hygienischen oder auch giftigen Wirkung (Abwehr von Feinden) zu suchen. Seit jeher haben Flammen und Rauch auf die Menschheit eine magische Wirkung ausgeübt. So wurden in den darauf folgenden 2000 Jahren die unterschiedlichsten Mischungen aus Schwefel, Kohlenstoff (Holzkohle und/oder Erdölprodukte) und weitere Beimengungen wie Kalk und/oder Salpeter hergestellt und bei kriegerischen Handlungen eingesetzt. Zunächst war der Grundgedanke die Schwefel/Kohlenstoffmischung durch die Zugabe von gebranntem Kalk so „einzustellen“, dass sich dieses Gemenge durch die stark exotherme Reaktion des gebrannten Kalks beim Auftreffen auf Feuchtigkeit von selbst entzündete.

Schwarzpulver

Nun waren die Vorräte an gebranntem Kalk speziell in Kriegszeiten sehr begrenzt, wohingegen es Ruinen in großer Zahl gab, aus deren Mauerwerk der Kalk zurückgewonnen werden konnte. Das Einarbeiten dieses „recyclten Bauschutts“ in die oben beschriebenen Schwefel/Kohlenstoffmischungen führen unweigerlich dazu, dass teilweise auch gewisse Mengen an salpetrigen Rückständen in die Endmischung gelangten. Unter bestimmten Voraussetzungen stellten sich so die Reaktionseigenschaften dieser Gemenge wesentlich „wirkungsvoller“ dar, als die der ursprünglich bekannten „reinen“ Mischungen. Die Rezepturen des „Griechischen Feuers“ und des „Huo Pau“ sind somit durchaus als die Vorläufer des heutigen Schwarzpulvers anzusehen. Diese wahrscheinlich zufällige Entdeckung der feuerverstärkenden und feuerunterhaltenden Kraft des Salpeters durch die Chinesen hat den Weg zur Erfindung des Schwarzpulvers geebnet. Wer letztendlich wann, wie und wo das Schwarzpulver erfunden hat, ist unklar. Sicherlich wurde zunächst auch der grundlegende Unterschied von Brand- und Explosivstoff nicht erkannt. Die Entwicklung des Schwarzpulvers ist zu Beginn des 15. Jahrhunderts abgeschlossen. In den Folgejahren werden weitere Verbesserungen im Bereich Schwarzpulver, im wesentlichen bei der Fertigung, erreicht. Diese bestanden in der Abwendung von der gefährlichen manuellen Herstellung hin zu einer mechanisierten, und sogar fernbedienbaren Produktion. War der Einsatz von Schwarzpulver nun durchaus gebräuchlich, so brachte die Entdeckung der ersten Nitroverbindungen eine wesentliche neue Erkenntnis: Die Unterscheidung der Deflagration von der Detonation. Während sich die frei werdende Energie bei einer deflagrierenden Umsetzung den Weg des geringsten Widerstandes sucht, also den des geringsten Einschusses, so erfolgt die Energieausbreitung bei der detonativen Umsetzung gleichmäßig in alle Richtungen. Unabhängig von den Einschussbedingungen! Die objektive Beurteilung der Leistungsfähigkeit unterschiedlicher Sprengstoffarten und -mischungen war somit eine wesentliche Aufgabenstellung. Neben dieser „Einordnung“ der unterschiedlichen Sprengstoffe war es das wesentliche Entwicklungsziel, die nun gefundenen Nitroverbindungen handhabungssicher zu machen.

Dynamit

Allen flüssigen Nitroverbindungen (die sich bis ins 15. Jahrhundert zurückverfolgen lassen) ist gemein, dass sie aus anwendungstechnischer Sicht höchst unsicher sind. Häufig kam es bereits während der Handhabung zur vorzeitigen Umsetzung. Obwohl die hohe mechanische Empfindlichkeit eine einfache Zündgestaltung erwarten ließ, war jedoch gerade die zuverlässige Initiierung ausschließlich zum gewollten Zeitpunkt mit den damals verfügbaren „Zündmitteln“ kaum möglich. 1865 gelang es Alfred Nobel zunächst in den Laboratorien seiner Sprengstofffabrik „Auf dem Krümmel“ bei Hamburg mit der Erfindung des Dynamits einen handhabungssicheren Sprengstoff zu entwickeln. Nun ließen sich diese neuen, sehr leistungsstarken Sprengstoffe aber immer noch nicht durch die bloße Zuführung eines thermischen Impulses - wie er ja durch die

Zündschnurzündung zur Verfügung stand – zuverlässig und auch sicher zünden. Der heute noch gültige Grundsatz der wirkungsvollen Initiierung der jeweils folgenden Sprengstoffkomponenten innerhalb der Gesamtladung (Ladesäule) mit einem deutlich höheren Initial wurde erkannt. Die wesentliche Bedeutung des jeweiligen Zündinitials für die nächstfolgende Komponente des gesamten Zünd- und Sprengstoffsystems wurde im 19. Jh. begriffen. Anfänglich war Alfred Nobel bei der Entwicklung seines „Patentzündhütchens“ auf Schwarzpulverbasis bemüht die Leistungsfähigkeit des Initials durch optimale Einschlussbedingungen (hohe Verdämmung) zu steigern. Da das Leistungspotenzial des Schwarzpulvers im Hinblick auf die Initiierung des Sprengöls und auch seines Dynamits selbst unter optimalen Einschlussbedingungen aber als „grenzwertig“ zu beurteilen ist, erkannte er die Notwendigkeit eines geeigneteren Zündmittels. Bald darauf entwickelte Alfred Nobel die erste Sprengkapsel, deren Ladung Knallquecksilber der Primärladung moderner Zündmittel (heute meist Bleiazid) vergleichbar ist. Im Jahre 1886 beginnt die Rheinisch-Westfälische Sprengstoff-Aktiengesellschaft, ein Vorgänger der Dynamit Nobel AG, mit dem Bau einer Sprengkapsel Fabrik in Troisdorf bei Köln. Die Zusammenstellung eines Sprengsystems unter Verwendung eines höher brisanten Zündmittels zur wirkungsvollen Initiierung der nachfolgenden Sprengstoffkomponenten hat noch heute Gültigkeit. Wesentlich für den Aufbau eines leistungsstarken Sprengsystems ist der schematisch verdeutlichte Zusammenhang der Initiierung der jeweils nachfolgenden Komponente dieses Sprengsystems durch ein Initial höherer Brisanz; beispielsweise messbar über die Detonationsgeschwindigkeit.

Anfo-Sprengstoffe (ANC)

Die Erfindung und Entwicklung der ANFO- bzw. ANC-Sprengstoffe ist durchaus vergleichbar mit der der Schwarzpulversprengstoffe. Nicht die systematische Entwicklung eines speziellen Stoffgemisches brachte diesen leistungsstarken und wirtschaftlichen Sprengstoff hervor, sondern die Analyse zahlreicher Katastrophen mit großen Mengen für die Landwirtschaft gelagerten Ammonsalpeters. Ein weiterer physikalischer Wirkmechanismus ist für die Initiierbarkeit und detonative Umsetzung dieser explosivstofffreien Gemenge aus Sauerstoffträger und Kohlenstoff verantwortlich: Der „Hot-Spot-Effekt“. Bei Anwendung der modernen ANFO-Sprengstoffe kommt einem leistungsstarken Initial eine noch größere Bedeutung zu. Die feinen Lufteinschlüsse in den porösen Prills werden durch die Einleitung des Zündinitials sehr stark komprimiert. Vereinfacht gesehen entsteht dadurch kurzfristig ein Bereich extrem hoher Temperatur und extrem hohen Drucks. Dieser energetisch „hochgespannte“ Bereich eilt der eigentlichen Detonationsfront voraus. Erst das Zusammentreffen beider Faktoren - also das Vorhandensein der Reaktionspartner Sauerstoff/Kohlenstoff und das kurzfristige Anheben dieses Stoffgemisches auf das oben beschriebene sehr hohe Energieniveau - machen ANFO überhaupt detonationsfähig.

Emulsionssprengstoffe

Bedingt durch die hohe Leistungsfähigkeit, Handhabungssicherheit und Wirtschaftlichkeit verbreitete sich die Anwendung der ANFO-Sprengstoffe in der gewerblichen Sprengtechnik in kürzester Zeit. Wo es die betrieblichen Rahmenbedingungen zulassen, ist dieser Sprengstoff noch heute erste Wahl. Nun haben die Ammonsalpeter-Prills jedoch sehr stark hygroskopische Eigenschaften, was bei wasserführenden Bohrlöchern schnell zu Leistungseinbußen bis hin zum völligen Versagen führen kann. Die Entwicklung eines wasserfesten Sprengstoffsystems auf Basis einer solchen Ammonsalpeter/Öl-Mischung war somit vorgezeichnet. Zunächst wurde versucht, die erforderliche Ölmenge in einer hochkonzentrierten Salzlösung zu dispergieren (Öltröpfchen in Salzlösung). Nur wenige Jahre später gelang es, feinste Salztröpfchen in Öl zu emulgieren (Ölfilm umhüllt Salztröpfchen). Die modernen Emulsionssprengstoffe waren gefunden. Heute stehen für die unterschiedlichsten Betriebs- und Rahmenbedingungen Emulsionssprengstoffe mit verschiedensten Eigenschaften zur Verfügung. Parameter, wie beispielsweise: Detonationsgeschwindigkeit, Schwadenvolumen, Dichte oder Sprengkapselempfindlichkeit lassen sich variieren. Allen

Rezepturen ist jedoch das physikalisch-chemische Wirkprinzip des Vorhandenseins der beiden Reaktionspartner Sauerstoff/Kohlenstoff und des „Hot-Spot-Effektes“ gemein. Zwei Techniken werden heute zur Erzeugung der für den „Hot-Spot-Effekt“ erforderlichen Lufteinschlüsse eingesetzt: das mechanische Untermengen von Mikrohohlkugeln und/oder das chemische Begasen der Emulsionsmatrix.

Aufbau von Ladesäulen und deren Initiierung bei aktuellen untertägigen Sprengungen

Bis in die 70er Jahre wurde im untertägigen Bergbau nahezu ausschließlich mit patronierten und vorwiegend gelatinösen Sprengstoffen gearbeitet. Standardmäßig wurde zur Initiierung dieser patronierten Ladesäulen die Sprengkapsel Nr. 8 eingesetzt, die in den gebräuchlichen elektrischen und nichtelektrischen Moment-, Kurzzeit- und Langzeitzündern zur Anwendung kommt. Mit Beginn der Verbreitung nicht sprengkapselempfindlicher loser Sprengstoffe im Bergbau mussten nun auch spezielle - auf die geringen Bohrlochdurchmesser abgestimmte - Zündverstärker eingesetzt werden. In Deutschland ist der weitaus größte Verbraucher loser Sprengstoffe im untertägigen Bereich der Kali- und Steinsalzbergbau. Aber auch die weiteren bergbaulichen Sprengtechniken sollen bei dieser Gegenüberstellung mit berücksichtigt werden. Jede Anwendung stellt ihre speziellen Anforderungen an die jeweilige Sprengtechnik. Mit der sprengtechnischen Betreuung des Tunnels Grouft in Luxemburg liegt Orica ein aktuelles vielseitiges Beispiel vor für die Zusammenhänge von Ladesäulenaufbau und Zündtechnik bei gleichzeitiger geologischer Problematik. Mit Beginn der sprengtechnischen Auffahrung wurde als Zündverstärker bei gepumpten Emulsionssprengstoffen eine Patrone Nobelit 310, 25 × 180 mm, eingesetzt. Aufgrund schwieriger geologischer Bedingungen kam es beim Laden der Bohrlöcher immer wieder zu Problemen beim Einbringen der Patronen. Durch das teilweise sehr weiche und gebräuchliche Gestein können keine sauberen Bohrlöcher erstellt werden. Die Bohrlöcher, die in der Regel mit 45 oder 52 mm Durchmesser gebohrt werden, weisen Ausbrüche von > 100 mm auf. In diesen zerklüfteten Bohrlöchern legen sich die Patronen quer und verklemmen sich. Der Ladeschlauch wird dann an der Patrone vorbei geschoben und bei Lademengen von teilweise < 300g ist nicht mehr gewährleistet, dass der Zündverstärker in der Ladesäule liegt. Dies kann zu Versagern, schlechten Sprengergebnissen und Sprengstoffresten im Haufwerk führen. Diese Probleme konnten mit dem Einsatz eines kleinen HE-Primers (Primer 15) beseitigt werden. Mit der Verwendung dieses Primers konnten deutliche Einsparungen bei der Vorbereitungs- und Ladezeit erzielt und eine sichere Zündung gewährleistet werden. Trotz geringfügig höherer Kosten für die Zündung überwiegen die anwendungstechnischen Vorteile, speziell auch bei den aufgezeigten geologischen Verhältnissen.

Ladesäulen aus gelatinösen NG-Sprengstoffen (Dynamite)

Der traditionelle Gesteinssprengstoff gehört zur Familie der gelatinösen Sprengstoffe. Die aktuellen Typen sind modifiziert und stellen die Weiterentwicklung der Dynamite dar (NG-Produkte = Nitroglycerin- bzw. Nitroglycol-Produkte), wobei das Kennzeichen weiterhin im Sprengölgehalt besteht. Einer dieser Vertreter heißt bei Orica „Eurodyn“. Speziell die kleinkalibrigen in Papier gewickelten Eurodyn 2000-Patronen werden auch heute noch auf Grund der hohen Leistungsdichte und der einfachen Handhabbarkeit bei untertägigen Sprengarbeiten als Hauptladung wie auch zur Initiierung eingesetzt. Eurodyn 2000 zeichnet sich im Vergleich zu anderen Gesteinssprengstoffen durch seine hohe Brisanz, die hervorragende Detonationsübertragung und die hohe Energiedichte aus. Eurodyn 2000 enthält als zeitgemäßer Sprengstoff keine aromatischen Nitrokörper wie DNT und TNT; die als krebserregend eingestuft sind bzw. gelten. Die zur reinen Initiierung am häufigsten verwendeten kleinkalibrigen Patronen mit Abmessungen von 25 × 180 mm haben ein Gewicht von 125 g. Der hohe Energiegehalt dieser Patronen bewirkt eine gute Leistung im Bohrlochtieferen, dem Bereich mit der größten Verspannung. Somit ist dieser Sprengstoff besonders gut geeignet zum Initiieren von losen Gesteinssprengstoffen. Vor-/Nachteile: Die Vorteile des Eurodyn 2000 liegen zweifelsohne in der hohen Energiedichte und Detonationsübertragung.

Eurodyn 2000 enthält keine aromatischen Nitrokörper; wie DNT und TNT. Die Nachteile der gelatinösen Sprengstoffe liegen in der ungünstigeren Schwadenzusammensetzung und den Anteilen an Nitroglykol, das gefäßerweiternd wirkt und damit während der Handhabung Kopfschmerzen auslösen kann. Restsprengstoffe im Haufwerk sind der Arbeitssicherheit undienlich. Neben der o.a. traditionellen Initiierung loser Anfo-Sprengstoffe mittels gelatinöser Sprengstoffe stellen patronierte Emulsionssprengstoffe eine zeitgemäße und sinnvolle Alternative dar. Im gesamten Kali- und Steinsalzbergbau wird fast ausschließlich loser ANFO-Sprengstoff für die Gewinnung der Rohsalze eingesetzt, der auch als ANC (AN = Ammoniumnitrat, C = organischer Bestandteil, Kohlenstoffträger) bezeichnet wird. ANFO-Sprengstoff wird im untertägigen Einsatz bzw. im Tunnelbau fast ausschließlich mittels Druckluft in die Bohrlöcher befördert, also pneumatisch geladen. Für viele Gebirgsstrukturen reicht jedoch die Brisanz der ANC-Sprengstoffe nicht aus, weshalb die Emulsionssprengstoffe unter Tage häufig Anwendung finden. Grundsätzlich sind hierbei zwei Arten von Emulsionssprengstoffen zu unterscheiden. Sowohl die sprengtechnische Charakteristik, als auch die Handhabung werden wesentlich durch die Form der Sensibilisierung (mechanisch oder chemisch) beeinflusst. Mechanisch sensibilisierte EMS Der mit Mikrohohlkugeln mechanisch sensibilisierte, sprengkapselempfindliche Emulsionssprengstoff Nobelit 310 ist in der gleichen Weise patroniert wie kleinkalibrige gelatinöse Sprengstoffe. Er bietet bei der Handhabung einige Vorteile.

Daten des Nobelit 310 von Orica

Dichte (g/cm ³):	1,16
Dv freiliegend (m/s):	4500 - 4700
Schwadenvolumen (l/kg):	880
Explosionswärme (kJ/kg):	2800
Spezifische Energie (kJ/kg):	730
Sauerstoffbilanz (%):	+3,6

Die in Papier gewickelte Patrone mit den Abmessungen 25 × 180 mm hat ein Gewicht von 100 g. Durch eine spezielle Faltung des Papiers an den Patronenenden entfällt das bei geschlauchter Ware (chemische Sensibilisierung) erforderliche Vordornen der Patrone. Durch einfaches Zusammen-drücken der Patrone öffnet sich die Stirnfaltung und der Sprengzünder kann problemlos eingeführt werden. Darüber hinaus ist der Emulsionssprengstoff auch sehr handhabungssicher, da er durch Stoß oder Reibung nicht initiiert ist. Die Patrone lässt sich problemlos teilen, so dass auch das Herstellen von kleineren Ladungen sehr einfach möglich ist. Aufgrund der Konsistenz kann die Patrone bei Überkopf- Bohrlöchern auch angedrückt werden. Vor-/Nachteile: Die Vorteile der Nobelit 310 Patrone liegen in der guten Leistung bei gleichzeitig günstiger Schwadenzusammensetzung. Dazu kommt noch eine hohe Handhabungssicherheit und die sehr einfache Handhabung. Nachteilig ist die mögliche Schussbeeinflussung durch benachbarte Bohrlöcher. Nobelit Al ist ebenfalls ein mit Mikrohohlkugeln sensibilisierter, sprengkapselempfindlicher Emulsionssprengstoff. Durch die Zugabe von Aluminiumanteilen erreicht er eine sehr hohe Detonationsgeschwindigkeit und stellt damit eine sehr hohe Energie bereit. Der Nobelit Al wird gegebenenfalls als geschlauchte Patrone mit Durchmesser ab 32 mm hergestellt und eignet sich besonders zum Sprengen von spröden bis hin zu zähen, harten Gesteinsformationen. Vor-/Nachteile: Die Vorteile der Nobelit Al-Patronen liegen in der hohen Detonationsgeschwindigkeit in Verbindung mit der hohen Dichte. Auch dieser Sprengstoff bietet eine hohe Handhabungssicherheit. Nachteilig ist die ebenfalls mögliche Schussbeeinflussung durch benachbarte Bohrlöcher. Für die Herstellung bringt der Aluminiumeinsatz durchaus gewisse Sicherheitsbedenken - ein Nachteil Al-haltiger Sprengstoffe. Deshalb versuchte Dynamit Nobel wie auch Orica Sprengstoffe verschiedenster Leistungsparameter erfolgreich auf den Markt zu bringen, ohne auf Al zurückzugreifen. Chemisch sensibilisierte EMS Neben dem durch mechanisches Untermischen von Mikrohohlkugeln

sensibilisierten Nobelit 310 wie auch Nobelit Al, ist mit dem kleinkalibrigen Nobelit EP auch ein durch chemisches Begasen (Gassing) sensibilisierter Emulsionssprengstoff - verpackt in einer geschlachten Patrone – verfügbar. Nobelit EP ist ein patronierter Emulsionssprengstoff, der sich für viele sprengtechnische Anwendungen eignet. Er entwickelt durch die Zugabe zusätzlicher Prills ein hohes Schwadenvolumen. Mit den Abmessungen 32 × 450 mm und einem Gewicht von 400 g hat diese Nobelit EP-Patrone einen sehr hohen Energiegehalt, ist aber aufgrund der Abmessungen eher für Bohrlochdurchmesser von > 40 mm geeignet. Vor-/Nachteile: Die Vorteile des Nobelit EP liegen in seiner guten Leistung bei großem Schwadenvolumen und seiner hohen Handhabungssicherheit. Als nachteilig wirkt sich auch hier die mögliche Schussbeeinflussung durch benachbarte Bohrlöcher (z.B. Beim Fächer- oder Keileinbruch) aus.

Zündung nur mit Zünder - „Nacktsprengen“

Im gesamten Kali- und Steinsalzbergbau wird fast ausschließlich loser ANFO-Sprengstoff für die Gewinnung der Rohsalze eingesetzt. Hierbei gibt es die Besonderheit, dass seit Mitte der 80er Jahre dieser normalerweise nicht sprengkapselempfindliche Sprengstoff unter besonderen Bedingungen auch mit einem Sprengzünder ohne Zündverstärker eingesetzt werden darf, wenn die entsprechenden BAM-Zulassungen für die verwendeten Zünd- und Sprengstoffsysteme vorliegen. So muss dem verwendeten losen ANC-Sprengstoff die Verwendungsbestimmung 0058 mit folgendem Inhalt zugeordnet sein: Im Kali- und Steinsalzbergbau kann auf die Verwendung eines Zündverstärkers verzichtet werden, wenn der Einblasdruck des Ladegerätes 3 bar nicht überschreitet, wenn vor dem Einbringen des Zünders vorgeblasen wird, d. h. bereits ein Teil des Bohrlochs mit dem ANC-Sprengstoff gefüllt ist, oder der Zünder nicht weiter als seiner Länge entsprechend in den Ladeschlauch eingeführt wird, und wenn der Bohrlochdurchmesser nicht größer als 45 mm ist. In dieser Verwendungsbestimmung ist die Durchführung des sogenannten „Nacktsprengens“, beschränkt auf den Kali- und Steinsalzbergbau enthalten, da hier durch das trockene Gebirge und die geringe Luftfeuchtigkeit keine negative, und somit leistungsmindernde Beeinflussung des Sprengstoffs durch Feuchtigkeit zu erwarten ist. Weiterhin ist der maximale Bohrlochdurchmesser (in diesem Fall 45 mm) festgelegt, damit der Sprengzünder in der Lage ist, die zur sicheren Initiierung erforderliche Energie im Bohrloch bereitzustellen. Für das „Nacktsprengen“ müssen neben dem Sprengstoff auch die Sprengzünder eine gesonderte Zulassung der BAM haben. Da bei diesem Einsatz der Sprengzünder unter Umständen höheren mechanischen Belastungen ausgesetzt sein kann, werden von Orica auch kunden- und anwendungsspezifische Produkte bereitgestellt, die speziell auf diese Anforderungen abgestimmt sind. Hier kommt z.B. der Pilzstopfen zum Einsatz, der neben der besseren Fixierung des elektrischen Teils in der Sprengkapsel auch eine stoßdämpfende Wirkung hat und dem Sprengzünder in Verbindung mit der Sprengkapsel aus einer Kupfer-Zink-Legierung eine wesentlich höhere mechanische Stabilität gibt. Die Primär- und Sekundärladungen der Moment-, Kurzzeit- und Langzeitzünder sind dabei identisch mit den Standard-Sprengzündern. Vor-/Nachteile: Die Vorteile dieses „Nacktsprengens“ liegen in der einfachen Handhabung; das Einbringen des Zünders in einen zusätzlichen Zündverstärker entfällt. Es gibt keine Beeinflussung der Sprengschwaden und der ausschließliche Einsatz eines Zünders ist im Vergleich zur Anwendung mit einem zusätzlichen Zündverstärker wesentlich kostengünstiger. Alle elektrischen Orica-Sprengzünder mit Aluminiumhülse sind in die Lager- und Transportklassifizierung 1.4 S eingestuft. Nachteilig ist die im Vergleich zu einem zusätzlichen Zündverstärker geringere Leistung.

Zündung durch Zünder mit verstärkter Unterladung

Der Zünder mit verstärkter Unterladung, der sogenannte Heavy-Zünder, wurde entwickelt, um lose Sprengstoffe in kleinkalibrigen Bohrlöchern ohne zusätzlichen Zündverstärker sicher zu initiieren. Der Heavy-Zünder besitzt grundsätzlich eine Sprengkapsel aus einer Kupfer-Zink-Legierung und ist optisch von einem Standard-Kupfer-Zink-Sprengzünder nicht zu unterscheiden. Auch die Abmessungen sind (bis auf die Länge, die sich geringfügig erhöht) identisch. Dabei hat der Heavy-Zünder, bedingt durch eine geänderte Art der Unterladung, etwa die doppelte spezifische Energie einer Sprengkapsel Nr. 8. Trotzdem ist der Zünder auch mit dieser Leistung nicht massenexplosionsgefährlich. In der Lager- und Transportklassifizierung ist der Heavy-Zünder in die Klasse 1.4 B eingestuft. Vor-/Nachteile: Die Vorteile bei Anwendung dieses Zünders liegen in der einfachen Handhabung. Das Einbringen des Zünders in einen zusätzlichen Zündverstärker entfällt. Es gibt keine Beeinflussung der Sprengschwaden und der ausschließliche Einsatz eines Zünders ist im Vergleich zur Anwendung eines zusätzlichen Zündverstärkers wesentlich kostengünstiger. Nachteilig ist die im Vergleich zu einem zusätzlichen Zündverstärker geringere Leistung.

Zündung mittels Primer

Abschließend soll hier der Primer 15 aus der Gruppe der HE-Primer (HE = High Energy Explosive) vorgestellt werden. Der Primer 15 hat eine Nettoexplosivstoffmasse von 15 g und ist aufgrund der geringen Abmessungen (der Außendurchmesser beträgt 15 mm) auch mit kleinen Ladeschläuchen mit Innendurchmessern ab 17 mm verwendbar. Explosivstoff ist plastifiziertes Nitropenta (PETN). Der Primer kann mit allen elektrischen, nichtelektrischen und elektronischen Zündern verwendet werden. Durch eine spezielle Zünderaufnahme ist eine sichere Verbindung des Primers mit dem Sprengzünder gewährleistet. Der Bereich der Ladung ist gekapselt, so dass der Anwender nicht mit dem Sprengstoff in Verbindung kommt. Durch die spezielle Zünderaufnahme und die abgeschlossene Ladung kann der Primer auch bei erhöhten Lager- und Einsatztemperaturen problemlos verwendet werden. Vor-/Nachteile: Die Vorteile des Primers liegen neben der hohen Leistung in der einfachen und arbeitshygienisch unbedenklichen Verwendung dieses Produktes. Nachteilig wäre die ungünstige Schwaden-zusammensetzung und stark negative Sauerstoffbilanz, die man aber zum größten Teil vernachlässigen kann, da der Anteil des Primers mit 15 Gramm Nettoexplosivstoffmasse an der Gesamtladung relativ gering ist.

Gegenüberstellung der Initiierungsmöglichkeiten von kleinkalibrigen Sprengladungen

Zusammenfassend werden alle Möglichkeiten der Initiierung von kleinkalibrigen Ladesäulen in einer Matrix gegenübergestellt. Dabei werden die zündtechnischen Zusammenhänge mit der Sprengstoffart und Ladesäulengestaltung verglichen und die entsprechenden Vor- und/oder Nachteile in den verschiedenen Bereichen, wie Arbeitshygiene, Arbeitssicherheit, Handhabung, Leistung u.s.w. Bewertet. Eine objektive Einstufung kann in den Bereichen der Produkteigenschaften wie Leistung und Detonationsgeschwindigkeit erfolgen. Ebenso kann der Bereich Arbeitssicherheit / Arbeitshygiene eindeutig beurteilt werden. Andere Bereiche, wie z.B. die Wirtschaftlichkeit, sind hier nicht pauschal zu bewerten und müssen für jeden Anwendungsfall separat betrachtet werden. Mit dieser Produktpalette werden den unterschiedlichen Anwendern in Verbindung mit den verschiedenen Zünd- und Sprengstoffsystemen eine Vielzahl an Kombinationen zum Erreichen des gewünschten Sprengergebnisses zur Verfügung gestellt.

Quelle: Nobel Heft 2006