

# Der Beitrag österreichischer Montanisten zur Entwicklung der Sprengtechnik

Heinz Walter Wild, Dinslaken

## 1. Der Stand der Gewinnungstechnik vor der Einführung der Sprengarbeit

Die bergmännische Gewinnung bis zum 17. Jahrhundert erfolgte seit dem Altertum durch manuelle Arbeit. Im festen Gestein waren Schlägel und Eisen die verbreitetsten Arbeitsmittel. In sehr festem Gestein unterstützte man die manuelle Gewinnung, indem man das Gestein durch Feuersetzen mürbe machte und danach erst gewann.

Bei der Schlägel- und Eisenarbeit wurden im Laufe der Zeit das Schlägel wie auch das Eisen optimiert und an die Gesteinsfestigkeit angepasst. Bei weniger festem Gestein waren die Bergeisen lang und schmal, in festem Gestein härter und breiter. Etwa seit Ende des 17. Jahrhunderts fertigte man die Eisen aus Stahl und verstärkte die Bahnen der Fäustel. Fäustel oder Schlägel waren durch ihre leicht gekrümmte Form an die kreisbogenförmige Bewegungslinie des Schlagarms angepasst, wodurch die maximale Schlagenergie bei hoher Treffsicherheit übertragen wurde. Mit dieser aufwändigen, durch menschliche Muskelkraft erzeugte Gewinnungsmethode wurden erstaunliche Leistungen erbracht. Als Beispiel sei der 886 m tiefe Heiliggeistschacht im Schwazer Revier aufgeführt, der ausschließlich mit Schlägel und Eisen abgeteuft worden war und drei Jahrhunderte lang der tiefste Schacht der Erde war (5).

Die durchschnittliche Vortriebsleistung betrug im 16. und 17. Jahrhundert z. B. bei Streckenvortrieben im sehr festen Gneis nur etwa 80 bis 120 mm je Hauer und Woche bei Streckenquerschnitten von 1,5 m Höhe und 0,7 m Breite (1). Über die Jahrhunderte hatte sich in der Technik der Gewinnung nichts Wesentliches geändert.

## 2. Die Einführung der Sprengarbeit durch den Tiroler Caspar Weindl

Die erste Sprengung im Bergbau soll durch einen Italiener Martinengo 1573 im zu Venedig gehörenden Schio erfolgt sein. Die Umstände dieser Sprengung sind nicht hinreichend bekannt. Eine Verbreitung dieser Technik oder einen Einfluss auf die spätere Entwicklung des Sprengens mit Schwarzpulver ist bisher nicht nachweisbar (26). Gleiches gilt für die Anwendung von Schwarzpulver zum Lösen von Erz und Gestein in den lothringischen Vogesen. Pierre (16, 17) hat nachgewiesen, dass in den drei Gruben des Bezirks Le Thillot bereits 1617 mit Schwarzpulver gesprengt wurde. Pulverrechnungen weisen auf das Jahr 1617 hin und darauf, dass sich in diesen drei Gruben dieses Reviers das neue Verfahren rasch verbreitete. Eine Ausstrahlung der neuen Innova-

tion auf andere Bergreviere außerhalb Lothringens ist bisher nicht nachzuweisen; es ist auch nicht bekannt, von wem dieses Verfahren eingeführt wurde.

Am 8. Februar 1627 wurde der erste nachweisbar dokumentierte Sprengschuss mit Schwarzpulver in dem damals oberungarischen, heute slowakischen Erzrevier abgetan (24, 26). Es begann eine revolutionäre Entwicklung der bergmännischen Gewinnungstechnik.

Caspar Weindl stammte aus dem Tiroler Rattenberg, wo sein Vater königlicher Verwaltungsbeamter war. In den 20er Jahren des 17. Jahrhunderts nahm er mit General Raimund Montecuccoli, der an der Spitze des habsburgischen Heeres stand, an einem Feldzug in Italien teil. Es ist nicht bekannt, welchen Rang er einnahm. Nach Ende des Feldzuges ging Caspar Weindl nach Schemnitz, wo der Bruder seines Feldherrn, Jeremias Montecuccoli, bedeutender Gewerke im dortigen Bergbau war. Es spricht einiges dafür, dass Weindl Erfahrungen mit der Verwendung von Schießpulver hatte und selbst den Vorschlag machte, das Gestein in den Gruben mit Sprengarbeit zu lösen. Welche große Bedeutung diesem Vorschlag offensichtlich beigemessen wurde, erhellt daraus, dass Weindl aus der kaiserlichen Armee durch den Kaiser selbst freigestellt wurde.

Wahrscheinlich kam er 1624 nach Schemnitz. 1627 erfolgte der erwähnte Sprengschuss, wobei Weindl in der Folgezeit als „Sprenger“, wie er wiederholt genannt wurde, weitere Sprengungen in den Gruben ausführte. Bereits 1628 war Weindl Inspektor der größten Schemnitzer Gewerkschaft, der Brenner-Gewerkschaft. Es gibt ein Dokument, nach dem sich Caspar Weindl 1632 unmittelbar an den Kaiser mit einer Bitte um „Rekompensation“, d. h. eine Belohnung für seine Dienste durch seine Erfindung wendet. Caspar Weindl starb 1646.

Der Sprengschuss am 8. Februar 1627 ist dokumentiert durch ein Protokoll, das ins Berggerichtsbuch in Schemnitz eingetragen ist. Er fand vor einer Reihe von Zeugen statt, die das Protokoll mit unterschrieben haben (**Abb. 1**). Es heißt darin, dass Caspar Weindl eine Sprengung von Gestein mit Hilfe von Schießpulver vorgenommen habe, dass der Schuss gut gekommen sei und keinen Schaden angerichtet habe. Es sei zwar recht viel Rauch entstanden, dieser habe sich doch in einer Viertelstunde verzogen; im Übrigen sei er für die Hauer nicht schädlich, ja dass er sogar eine Menge schlechter Luft mit sich genommen habe. Weiterhin wird in dem Protokoll darauf hingewiesen, dass es wohl kaum möglich sei, häufiger zu sprengen, denn dies würde die Bergleute in anderen Betriebspunkten bei der Arbeit be-



Abb. 1: Darstellung der ersten Sprengung durch Caspar Weindl (Wandgemälde im Ungarischen Bergbaumuseum in Sopron).

hindern. Gleichzeitig wurde empfohlen, Schießpulver im Daniel-Querschlag zu verwenden, wo gutes Erz aber hartes Gestein sei.

Caspar Weindl hatte mit seinem vor den Augen der Öffentlichkeit vorgeführten Schuss mit Schwarzpulver einen Impuls gegeben, der nicht mehr aufzuhalten war. Schon im gleichen Jahr, 1627, wurde in der Kupfererzgrube Graslitz im böhmischen Erzgebirge die neue Technik angewandt. 1628 wird das Verfahren in St. Lambrecht (Steiermark) eingeführt. 1632 ist das Sprengen in Clausthal im Harz nachgewiesen.

Von Schemnitz, St. Lambrecht und Clausthal breitete sich das Sprengen weiter aus (26). 1636 wird im Ziller-

tal mit Schwarzpulver gesprengt, es folgt 1635 Radmer bei Eisenerz in der Steiermark, 1635 die Silbergruben in Lappland (Nasafjöll) durch Clausthaler Bergleute, 1642 Gastein, 1643 Freiberg/Sachsen, übrigens eingeführt durch einen Clausthaler Bergmann namens Caspar Morgenstern, 1644 in Rövas/Norwegen, ebenfalls durch deutsche Bergleute, 1650 Rheinland und Westfalen, 1670 Northderbyshire/ England (Abb. 2). In der ersten Hälfte des 18. Jahrhunderts führte sich dann das Sprengen in allen europäischen Bergbaurevieren und auch in den USA und mit einer doch bemerkenswerten zeitlichen Verzögerung in der 2. Hälfte des 18. Jahrhunderts in Süd- und in Mittelamerika ein.

Bei der Ausbreitung der Sprengarbeit in andere deutsche und europäische Bergbauzentren handelt es sich um einen Innovationsprozess größten und bedeutsamsten Ausmaßes. Mit diesem Verfahren wurde die Kraft des Feuers beim Feuersetzen und die menschliche Muskelkraft bei der Arbeit mit Schlägel und Eisen oder Keilhau durch die chemische Energie des Schwarzpulvers ersetzt.

### 3. Technologische Entwicklungen beim Sprengen mit Schwarzpulver

Das Sprengen mit Schwarzpulver zog eine Reihe von Folgeinnovationen mit sich. Sie mussten erst entwickelt

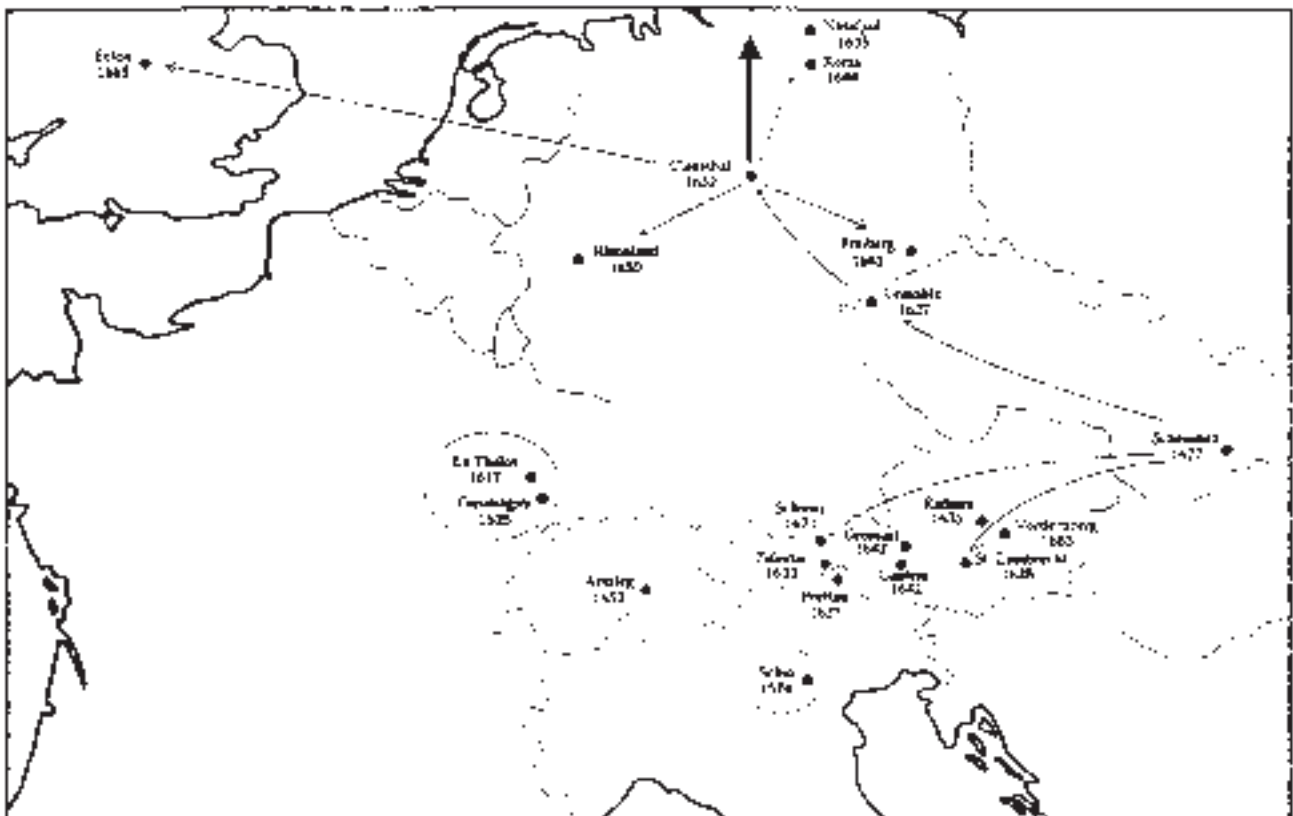


Abb. 2: Ausbreitung der Sprengarbeit in Europa.

werden. Unter den vielen Einflussgrößen auf die Sprengtechnik sind die wichtigsten (26):

- Herstellen des Laderaums (Bohrtechnik)
- Zündtechnik
- Besatz
- Sprengverfahren

Für das Sprengen mit Schwarzpulver ist ein Laderaum, in dem das Pulver eingefüllt wurde, unabdingbar. Daraus entwickelte sich die Bohrtechnik. Von Beginn des planmäßigen Sprengens an war die Bohrtechnik ein Teil der Sprengarbeit. Diese Zuordnung war und ist auch gerechtfertigt, da zur Aufnahme der Sprengladung ein Laderaum – ein Bohrloch – hergestellt werden muss.

Die Herstellung der Bohrlöcher geschieht durch Bohrstangen mit Anwendung von Fäustel oder Schlägel. Zunächst wurden Kronen- und Kolbenbohrer verwendet. Eine deutliche Verbesserung war der im Jahre 1749 von ungarischen Bergleuten entwickelte und eingeführte Meißelbohrer (Abb. 3). Das Bohren erfolgte gewöhnlich einmännisch, aber auch zweimännisch.

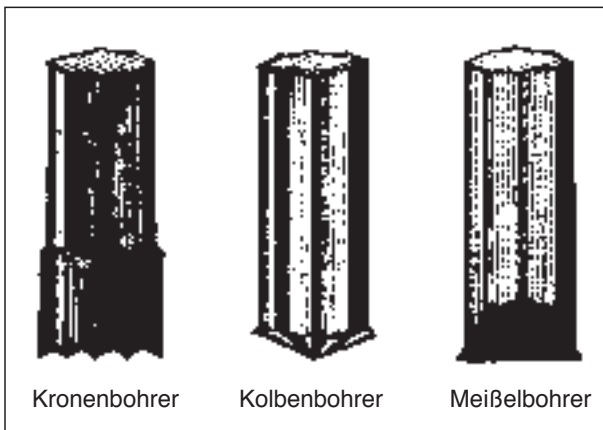


Abb. 3: Meißelformen.

Die Verfahrensweise bei der Zündung war bis etwa 1830 seit der Einführung der Sprengarbeit fast unverändert. In die durch Herausziehen der Räumnadel im Besatz entstandene Spur im Besatz wurde ein mit Pulver ausgestrichener oder gefüllter Zünder bis auf die Ladung angesetzt. Die technischen Varianten beschränkten sich auf die Auswahl zwischen Schilf-, Strohalm-, Ruten- oder Papierhülsenzünder. Die Verzögerung des Zündvorgangs wurde mit verschiedenen langen Schwefelfäden am Zünder bewirkt (28).

Ein entscheidender Fortschritt wurde erzielt durch die Erfindung der langsam brennenden Züandschnur durch den Engländer William Bickford, der 1831 ein Patent darauf erhielt. Es war nach rd. 200 Jahren eine bahnbrechende sicherheitliche und technische Innovation beim Sprengen mit Schwarzpulver.

Da Schwarzpulver nur durch den Gasdruck wirkt, muss das Bohrloch verdämmt werden. Neben der anfänglichen Pflöckbesetzung durch einen Holzpflock mit

einer Hohlspur als Zündkanal verbreitete sich der von Carl Zumbe 1687 in den Harzer Gruben eingeführte Lettenbesatz schnell und wurde allgemein gebräuchlich.

#### 4. Bemühungen zur Verbesserung der Sprengarbeit

Die Sprengarbeit war bis zur Mitte des 19. Jahrhunderts so vielseitig in Anwendung, dass ihr in den in dieser Zeit einschlägigen Lehrbüchern mehr Raum gewidmet wurde als allen anderen Gewinnungsverfahren: Kern-Opel (1769) 31,8 %, Gätzschmann (1846) 52,8 %, Lottner-Serlo (1869) 46,4 % (6, 10, 14, 21).

Der wissenschaftliche und technische Fortschritt bei der Sprengarbeit war hauptsächlich an folgende Probleme geknüpft:

- Verbesserung der Bohrmeißelformen sowie
- der Schneiden und des Schaftmaterials,
- Untersuchung über die günstigste Art und Weise des Besetzens der Bohrlöcher,
- Entwicklung neuer, sicherer und wirksamerer Zündverfahren,
- Analyse der Ursachen vorzeitiger Entzündungen.

Beim Besatz wurde die Wirkung des Hohlraumbesatzes intensiv untersucht, um über diesen Weg eine Leistungssteigerung zu erzielen. Es wurden verschiedene Methoden vorgeschlagen, um einen kleinen Hohlraum über oder unter dem Pulver freizulassen. An diesen Untersuchungen beteiligte sich der österreichische Geniehauptmann Eduard Rziha. Er stellte aber resigniert fest,

*„daß dies eine sehr schwierige und offene Frage in unserer Spezial-Wissenschaft ist. Die Geschichte des Hohlraums in der Minierkunst wie in der Bergtechnik ist ebenso interessant, als sein innerstes Wesen irreführend und räthselhaft erscheint (18).“*

Der Hohlraumbesatz konnte sich auf Dauer nicht durchsetzen.

Bei den Zündverfahren war durch die Entwicklung der Züandschnüre ein entscheidender Fortschritt gelungen. Das Bickford'sche Patent wurde um 1835 im europäischen Bergbau bekannt. In den vierziger Jahren des 19. Jahrhunderts wurde in allen wichtigen Bergbaurevieren Europas dieses neue Zündverfahren untersucht. Im Mittelpunkt der vergleichenden Experimente zu den damals üblichen Zündverfahren, meist Halmzünder, stand die Kostenentwicklung, die Steigerung der Sprengleistung und die Sicherheit der Sprengarbeit. Die Ergebnisse fielen unterschiedlich aus. Noch 1855 lehnten die staatlichen Steinkohlengruben von Saarbrücken und die Erzbergwerke im böhmischen Przibram die Verwendung der Bickford'schen Züandschnur ab, da die Hauer die Halmzünder unentgeltlich anfertigen und nur das Pulver zu bezahlen sei (28). Der technische Fortschritt wurde zwar dadurch gehemmt, ließ sich aber nicht aufhalten.

Weitblick bewies der österreichische Bergbeamte Joseph Russegger, als er 1852 die maschinelle Herstellung der Zündschnüre im Interesse des Ärars in Jenbach/Tirol und Windschacht parallel zu den Versuchen in den Gruben aufnehmen ließ (3). Der Erfolg gab ihm recht. A. Huysen (9) vermerkte:

*„Man bedient sich in Österreich fast allgemein, nicht bloss beim Salz – sondern auch beim metallischen Bergbaue, wenigstens auf den ärarischen Werken, bei der Schießarbeit nicht mehr der Räumnadeln, sondern nur der Bickford'schen Zündschnüre.“*

1863 entwickelte der österreichische Geniehauptmann Eduard Rziha eine geruchlose Zündschnur, um einen entscheidenden Nachteil bisheriger Zündschnüre zu beseitigen. Sie war noch unausgereift, und er hatte damit keinen Erfolg. Sein technisches Prinzip – unbrennbare Zünderumhüllung – war allerdings wegweisend für weitere Verbesserungen.

Die rasche wirtschaftliche Entwicklung nach 1850 in Österreich und in Deutschland begünstigte die Verbreitung der Zündschnur. Im Tunnelbau war sie bereits allgemein in Anwendung, als das Dynamit erfunden wurde (20). In den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts wurde von dem österreichischen General Philipp Hess eine detonierende Zündschnur entwickelt, die anscheinend eine Zeitlang bei den österreichisch-ungarischen Genietruppen verwendet worden ist (7). Sie bestand aus Baumwollfä-

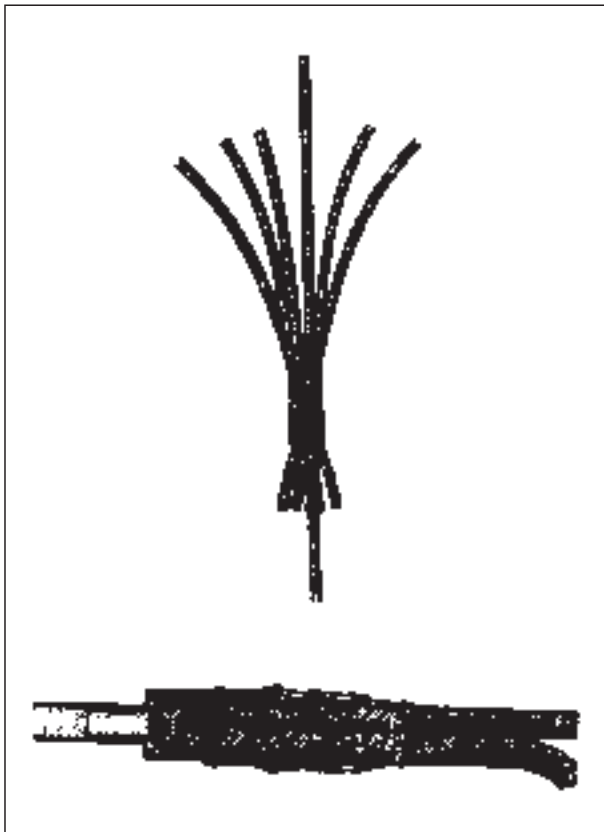


Abb. 4: Detonierende Zündschnur von Heß.

den, welche durch einen Knallquecksilberbrei geführt und dann übersponnen wurden. Seine Zündschnur hatte den Vorteil, dass man sie unmittelbar in die Dynamitpatrone stecken konnte, ohne eine Sprengkapsel verwenden zu müssen. Die einzelnen Ladungen wurden durch Knoten miteinander verbunden (Abb. 4). Das letzte Ende führte man in einen Muff, auf dessen entgegenstehender Seite eine Sprengkapsel mit Zündschnur eingesetzt wurde. Die Zündschnur detonierte mit einer Geschwindigkeit von 5000 m/s; die einzelnen Ladungen detonierten also gleichzeitig. Über die Erfindung von Hess ist nichts Näheres bekannt. Seine detonierende Zündschnur hat sich wohl aus sicherheitlichen Gründen (Füllung mit Knallquecksilber) nicht durchsetzen können. Er hat aber die Entwicklung von Sprengschnüren vorweggenommen, die erst in den 60er Jahren des 20. Jahrhunderts mit Nitropenta als Füllung praxisreif wurden.

## 5. Die Entwicklung der brisanten Sprengstoffe

Von den Eigenschaften des Sprengmittels hing wesentlich die Wirkung der Sprengarbeit im Bergbau ab. Bis zur Erfindung der Schießbaumwolle im Jahre 1845 gab es nur die Möglichkeit, die Zusammensetzung des gewöhnlichen Schwarzpulvers zu verändern. Die 1845 von Schönbein gefundene Substanz – die er Schießbaumwolle nannte – erweckte Hoffnungen auf ein neues und wirkungsvolles Sprengmittel. Die technische Anwendung im Militärwesen der europäischen Mächte – allen voran Österreich – scheiterte in der ersten Phase (1845 – 1865) trotz großer Mühen an der ungenügenden Haltbarkeit des Sprengmittels (18). Auf Grund dieser Erfahrungen unterließ man auch im Bergbau weitere Versuche.

Das 1846 von Sobrero in Turin erstmals dargestellte Nitroglyzerin wurde zunächst in flüssigem Zustand im Bergbau und Tunnelbau verwendet. Wegen der hohen Unfallgefahr wurde es nur zögerlich eingesetzt. Erst Alfred Nobel glückte es, einen sehr günstigen Trägerstoff für das Nitroglyzerin im Kieselgur zu finden. Jetzt lag mit Dynamit ein Sprengstoff in fester Form mit hoher Brisanz vor, der sich auch für untertägige Anforderungen eignete. Mit dem Dynamit gelang erstmalig eine wirksame Steigerung der Arbeitsproduktivität in der Gewinnung mittels eines neuen Sprengstoffes. Der Österreicher M. Kraft bezifferte die Einsparung an Bohrarbeit auf 23 – 33 % und die Erhöhung des Arbeitseffektes gegenüber dem Schwarzpulver und unveränderter Handbohrarbeit auf das 3- bis 6fache (12).

## 6. Entwicklungen neuer Zündmethoden

Das Dynamit eröffnete der Zündschnur und den elektrischen Zündmethoden eine neue Perspektive. A. Nobel ließ sich 1867 spezielle Sprengkapseln patentieren, da der neue Sprengstoff mit einem elektrischen Funken oder normaler Zündschnur nicht zur Detonation gebracht werden konnte. Dazu bedurfte es einer Initialzündung.

Insbesondere die schon vor der Erfindung des Dynamits vereinzelt vorgenommenen Versuche, Sprengladungen elektrisch zu zünden, erfuhren in Verbindung mit Dynamit neuen Auftrieb. Der österreichische Begründer der Tunnelbaukunst, Franz Rziha, sagte der elektrischen Zündung voraus (20),

*„dass ihr beim Tunnelbau eine Verbreitung in der Zukunft unfehlbar bevorsteht, denn die mit ihr verknüpften Ergebnisse sind von so großer Tragweite, dass man sie für die Folge nicht ausgenützt lassen kann.“*

Für die allgemeine Einführung der elektrischen Zündung in den Bergbau sah F. Rziha dagegen noch technische und arbeitsorganisatorische Probleme.

Untersucht wurde die galvanische und die Reibungselektrizitätszündung. In Österreich wurden die Bergbauunternehmer 1858 durch den Mechaniker Carl Winter zu Übernahme der Reibungselektrizitätszündung ange-regt. Er hatte schon 1845, auf sich allein gestellt, Ver-suche beim Eisenbahnbau ausgeführt. Sein Angebot zur Ausnutzung der Erfindung im Militärwesen wurde 1846 von der „k. k. General-Genie-Direction“ abgelehnt. Carl Winter gab auf und konnte 1858 auf der ersten Ver-sammlung der österreichischen Berg- und Hüttenmänner nur noch auf seine Priorität gegenüber dem Militär ver-weisen (29). Inzwischen hatte nämlich das Heer unter Leitung des k. k. Oberstlieutenant Baron A. Ebner doch diese Zündmethode genutzt. Ebner konnte als Vertreter der Militärs auf der zweiten Versammlung der österrei-chischen Berg- und Hüttenleute (1861) die bei der k. k. Genietruppe angewandte Reibungselektrizitätszündung, auch im Interesse der Firma Siemens und Halske Wien, den Teilnehmern aus der Industrie und den staat-lichen Behörden vorstellen (2).

Für den Bergbau waren die Elektrisiermaschinen noch nicht geeignet, weil sie ungenügend gegen dauernde Luftfeuchtigkeit abgedichtet waren und dadurch in ihrer Leistung schnell nachließen. Erst 1863 konstruierte Bornhard eine Elektrisiermaschine, die den Anfor-derungen der Praxis entsprach (25). Franz Rziha, der im Tunnelbau ausführliche Versuche mit der Bornhardt'schen Zündmaschine durchgeführt hatte, schätzte diese Entwicklung wie folgt ein (20):

*„So kann man in Betreff tauglicher, d. h. zu einer genügend starken Funkenentwicklung geeigneter Elektrisiermaschinen, die ganze Frage der Einfüh-rung der elektrischen Sprengung schon für die Praxis als genügend gelöst betrachten.“*

Im Jahre 1873 bot die Firma Mahler und Eschenbacher in Wien u. a. die Bornhardt'sche Elektrisiermaschine mit Zündern an (15). In Konkurrenz zur Bornhardt'schen Zündmaschine stand die der Aktiengesellschaft Dynamit Nobel in Wien. Sie war so konstruiert, dass die beiden Kontakte bis zum Augenblick der Entladung (im Gegen-satz zur Bornhardt'schen Maschine) kurz geschlossen blieben, wodurch eine vorzeitige Entladung nicht mög-lich war. Die Zündmaschine befand sich in einem Holz-gehäuse (7) (Abb. 5).

Bei der Einführung der elektrischen Zündmaschine nach untertage spielte der Tunnelbau, bei dem Österreich füh-rend war, eine Pionierrolle, weil dort die Verhältnisse vor Ort besser den damaligen Bedingungen der elek-trischen Zündverfahren entsprachen. Die dort gesammel-ten Erfahrungen konnten auf den Bergbau übertragen werden.

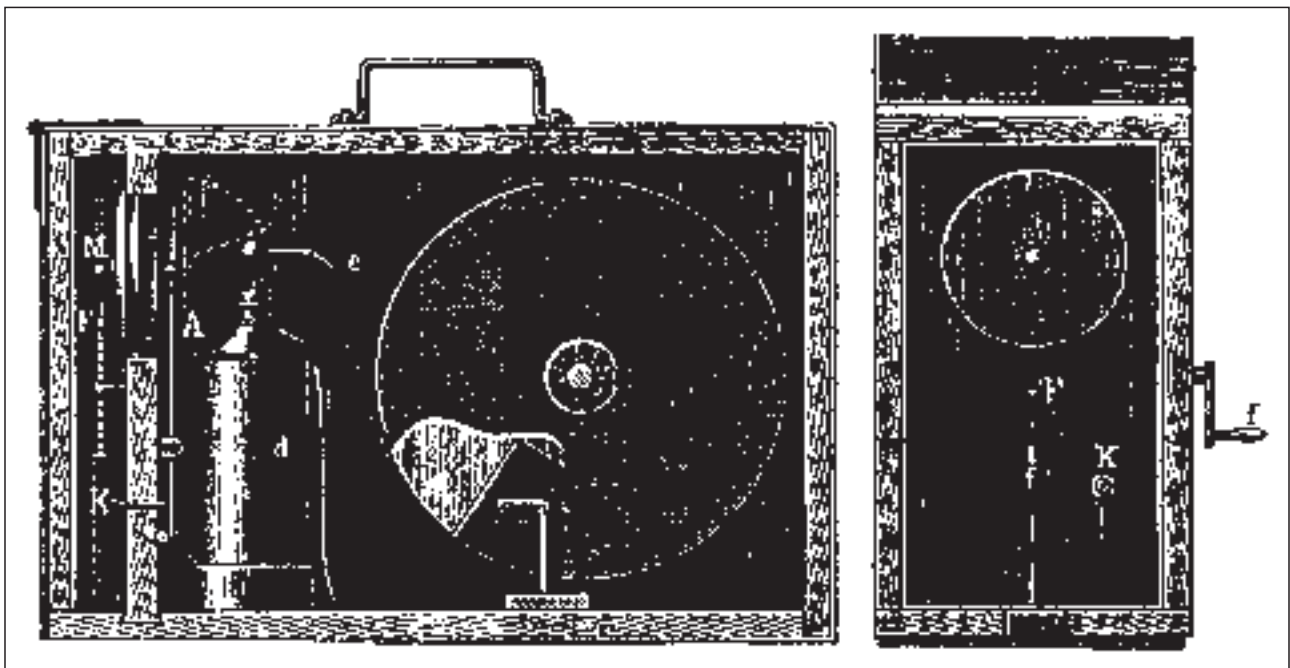


Abb. 5: Zündmaschine der Aktiengesellschaft Dynamit Nobel Wien.

## 7. Die Entwicklung der Sprenglochbohrmaschinen

Der österreichische Ministerialrat Anton Wisner formulierte 1859 seine Visionen über die künftigen Entwicklungen im Bergbau wie folgt (30):

*„Der große Schwerpunkt zur Steigerung der Arbeitsproduktivität unter Tage, das dankbarste Feld zur rettenden That liegt in der Arbeit auf dem Gesteine, die weitaus die grössere Hälfte aller Kosten des Grubenbetriebes auf metallischen Lagerstätten verzehrt. Es muß etwas erfunden werden, um die Arbeit auf dem Gesteine, namentlich auf dem festen Gesteine, zu beschleunigen und wohlfeiler zu machen! Und froher Hoffnung füge ich bei: es wird erfunden werden, denn mächtig drängt das Bedürfnis dazu, und gering war der Fortschritt auf diesem Felde seit 3 Jahrhunderten.“*

Diese Worte des Ministerialrats Wisner vor der ersten Versammlung der österreichischen Berg- und Hüttenmänner in Wien 1858 zeigten, dass eine brauchbare technische Lösung zwar noch fehlte, aber dringend erforderlich war. Wisner schlug weiter vor, Ehrenpreise zu bewilligen,

*„um die geistige Kraft aller uns verwandten Gewerbe und Künste aus den weitesten Kreisen zu ihr heranzuziehen und den Männern der Wissenschaft ihre Dringlichkeit zu kennzeichnen“.*

Einen durchgreifenden Erfolg zur effektiven Verbesserung der Gewinnungsarbeiten versprachen eigentlich nur leistungsfähigere Sprengstoffe und die Mechanisierung der Bohrarbeit. Während mit dem Dynamit ein neuer

(brisanter) Sprengstoff vorlag, war die Mechanisierung der Bohrarbeit schwieriger, da sie Energieformen und Maschinen erforderte, die nur mit den Maschinenbauern und einer potenten Maschinenbauindustrie erfolgreich zu entwickeln waren. Auf dieser Basis fanden von 1855 bis Anfang der 1870er Jahre die grundlegenden Arbeiten für einen Umbruch in der Technologie der Gewinnungsarbeiten statt.

Der Wiener Fabrikant J. Mahler stellte 1873 fest (15):

*„Beide Mittel, die Bohrmaschine und die Nobel'schen Sprengpulver, wenn möglich im Vereine mit elektrischer Zündung, erlauben fast in allen Fällen eine doppelt so rasche und um 30 – 50 % billigere Arbeit in der Gesteinsbewältigung, als es nach der alten Methode mit Handbohrung und Schwarzpulver möglich ist“.*

Bei der Entwicklung der Gesteinsbohrmaschinen erwiesen sich die großen Stollenbetriebe des Erzbergbaus und die Tunnelvortriebe für die Eisenbahn als die stärksten Triebkräfte, wobei die Bedingungen für die verbesserte Technologie speziell im Tunnelbau günstiger waren als im Bergbau.

Der überzeugende Beweis für die Leistungskraft der Sprenglochbohrmaschinen wurde beim Vortrieb des 13,4 km langen Mont-Cenis-Eisenbahntunnels (1857 – 1870) erbracht, wo mit Bohrmaschinen von Sommeiller seit 1861 hohe Bohrgeschwindigkeiten erzielt wurden. Allein von 1857 bis 1870 wurden insgesamt 9 unterschiedliche Bohrmaschinenkonstruktionen auf den Markt gebracht (22). Die im Jahre 1865 von dem Amerikaner Burleigh entwickelte Bohrmaschine, die auch beim Auffahren des Hoosac-Tunnels in Massachusetts

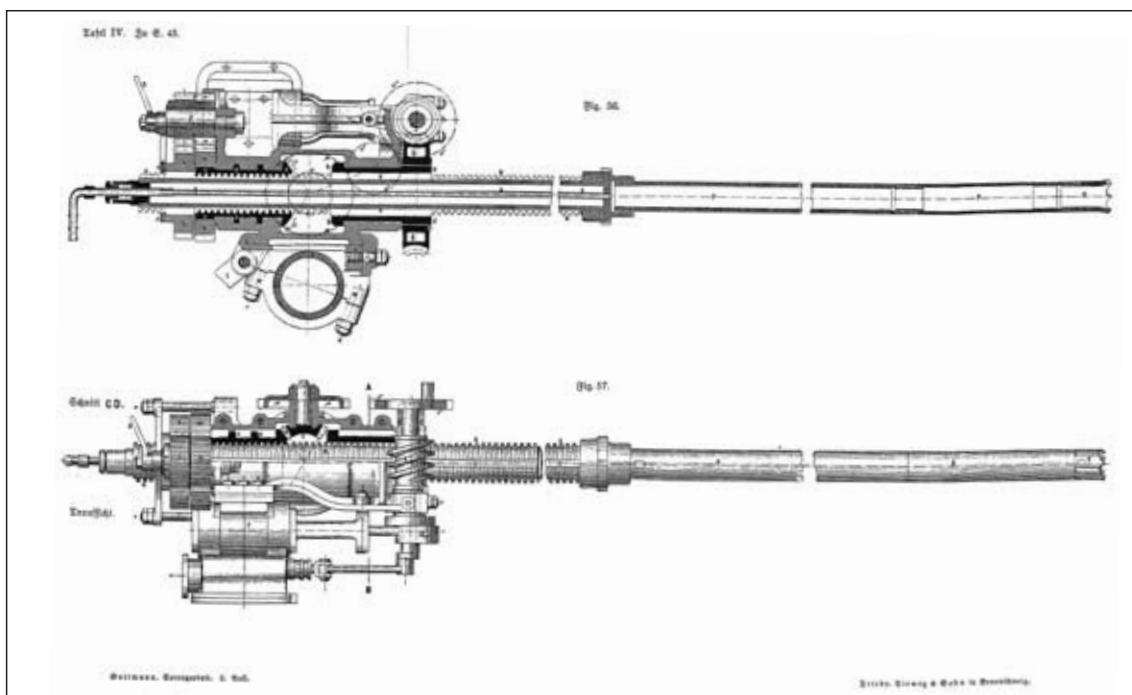


Abb. 6: Drehbohrmaschine von Jarolimek.

(bei Einsatz von flüssigem Nitroglycerin) erfolgreich eingesetzt war, wurde von der Wiener Firma Mahler und Eschenbacher in ganz Europa vertrieben. Diese Firma lieferte u. a. zwei Bohrmaschinen des Typs „Burleigh Modell Nr. I“, die ab 1876 beim Vortrieb des Großen Roths Schönberger Stollens im sächsischen Erzgebirge eingesetzt waren. Es wurde gegenüber Handbohren eine 6-fache Leistung bei 50 % Kosteneinsparung festgestellt.

Von dem Österreicher E. Jarolimek wurde in den 80er Jahren des 19. Jahrhunderts eine leistungsfähige Drehbohrmaschine entwickelt, die von der Firma G. Topham in Wien gebaut wurde (Abb. 6). Die Bohrstangenschnecke wurde mit einem Wassersäulenmotor betrieben bei einer Umdrehung von 415/min. Durch das Gestänge wurde Spülwasser in das Bohrloch geleitet. Diese Maschine, welche in weichen Gestein vielfältig verwendet wurde, war damals sehr fortschrittlich, da sie aufgrund der Wasserspülung auch zur Staubbekämpfung diente. (7)

Vor dem Hintergrund der rasanten Entwicklung der Sprengmittel und der Bohrtechnik wurde aus den schnell vorliegenden Kennwerten und dem vielfältigen Zahlenmaterial versucht, vorausschauende Leistungsangaben zu ermitteln. Der Pionier der Vorausberechnung von Auffahrleistungen war Franz Rziha. Er entwickelte unter erschöpfender Ausnutzung der seit 1835 aufgehäuften und unter Verwendung aller neuer empirischer Daten sowie als profunder Kenner der theoretischen Konzeption der Sprengarbeit eine Methodik für die Gedingevorausberechnung und für die Kostenvoranschläge bei Tunnelvortrieben, die sinngemäß bei bergmännischen Vortriebsarbeiten verwendet werden konnten. Er war damit auch in der Lage, die riesigen Investitionen für die Tunnelbauten der Jahre nach 1850 recht exakt vorauszu-benennen (20).

## 8. Sprengtheorie

Man erkannte bald die Notwendigkeit, die Sprengarbeit auch theoretisch zu behandeln. Die Formulierung von theoretischen Ansätzen scheiterte seit den ersten Überlegungen im 18. Jahrhundert immer wieder an der Vielzahl der beteiligten und sich gegenseitig beeinflussenden variablen Faktoren bei der Sprengarbeit, die zudem komplizierten chemisch-physikalischen Gesetzen unterlagen. Franz Rziha hielt deshalb den Weg über die exakte Klärung der naturwissenschaftlichen Grundlagen der Sprengarbeit im allgemeinen für ungangbar (20):

*„Würde man den für die Sprengarbeit tauglichen Festigkeitsmodul der zu bearbeitenden Gesteinsmasse kennen und über die Kraft des Pulvers genau informiert sein, so könnte man bei der Beleuchtung des Vorganges beim Sprengen, die für den jeweiligen Schuss notwendige Pulvermasse bestimmen. Indessen kommen hier so viele Verhältnisse ins Spiel, dass man auf diesem Wege nie ein richtiges Resultat erreichen wird.“*

Eduard Rziha und sein Sohn Franz Rziha versuchten daher anhand der bereits von Vauban und Bélidor aufgestellten „klassischen“ Sprengformel zu weiteren exakten Ladungsbedingungen zu kommen.

Hinzu kam, dass die Sprengformel von Vauban und Bélidor für militärische Sprengungen entwickelt worden war, um eine möglichst große Zerstörung hervorzurufen, während die Sprengungen im Berg- und Tunnelbau lediglich das Gestein lösen und damit die Sprengung gezielt ablaufen soll.

Die erste Sprengformel lautete

$$L = V \times q$$

wobei L die Sprengladung, V das ausgeworfene Trichtervolumen und q ein Koeffizient ist, der vom Sprengstoff (damals Schwarzpulver) und von der Bodenart, in diesem Fall von ihrem Gewicht, abhängig ist.

Durch Umwandlung der Formel, auf die hier nicht eingegangen werden soll, entstand die berühmte „klassische“ Sprengformel

$$L = w^3 \times q$$

wobei w die Vorgabe bedeutet. Sie ist bis heute die wichtigste Grundlage zur Berechnung von Lademengen geblieben (19, 20, 27).

Eduard und Franz Rziha, die gemeinsam an der Entwicklung einer brauchbaren Sprengformel arbeiteten, gliederten erstmals den Faktor q auf in mehrere Faktoren:

- k<sup>1</sup> mathematisch berechneter Koeffizient entsprechend der Zahl freier Seiten je Bohrloch
- k<sup>2</sup> empirisch bestimmter Koeffizient für Einflüsse der Schichtung, Klüftigkeit, Bohrfähigkeit, Brechbarkeit, Feuchtigkeit des Gebirges
- T Bohrlochtiefe der unter 45° angesetzten Löcher.

Ihre Formel lautet:

$$\text{Ausbruchsvolumen } V = w^3 \times k^1 \times k^2 \times T^3$$

Die Sprengkörpergröße in Abhängigkeit von der Bohrlochtiefe erscheint in dieser Formel nicht auf eine naturwissenschaftliche Theorie zurückgeführt, sondern E. und F. Rziha verallgemeinerten im engeren technischen Bereich. Die erfahrungsgemäße Sprengkörpergröße bei nur einer freien Fläche im homogenen Gebirge bildete die Ausgangsbasis. Trotz aller Vereinfachungen war die Brauchbarkeit dieser Erkenntnisse und dieser Methodik für die Praxis langer, gleichförmiger Vortriebsarbeiten im Tunnel- und Bergbau recht hoch. Franz Rziha verglich in seinem „Lehrbuch der gesamten Tunnelbaukunst“ einige Beispiele aus der Praxis mit seinen Berechnungen im Hinblick auf die notwendige Bohrloch-

zahl beim Vortrieb und wies eine gute Übereinstimmung nach. Es war damit möglich, bereits aus einigen Experimenten im Kleinen ein effektives Vortriebsregime vor auszuplanen.

Die theoretischen Überlegungen zur Sprengarbeit von E. und F. Rziha waren das Ergebnis einer logischen Analyse des vorliegenden empirischen Materials, verknüpft mit naturwissenschaftlichen Theorien bei wenigen Einflussfaktoren. Die abgeleiteten Regeln für den praktischen Betrieb eigneten sich als Kriterien für die Erprobung technischer Fortschritte. Ausdruck dafür war unter anderem, dass Eduard und Franz Rziha 1864 den auf der ersten Versammlung der österreichischen Berg- und Hüttenmänner vom Bergbauunternehmer Heinrich Drasche gestifteten Geldpreis für ihre Arbeit „Über die Theorie der bergmännischen Sprengarbeit“ (19) erhielten.

E. und F. Rziha waren mit ihren Arbeiten die ersten, welche die klassische Minentheorie auf den Berg- und Tunnelbau übertrugen. Auf den beiden Rzihas bauten in den Folgejahren alle modernen Ladungstheorien auf. In den Folgejahren waren österreichische Genieoffiziere und Montanisten an der Weiterentwicklung und der Präzisierung der Ladungsformeln entscheidend beteiligt.

Grundsätzlich haben alle Ladungsformeln die Form

$$L = c \times w^3$$

Dabei ist c das Produkt von Faktoren, welche die Festigkeit, Struktur und Tektonik des Gesteins, die Verspannung, das Sprengverfahren usw. berücksichtigen. Es zeigte sich, dass der Ausdruck  $w^3$  in der klassischen Sprengformel nicht allgemein gilt. Es gibt Fälle, bei denen die Potenz der Vorgabe w zwischen  $w^2$  und  $w^3$  liegt. Um diesen Unsicherheitsfaktor auszuschließen, kann die Sprengformel auf die Grundformel

$$L = w^3 f(n)q$$

gebracht werden, wobei f(n) ein Koeffizient ist, dessen Wert größer oder kleiner als 1 ist, je nachdem es sich um  $w^2$  oder  $w^3$  handelt. Verschiedene Sprengtheoretiker haben empfohlen, bis zu einer Vorgabe von 3 m die Formel mit  $w^2$ , über 3 m mit  $w^3$  zu verwenden (27). Die meisten Ladeformeln beziehen sich auf  $w^3$  und wenden Korrekturwerte an, um sich an die richtige Vorgabe anzupassen.

Der Österreicher H. Höfer war der erste, der mathematisch eine Ladeformel entwickelte, in die das Quadrat der Vorgabe einging (8). Eine Weiterentwicklung erfuhr die klassische Sprengformel durch den Österreicher v. Hauser, der den Faktor q aufgliederte (23). Seine Formel lautet:

$$L = w^3 \times c \times d$$

Darin bedeuten

- c Ladungsfaktor
- d Verdämmungsfaktor.

Diese Formel findet bis heute in erweiterter Form Anwendung dort, wo die zu sprengenden Objekte eine etwa gleichbleibende Festigkeit aufweisen, z. B. bei Gebäude-, Trümmer-, Schornstein-, Holz- oder Stahlsprengungen.

Einen weiteren Schritt zur genaueren Bestimmung der bei der Sprengarbeit relevanten Koeffizienten gelang dem Österreicher H. Lares (13). Lares war in leitender Funktion am Erzberg in der Steiermark tätig und hatte dort Gelegenheit, umfangreiche Sprengversuche durchzuführen. Er baute auf der v. Hauser'schen Formel auf und übernahm den Ladungsfaktor des Sprengstoffs und den Verdämmungsfaktor. Den Faktor q gliederte er weiter auf:

$$q = \frac{e}{o} f s v$$

Darin bedeuten:

- e Arbeitsfaktor des Sprengstoffs
- o Sprengstoffdichte
- f Gesteinswiderstandsfaktor
- s Strukturfaktor
- v Verspannungsfaktor

Die Formel von Lares lautet:

$$L = f(n) w^3 q d$$

Die Lares'sche Formel war wiederum die Grundlage, um die Genauigkeit der klassischen Ladeformel noch weiter zu verbessern, z. B. von Weichelt und Ohnesorge (27).

## 9. Resümee

Die Sprengtechnik hatte seit Caspar Weindls Sprengschuss im Jahre 1627 eine überragende Bedeutung bei den Gewinnungsarbeiten errungen. Es war damit eine revolutionierende und leistungsfähige Technik in der Industrie, und das bedeutete damals Bergbau, eingeleitet worden. Mit Sprengstoff, d. h. einer chemischen Energie, stand erstmals eine Kraft zur Verfügung, welche die bis dahin seit Jahrtausenden übliche menschliche und tierische Muskelkraft ersetzen konnte.

Die Erfindung des Nitroglycerins und die Überführung dieses gefährlichen flüssigen Stoffes in eine anwendungsfreundliche und handhabbare Form durch Alfred Nobel in der Mitte des 19. Jahrhunderts ermöglichte eine weitere sprunghafte Entwicklung. Ohne die Erfindung Alfred Nobels – hierzu zählte auch die Sprengkapsel – wäre die industrielle Entwicklung der letzten 150 Jahre nicht möglich gewesen. Nicht zuletzt hat Fettweis (4) festgestellt, dass „die brisanten Sprengstoffe für unsere Zivilisation und unseren Lebensstandard eine ähnliche Bedeutung besitzen, wie die übrigen großen Energien, mit denen wir unser Leben gestalten“.

Der Beitrag zu Ehren meines Freundes und Kollegen Günter B. Fettweis, der seit 1959 an der österreichischen Montanuniversität in Leoben lehrt und wirkt, soll auf-



zeigen, in welchem hohen Maße österreichische Montanisten, Tunnelbauer und Genieoffiziere an der Entwicklung der Sprengtechnik beteiligt waren.

### Schrifttum

- (1) Brendler, R.: Merkwürdiges aus der Geschichte des Erzbergbaues Freibergs. Die Hochschulstadt, Freiberg 1977, Heft 14/15.
- (2) v. Ebner, A.: Die bei der k. k. Genietruppe angewandte Reibungselektrizitätszündung. In: Bericht über die zweite allgemeine Versammlung von Berg- und Hüttenmännern zu Wien 1862, S. 29.
- (3) Feil, K.: Bemerkungen über Anwendungen der Bickford'schen Sicherheitszünder beim Bergbaue und deren Erzeugung zu Jenbach in Tirol. In: BHJb, Wien 1853, S. 275/81.
- (4) Fettweis, G. B.: Sprengstoffe und Bergbau: In: Festschrift der Aktiengesellschaft Dynamit Nobel Wien 1967, S. 28/37.
- (5) Fettweis, G. B.: Reflexionen über den europäischen und insbesondere den ostalpinen Bergbau zur Zeit Georg Agricolas – Thesen und Erörterungen zu seiner Bedeutung. Res montanarum, Heft 14/1996, S. 7/24.
- (6) Gättschmann, M. F.: Die Lehre von den bergmännischen Gewinnungsarbeiten. Freiberg 1846.
- (7) Guttman, O.: Handbuch der Sprengarbeit, 2. Auflage, Braunschweig 1906.
- (8) Höfer, H.: Beiträge zur Spreng- und Minentheorie. Österr. Zeitschrift für Berg- und Hüttenwesen, Nr. 11-13, 1880/81.
- (9) Huysen, A.: Der Salzbergbau und Salinenbetrieb in Österreich, Steiermark und Salzburg. BHSW, 2, Berlin 1855, S. 1/93.
- (10) Kern, Opel: Bericht vom Bergbau. Freiberg 1769.
- (11) Kirnbauer, F.: Die Geschichte der Sprengarbeit im Bergbau. Festschrift der Aktiengesellschaft Dynamit Nobel, Wien 1956.
- (12) Kraft, M.: Über Arbeitseffecte am Gestein. In: BHM 29, Wien 1881, S. 221/26.
- (13) Lares, H.: Zur Frage der genaueren Berechnung bergmännischer Sprengladungen. Z. für das gesamte Schieß- und Sprengstoffwesen 1933, S. 105, 146, 181, 206 und 250.
- (14) Lottner, H.; Serlo, A.: Leitfaden zur Bergbaukunde, Bd. 1, Berlin 1869.
- (15) Mahler, J.: Die moderne Sprengtechnik. Wien 1873.
- (16) Pierre, F.: Datation des travaux minière á la poudre. Essay de typologie. Congr. nat. Soc. savantes, Straßburg 1988. Le technique menière de la antiquité au XVIII siecle. Paris 1992, S. 519/27.
- (17) Pierre, F.: Mines de Thillot (Vosges). Apparition et evolution des techniques de percement à la poudre noir. Lotharingia 1993, Band V, S. 91/159.
- (18) v. Romocki, S. J.: Geschichte der Explosivstoffe. Band 2: Die rauchschwachen Pulver in ihrer Entwicklung bis zur Gegenwart. Berlin 1896.
- (19) Rziha, E.: Ueber die Theorie der bergmännischen Sprengarbeit. BHJb 16, Wien 1867, S. 1/162.
- (20) Rziha, F.: Lehrbuch der gesammten Tunnelbaukunst. Wien 1867.
- (21) Sennewald, R.: Probleme des wissenschaftlichen und technischen Fortschritts im Bergbau im Gefolge der industriellen Revolution in den fortgeschrittensten europäischen Staaten. Dissertation Freiberg 1985.
- (22) Stapf, F.M.: Über Gesteinsbohrmaschinen. In: Studier i Grufbrytningsvetenskap, Nr. 2, Falun 1869.
- (23) Stüssi, F.: Theorie der Minen. Zürich 1942.
- (24) Vozar, G.: Der erste Gebrauch von Schießpulver im Bergbau. Studie Historica Slovaca X (1978).
- (25) Varrentrap: Bornhardt's Elektrisirmaschine zu Sprengungszwecken. In: Allgemeine berg- und hüttenmännische Zeitung 1863, S. 326.
- (26) Wild, H. W.: Anfänge und Entwicklung der bergmännischen Bohr- und Sprengtechnik. Leobener Grüne Hefte, Neue Folge, Heft 10, 1992, S. 77/102.
- (27) Wild, H. W.: Sprengtechnik in Bergbau, Tunnel- und Stollenbau sowie in Tagebauen und Steinbrüchen, Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1984.
- (28) Wild, H. W. u. W. G. Kramer: Die Entwicklung des Zündens von Schwarzpulverladungen von den Anfängen bis zur Erfindung der brisanten Sprengstoffe. Bergbau 40 (1995), S. 456/62.
- (29) Winter, C.: Ueber die Entzündung von Sprenglöchern durch Reibungselektrizität. In: Bericht über die erste allgemeine Versammlung von Berg- und Hüttenmännern zu Wien, Wien 1859, S. 42 f.
- (30) Wisner, A.: Die volkswirtschaftliche Seite des Bergbaues in Österreich. In: Bericht über die erste allgemeine Versammlung von Berg- und Hüttenmännern zu Wien, Wien 1859, S. 147/54.

