

Sprengtechnik nach neuesten Erkenntnissen - Grundsätze, Möglichkeiten und Konsequenzen

Newest recognition in blasting techniques - principles, possibilities and consequences

von Bernd Müller, Jörg Hausmann und Helge Niedzwiedz

In dem Beitrag wird in Auswertung und Fortführung der abgeschlossenen Forschungsarbeiten „Umweltfreundliche Sprengtechnik“ versucht, aufzuzeigen, wie die derzeitige Sprengtechnik durch neue, vereinfachte Grundsätze und Möglichkeiten verbessert werden kann. Eine Sprengtechnik nach den neuesten Erkenntnissen und erwiesenen Zusammenhängen durchzuführen heißt, die sonischen Wellenüberlagerungen der Sprengstoffe auszunutzen und die Größe des wirksamen Detonationsdruckes zwecks Verbesserung der Zertrümmerung sowie Verringerung der Erschütterungen über und unter Tage zu beeinflussen. Die Sprengtechnik nach den gefundenen Abhängigkeiten gestattet eine optimale Anpassung des Sprengergebnisses in jeder Hinsicht, ohne die Größenordnung der Volumina von Sprengungen einschränken zu müssen.

The essay tries after an evaluation and in continuation of the finished research project “environmental friendly blasting techniques” to show how actual blasting techniques can be improved by new easy principles and possibilities. To implement blasting techniques which follow the newest recognitions and proofed relations means to use the sonic eclipsing of waves of the explosives and to influence the dimension of the effective detonation pressure in order to achieve a better fragmentation and to reduce vibrations on surface and underground. The blasting technique which follows found relations allows an optimal adaptation of the result in every respect without restriction of the volumes of blast operations.

1 Einleitung

Im Rahmen des Forschungsvorhabens „Umweltfreundliche Sprengtechnik“ konnte unter praktischen sprengtechnischen Bedingungen in den verschiedensten Tagebauen nachgewiesen werden, dass die Entstehung von Machfronten beim Durchgang der detonativ erzeugten Stoßwelle durch das Festgestein sowohl eine entscheidende Bedeutung für die Zertrümmerung des Sprengmediums als auch für die Entstehung von Erschütterungen hat. Es besteht ein komplexer Zusammenhang zwischen den natürlichen Eigenschaften des Festgebirges und der angewandten Bohr-, Spreng- sowie Zündtechnik einerseits *und* der erzielten Zertrümmerung, des Abwurfes vom Haufwerk einschließlich der ausgelösten Erschütterungen andererseits.

Diese neuen Erkenntnisse erfordern eine umfassendere Vorgehensweise bei der Vorbereitung, Durchführung und optimalen Anpassung der Sprengtechnik im weitesten Sinne. In diesem Beitrag werden dazu Grundsätze, Möglichkeiten und weitere Konsequenzen für die sprengtechnische Praxis aufgezeigt.

2 Voraussetzungen für die sichere Dimensionierung von Sprenganlagen

2.1 Grundlegende theoretische Zusammenhänge

Auf der Grundlage des theoretischen Modells der Impulstheorie und den Ergebnissen der analytischen Lösung des Problems der Detonation wurde sowohl durch Berechnung als auch durch praktische Anwendung nachgewiesen, dass die Wellenüberlagerungen von c_d (= Detonationsgeschwindigkeit des Sprengstoffes), c_s (= S-Wellengeschwindigkeit

des Sprengmediums) und c_p (= P-Wellengeschwindigkeit des Sprengmediums) folgende allgemeine Auswirkungen haben [8, 9, 11] (Abb. 1):

Subsonischer Fall bei $c_d < c_p, c_s$

führt zu geringer Bruchentwicklung um die Ladung und vergleichsweise zu sehr hohen Erschütterungen

Transsonischer Fall bei $c_s < c_d < c_p$

bewirkt eine mittlere bis gute Zertrümmerung in der Zone um die detonierende Ladung und löst mittlere Erschütterungen aus

Supersonischer Fall bei $c_s < c_p < c_d$

erzielt eine optimale bis sehr gute Zertrümmerung und regt vergleichsweise die geringsten Erschütterungen an

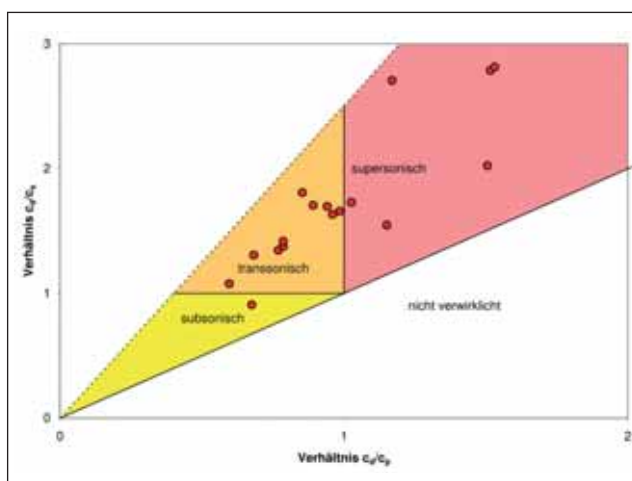


Abb. 1: Diagramm zur Einordnung der sonischen Verhältnisse (Punkte = praktisch durchgeführte Sprengversuche)

Nach diesen Erkenntnissen sollte die Auswahl des Sprengstoffes entsprechend der Eigenschaften des Sprengmediums bzw. der Festgesteine im Tagebau unter Beachtung des impulstheoretischen Grundsatzes der Verwendung einheitlicher Sprengstoffe mit voller Ausladung des Bohrlochvolumens erfolgen. Das bedeutet, der Sprengstoff soll möglichst am Festgestein bzw. an der Bohrlochwandung anliegen, damit die sonischen Wirkungen sich vollständig umsetzen können. Je geringer der Füllungsgrad ξ , um so mehr wird dieser Vorgang der Wellenüberlagerungen abgeschwächt.

Der für die Zerstörung und Zerkleinerung der Sprengmasse im wesentlichen verantwortliche gesamte wirksame Detonationsdruck P_{ZM} ergibt sich aus der Beziehung [8, 9]:

$$P_{ZM} = \left(\frac{\xi \left(\frac{\rho_s \cdot c_d^2}{4} \right) \cdot V_{SO} \cdot \lambda_s}{w' \cdot a_B' \cdot l_{Bo}} \right) \cdot n_v = P_{Z0} \cdot n_v \quad \left[\frac{kg}{ms^2} \right] \quad (1)$$

Es bedeuten:

- ξ = Füllungsgrad (-)
- ρ_s = Sprengstoffdichte (kg/m³)
- c_d = Detonationsgeschwindigkeit des Sprengstoffes (m/s)
- V_{SO} = Volumen des Sprengstoffes pro Einheitsvolumen V_0 ($V_0 = w' \cdot a_B' \cdot l_{Bo}$) (m³)
- λ_s = Seitenverhältnis (-)
- w' = gezündete Vorgabe (m)
- a_B' = gezündeter Bohrlochabstand (m)
- l_{Bo} = Einheitsbohrlochlänge (1 m)
- n_v = Anzahl der Einheitsvolumina der Sprenganlage (-)
- P_{Z0} = Detonationsdruck je Einheitsvolumen (kg/ms²)

In dieser Beziehung sind die für das Sprengergebnis entscheidendsten Parameter enthalten. Je größer der wirksame Detonationsdruck, um so kleinstückiger wird das Haufwerk.

Die sorgfältige Wahl der geometrischen Parameter, des Füllungsgrades und des eingesetzten Sprengstoffvolumens führt zur eindeutigen Verbesserung des Sprengergebnisses.

2.2 Wesentliche naturgegebene Einflussfaktoren

Die Zuordnung der Sprengbarkeit eines Festgebirges erfolgt quantitativ auf der Grundlage der

- akustischen Impedanz der (des) Festgesteine(s)
- Trennflächenabstände der Kluftscharen bzw. des durchschnittlichen Kluftkörpers [3, 6, 8].

Während die Trennflächenabstände händisch, fotogrammetrisch oder mit dem Laserscanner erfasst werden, muss zur Ermittlung der akustischen Impedanz eine Gesteinsprobe entnommen werden [6].

Die Abbildung 2 vermittelt den statistisch gesicherten Zusammenhang vom spezifischen Sprengstoffverbrauch zur durchschnittlichen Kluftkörpergröße bei vergleichbaren Sprengzielen. Je massiver ein Festgebirge ist, um so größer ist der bohr- und sprengtechnische Aufwand zwecks Erzielung eines lade-, brecher- und verarbeitungsgerechten Haufwerkes.

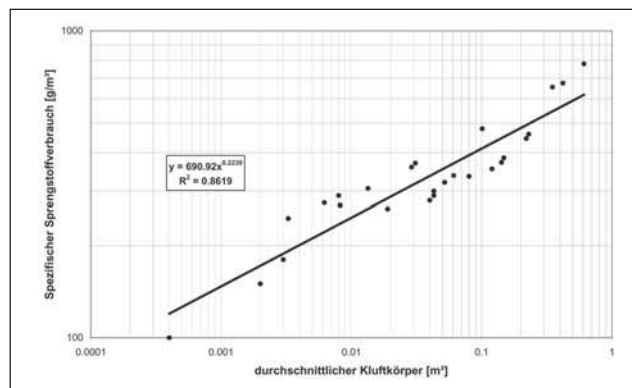


Abb. 2: Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Kluftkörpergröße mit dem spezifischen Sprengstoffverbrauch bei einem Füllungsgrad von 0,75 - Gewinnungssprengungen in Tagebauen der Natursteinindustrie

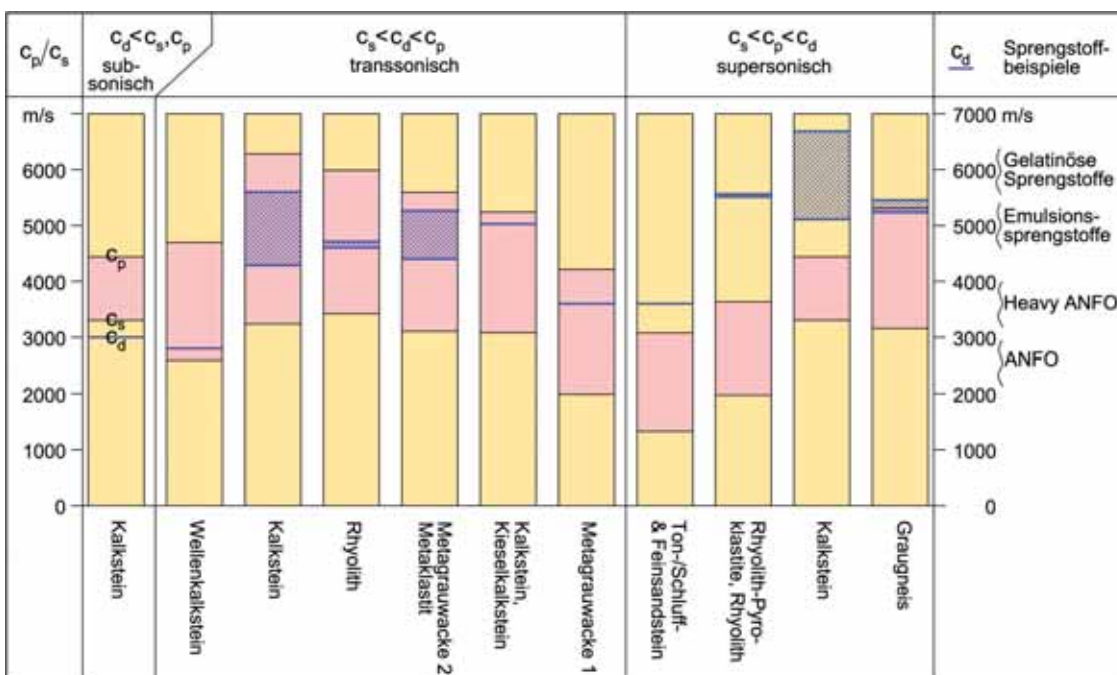


Abb. 3: Beispiele von sonischen Wirkungen in verschiedenen Festgesteinen in Abhängigkeiten von den eingesetzten Sprengstoffen bzw. deren Gemischen

Von großer Bedeutung zur optimalen Dimensionierung der Sprenganlagen ist nach den neuesten Erkenntnissen die

P- und S-Wellengeschwindigkeit [6, 8, 9].

Mit der Kenntnis dieser Parameter ist je nach Sprengstoff die sonische Wirkung festzustellen (Abb. 3). Aus der Abbildung 3 ist erkennbar, dass man die Auswahl des Sprengstoffes auf einfache Art und Weise treffen kann. Beispielsweise würde der Einsatz von Emulsionssprengstoff in dem Wellenkalkstein (Abbildung 3 - linke Seite) eine supersonische Wirkung hervorrufen, die ihrerseits die Erschütterungen bei gleichem Sprengstoffeinsatz minimieren wird. Man kann somit je nach Sprengziel entscheiden, welches bedeutende Detail des Sprengergebnisses verbessert werden muss - die Zertrümmerung, die Erschütterungen oder der Abwurf [8, 9].

Die Abbildungen 4 und 5 vermitteln die wichtigsten Gesteine und deren P- bzw. S-Wellengeschwindigkeit, so dass eine vereinfachte Zuordnung auf der Grundlage des Diagramms in der Praxis möglich ist.

Aus der Abbildung 5 ist zu entnehmen, dass bei Verwendung von Emulsions- und gelatinösen Sprengstoffen stets mindestens eine transsonische Wirkung zu erzielen ist.

2.3 Erfassung der geometrischen Gegebenheiten geplanter Sprenganlagen

Zur sicheren Auslegung und Dimensionierung von Sprenganlagen ist es in vielen Tagebauen bereits Stand der Technik, vor jeder Sprengung eine dm-genaue Vermessung mit verschiedenen Verfahren durchzuführen wie beispielsweise [6, 8]:

- 2-D- und 3-D-Laserentfernungsmessgerät
- Laserscanner
- fotogrammetrische Erfassung.

Die Abbildung 6 vermittelt beispielhaft den mit einem hochwertigen Laserscanner aufgenommenen Zustand eines Sprengbereiches vor der Sprengung. Darauf aufbauend wird die ausgelegte Bohranlage maßstabsgerecht gezeichnet und das Sprengvolumen berechnet (Abb. 7).

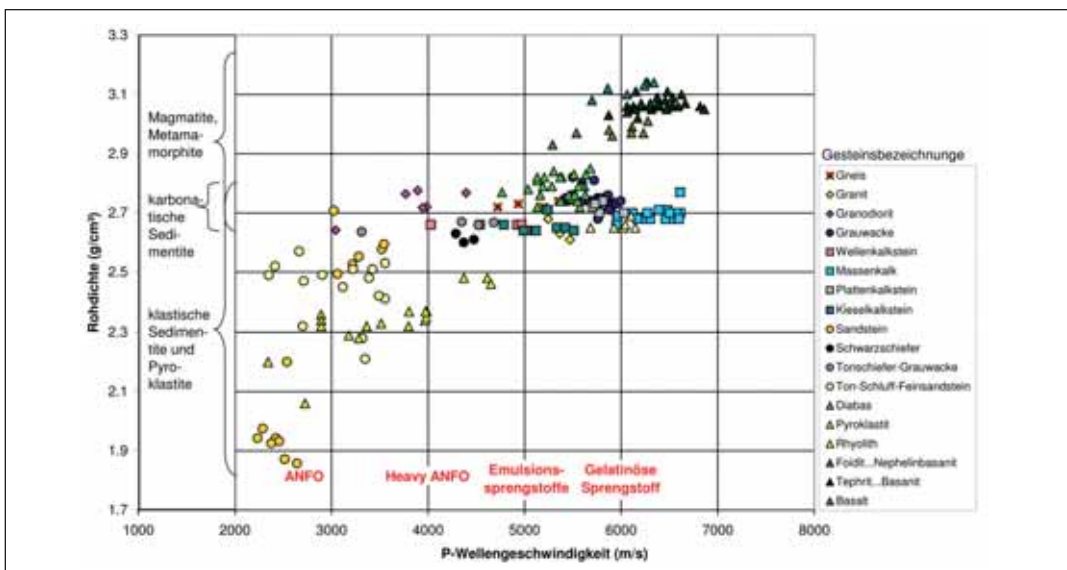


Abb. 4:

Die P-Wellengeschwindigkeit in Beziehung zur Rohdichte von Festgesteinen mit der Zuordnung der Detonationsgeschwindigkeit der wichtigsten Sprengstoffgruppen

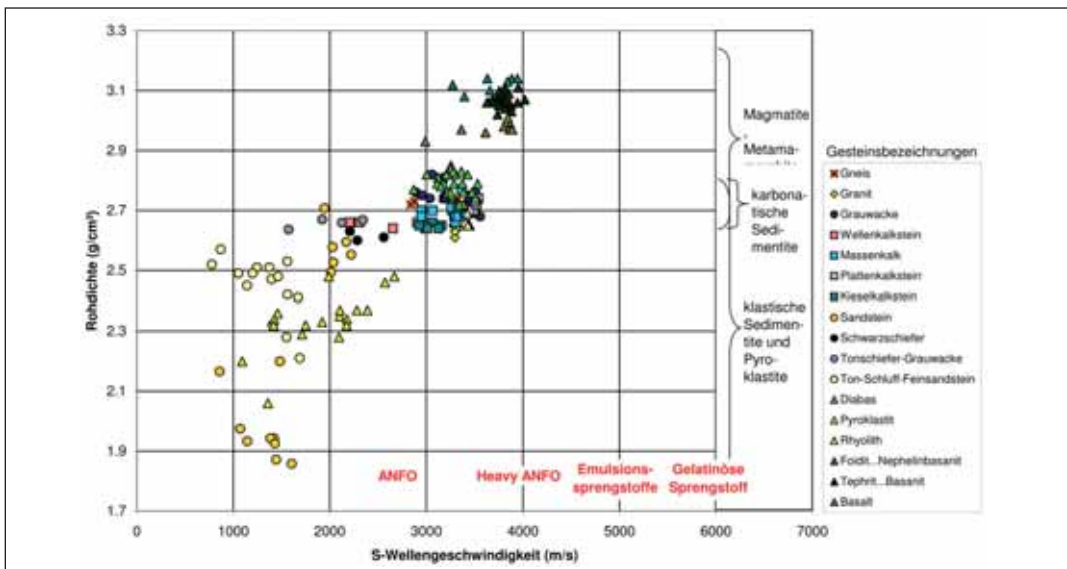


Abb. 5:

Die S-Wellengeschwindigkeit in Beziehung zur Rohdichte von Festgesteinen mit der Zuordnung der Detonationsgeschwindigkeit der wichtigsten Sprengstoffgruppen

Die Vermessung der freien Fläche einer Sprengung dient vor allem für die sichere Festlegung der Vorgaben der Bohrlöcher in der 1. Reihe sowie der Verteilung der Bohrladung. Der Grundriss der Sprengung sollte danach vermessungstechnisch, markscheiderisch oder mit GPS-Messungen in den vorhandenen Tagebauausschnitt eingetragen werden. Auf diese Weise sind sowohl der Abbaufortschritt als auch die genauen Entfernungen in Richtung zu schützender Objekte bei Erschütterungseinwirkungen abzuleiten.

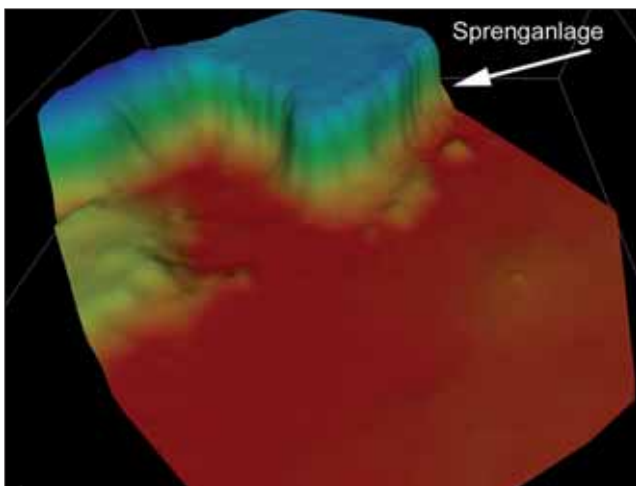


Abb. 6: Mit einem Laserscanner erfasste Sprenganlage

2.4 Grundsätze für die Dimensionierung von Sprenganlagen

Nach den Untersuchungsergebnissen und Recherchen in [8] wurden folgende Grundsätze für die Bemessung von Sprengungen im Festgebirge zur Gewinnung von Haufwerk mit verschiedenen Korngrößen empfohlen:

- Eine Gewinnungssprengung ist unter Beachtung der weiteren Verwendung des Haufwerkes nach den Trennflächenabständen der einzelnen Klufscharen bzw. der Klufkörpergrößen hinsichtlich des erforderlichen spezifischen Sprengstoffverbrauches zu bemessen (Abb. 2).
- Die Festlegung der eingesetzten einheitlichen Sprengstoffart ist je nach erforderlicher sonischer Wirkung vorzunehmen.
- Das Bohrraster und der Bohrl Lochdurchmesser sind danach so auszulegen, dass eine volle - bis auf den Endbesatz - Ausladung der Bohrlöcher möglich ist.
- Wenn es die Randbedingungen erlauben, soll ein 100 %iger Füllungsgrad erreicht und der Sprengstoff in einen direkten Kontakt mit dem Sprengmedium/Festgestein gebracht werden.
- Die Sprenganlagen werden infolge der möglichen, besseren energetischen Ausnutzung der Sprengstoffe, der Vergrößerung der Sprenganlagen sowie zur Erhöhung der Sicherheit als Mehrreihensprengungen ausgeführt.
- Die Ausladung der Mehrreihensprengungen sollte unter der Voraussetzung harmonischer geometrischer Bedingungen wie Vorgabe (w), Reihenabstand (a_R), Bohrlochabstand (a_B), Bohrl Lochdurchmesser und Bohrlochneigung möglichst gleichmäßig unter Beachtung eines einheitlichen spezifischen Sprengstoffverbrauches erfolgen.

- Das Seitenverhältnis $\lambda_s = \frac{a_B}{a_R}$ ab der 2. Reihe sollte ≥ 1 sein.
- Die Ladesäulen, ausgenommen die Schlag- oder Boosterladung im Bohrl Lochtiefsten, sollen aus einem \pm einheitlichen Sprengstoff aufgebaut sein. Wenn möglich, ist auf Sprengschnur oder/und Mischungen aus verschiedenen detonierenden Sprengstoffen zu verzichten.
- Es wird empfohlen, die Zündung mit einheitlicher, gleichmäßig verzögerter, progressiver Zündfolge zu gestalten.
- Zwecks Vermeidung von Stoßwellenüberlagerungen aus unterschiedlichen Winkeln ist der Einbruch entweder von einer Seite oder mittig rechts bzw. links zeitlich versetzt zur freien Fläche zu führen.
- Mit den vorgenannten Prinzipien der Zündfolge nach der Impulstheorie können mehrere Bohrlöcher simultan im stumpfen Winkel zur freien Fläche gezündet werden.

Bei dieser Vorgehensweise ist für die Größenordnung der Erschütterungsimmissionen nur die Lademenge eines Bohrloches verantwortlich, so dass die Sprenganlagen je nach Möglichkeiten drastisch vergrößert oder jedem anderen Erfordernis angepasst werden können.

3 Ableitung der bohr- und sprengtechnischen Parameter und Festlegung der Zündfolge

Die genaue Vermessung der Sprenganlage und der bekannte erforderliche spezifische Sprengstoffverbrauch gestatten unter Beachtung des Bohrl Lochdurchmessers die geometrische Dimensionierung (Abb. 7).

Die Abbildungen 7 und 8 vermitteln praktische Beispiele, wie die gleichmäßige Bohrlochordnung erfolgen sollte. Aus Sicherheitsgründen sind in der 1. Reihe oft patronierte, ausgedünnte Ladungen mit Sprengschnur erforderlich. In den weiteren Reihen werden dagegen die genannten Grundsätze verwirklicht.

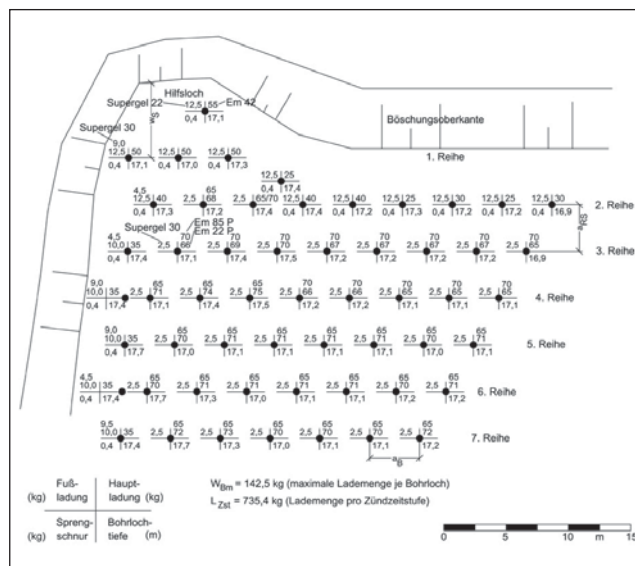


Abb. 7: Bohrschema mit Ladungsverteilung und Bohrlochtiefen der Sprengung am 19.03.2008 (Rhyolith) - (gezeichnete Anlage nach Abb. 6)

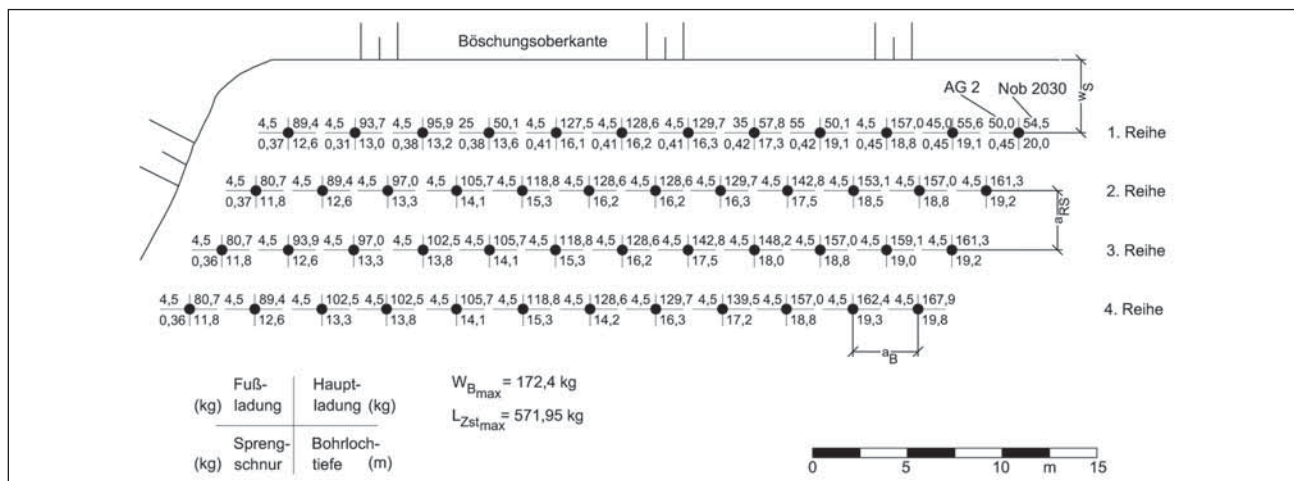


Abb. 8: Bohrschema mit Ladungsverteilung und Bohrlochtiefen der Sprengung vom 01.10.2008 (Graugneis)

Die ansteigenden Lademengen der Abbildung 8 sind der morphologischen Beschaffenheit der Festgebirgsoberfläche des Hangaufschlusses geschuldet. Mit den gezeigten Darstellungen erhält man einen eindeutigen Überblick der Sprengstoffverteilung und zu sprengenden Volumina.

Die Abbildungen 9 und 10 zeigen die gewählte Zündfolge der in Abbildung 7 und 8 dargestellten Bohrschemata. Es wurde eine Oberflächenverzögerung von 25 ms zwischen den Ladungen und simultanen Ladungsgemeinschaften gewählt, die den Gebirgsverhältnissen entspricht. Massive, wenig geklüftete Festgebirge benötigen höhere Verzögerungen $\geq 42 \text{ ms}$ und solche mit mittlerer Trennflächenhäufigkeit $\geq 25 - 42 \text{ ms}$. Eine große bis sehr große Klüftigkeit erfordert kurze Verzögerungszeiten $< 25 \text{ ms}$, weil die höhere Teilbeweglichkeit des Festgebirges frühzeitige Ausbruchbewegungen und rasche Rissbildungen aufweist. Mit der simultanen Zündung von Ladungen kann der Ausbruch der Sprengmasse gelenkt werden. Vergleicht man die Zündfolgen der Abbildung 9 mit der Haufwerkslage gemäß Abbildung 11 bzw. der Abbildung 10 mit der der Abbildung 12, so ist erkennbar, dass der Ausbruch parallel der Zündfolge gemeinsam initiiert folgt.

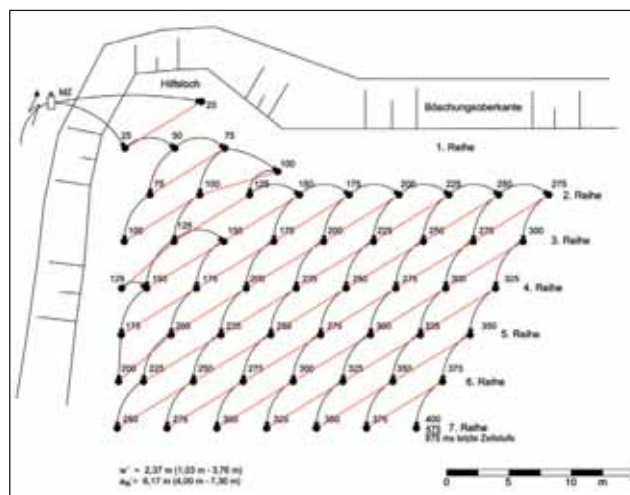


Abb. 9: Zündplan mit Verzögerungszeiten an der Oberfläche - einseitiger Einbruch - Sprengung vom 19.03.2008 (Rhyolith) (vergleiche Abb. 7)

Die Zündfolge nach den Prinzipien der Impulstheorie und die oben genannten Grundsätze sind gleichermaßen unter Tage beispielsweise beim Tunnelvortrieb anwendbar.

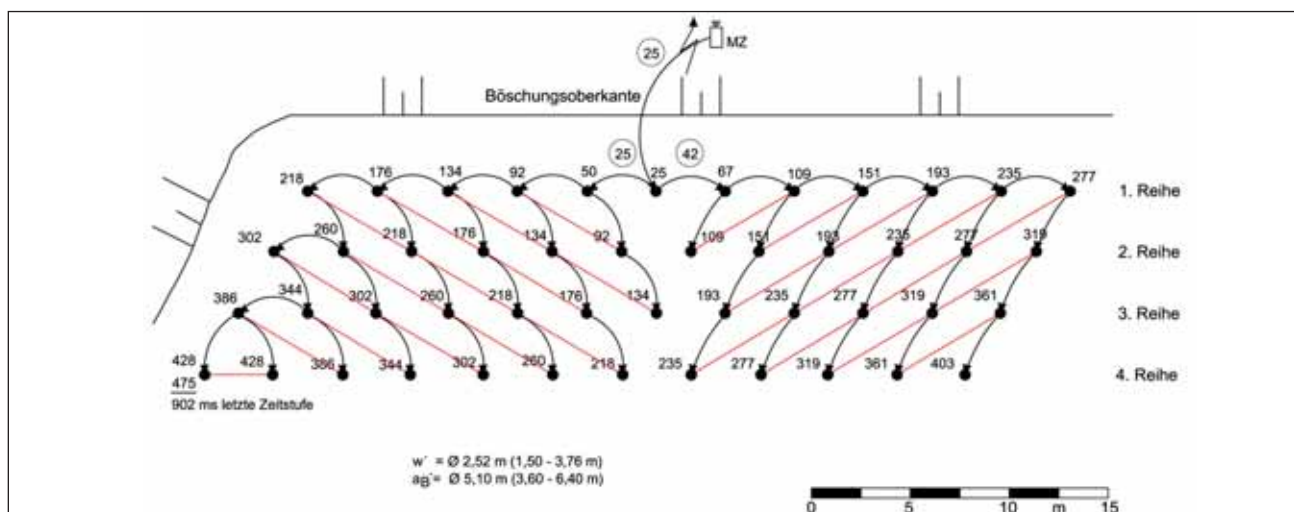


Abb. 10: Zündplan mit Verzögerungszeiten an der Oberfläche - mittlerer Einbruch mit zeitverschiebener Zündfolge - Sprengung am 01.10.2008 (Graugneis) (vergleiche Abb. 8)

Die Abbildungen 13 und 14 zeigen für verschieden geklüftete Festgebirge die jeweils praktizierten Zündschemata. In beiden Fällen wurden die zulässigen Schwinggeschwindigkeiten nicht überschritten und ein gut schutterfähiges Material abgeworfen.

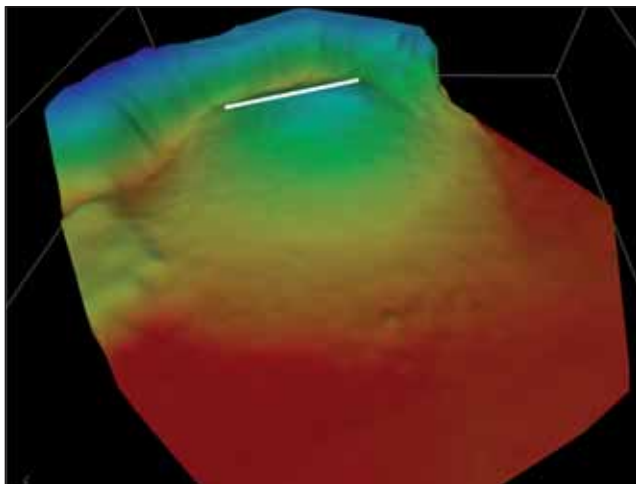


Abb. 11: Haufwerkslage der Sprengung vom 19.03.2008 im Rhyolith parallel zur Zündfolge (Laserscanner - Erfassung [8]) (rote Markierung - Zündfolge = Auswurf)

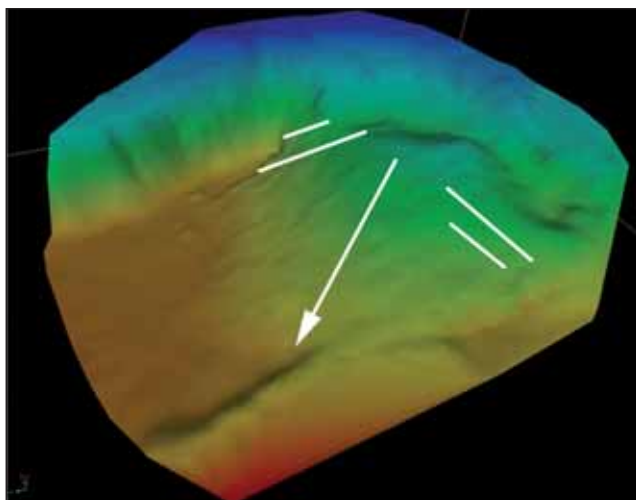


Abb. 12: Haufwerkslage der mittig gezündeten Sprengung vom 01.10.2008 im Graugneis (Laserscanner - Erfassung [8]) (rote Markierung - Zündfolge = Auswurf)

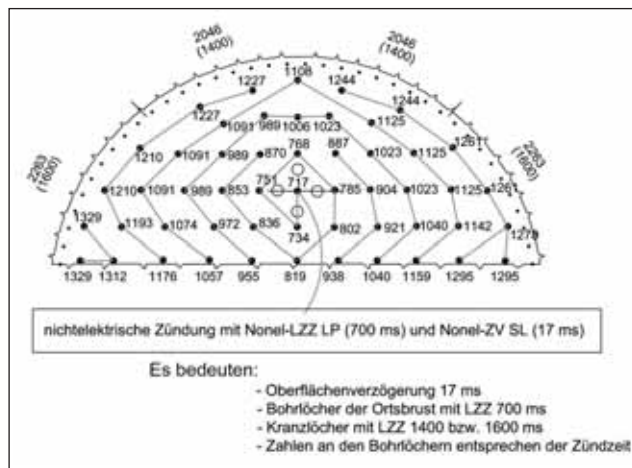


Abb. 14: Praktiziertes Zündschema für den Kalottenvortrieb im Festgebirge aus Ton-, Schluff- und Feinsandsteinen mit großer Trennflächenhäufigkeit

Allen ausgewählten Beispielen der Umsetzung der Sprengtechnik nach neuesten Erkenntnissen ist zu entnehmen, dass ± einheitliche geometrische Parameter, die gleichmäßige Ausladung der Laderäume und eine harmonische Zündfolge ein optimales Sprengergebnis bewirken.

4 Beeinflussung der Haufwerksstückigkeit und Erschütterungsimmissionen

Die schon frühzeitig erkannten komplexen Zusammenhänge zwischen der Stückigkeit sowie des Abwurfes vom Haufwerk und den ausgelösten Erschütterungen beim Sprengen haben sich durch den Nachweis der sonischen Wechselwirkungen und der Modellvorstellungen von der Impulstheorie in der Praxis bestätigt [4, 6, 8, 9]. Wird der wirksame Detonationsdruck P_{ZM} (1) systematisch erhöht, verbessert sich die Haufwerksstückigkeit. Diese Zusammenhänge sind durch die abgeschlossenen Forschungsarbeiten statistisch gesichert nachgewiesen worden [8, 9]. Die Vergrößerung des Detonationsdruckes P_{ZM} kann durch Änderung folgender Parameter erfolgen:

- Füllungsgrad 100 %
- Sprengstoff mit höherer Detonationsgeschwindigkeit und Dichte

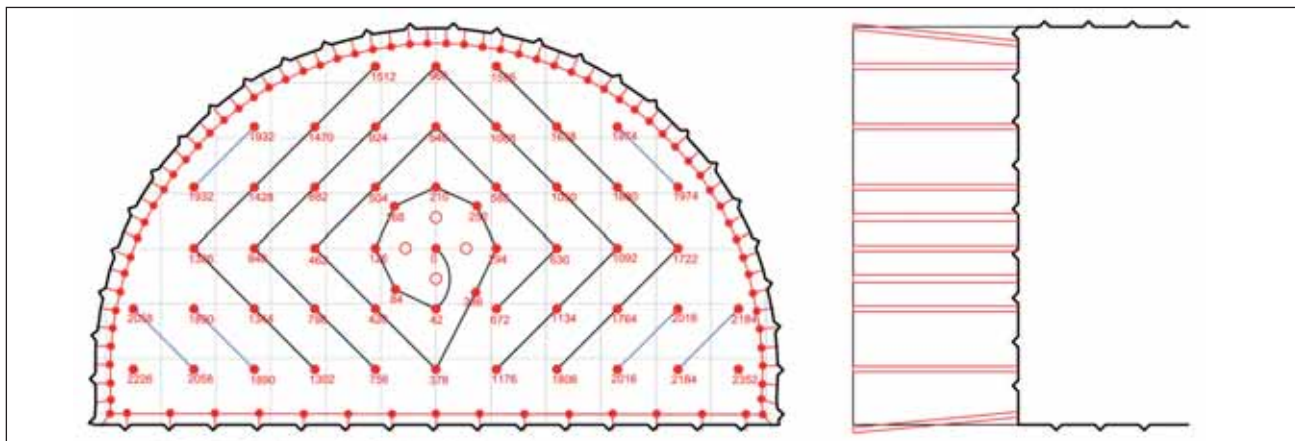


Abb. 13: Beispiel eines Paralleleinbruches mit dem Zündschema eines Spiraleinbruches nach der Impulstheorie im massiven Festgebirge (Amphibolit)

- Erweiterung des Sprengstoffvolumens mittels Bohrlochdurchmesser oder/und geringerer Vorgabe, reduziertem Reihen- sowie Bohrlochabstand (Seitenabstand)
- Erhöhung des gezündeten Seitenverhältnisses $\lambda_S = \frac{a'_B}{w'/a'_R}$ (a'_R = gezündeter Reihenabstand)

Prinzipiell ist die Größe des wirksamen Detonationsdruckes allein durch eine entsprechende Zündfolge zu erhöhen, indem der Ausbruchwinkel der simultan gezündeten Bohrlöcher flacher zur freien Fläche eingestellt wird [8]. Die Zunahme des wirksamen Detonationsdruckes durch höherwertige, dichtere Sprengstoffe ist gleichbedeutend mit einer Verbesserung der sonischen Verhältnisse (Abb. 1).

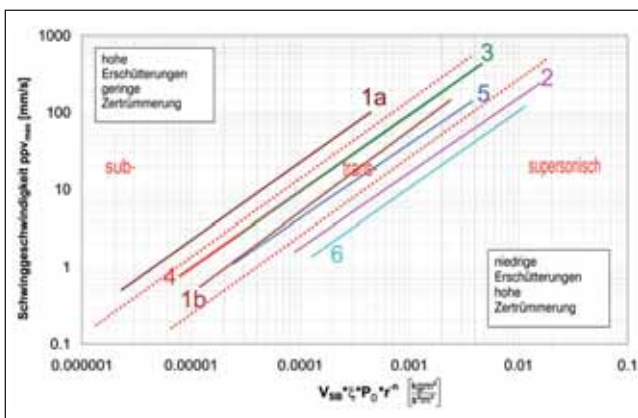


Abb. 15: Die statistisch nachgewiesene Abhängigkeit der Schwinggeschwindigkeit von dem Energie-Abstandsverhältnis [8, 9]

Es bedeutet: $P_0 = \left(\frac{\lambda_S \cdot c_d^2}{4} \right) \left[\frac{kg}{ms^2} \right]$ und die Zuordnung der ermittelten Regressionsgeraden in die jeweiligen sonischen Wirkungsbereiche (1- 6 = Ergebnisse in verschiedenen Tagebauen)

Das Diagramm der Abbildung 15 belegt den gefundenen Zusammenhang zwischen den erwarteten Erschütterungen und der Zertrümmerungswirkung. Je höher die supersonische Wellenüberlagerung eingestellt werden kann, um so geringer werden die Sprengerschütterungsimmissionen und um so besser wird die Zertrümmerung des Haufwerkes einer Sprenganlage. Rückt die Regressionsgerade der Schwinggeschwindigkeits-Energie-Abstandsbeziehung in Abbildung 15 weiter nach links steigen die Erschütterungen an und nehmen die zerstörenden Wirkungen auf die Stückigkeit ab. Das gleiche Verhalten zeigen Festgebirge bei Untertagevortriebsarbeiten. Im Gebirge aus einer Wechsellagerung von gering festen Ton-, Schluff- und Feinsandsteinen sind vergleichsweise zu einer Metagrauwacke-Tonschieferserie bei gleichem Sprengstoff sowie konstanter Lademenge voneinander abweichende Erschütterungen gemessen worden (Abb. 16). Die mögliche Erklärung für die deutliche Abweichung der Lage der Regressionsgeraden der Schwinggeschwindigkeits-Impuls-Abstandsbeziehungen beim Sprengvortrieb ist die unterschiedliche sonische Wirkung des eingesetzten Sprengstoffes. Die Metagrauwacke-Tonschiefer-Wechsellagerung weist höhere P-Wellengeschwindigkeiten auf, die über der Detonationsgeschwindigkeit des verwendeten Emulsionsprengstoffes liegen.

Nach diesen Ergebnissen (Abbildungen 15 und 16) können unter Beachtung der genannten Grundsätze im Kapitel 2.4 für die Beeinflussung von Erschütterungen beim Sprengen im Festgebirge über und unter Tage folgende Möglichkeiten umgesetzt werden:

- Bei bekannter P- und S-Wellengeschwindigkeit kann der geeignete Sprengstoff ausgewählt werden, um eine möglichst supersonische oder wenigstens transsonische Wellenüberlagerung zu realisieren. Die Erschütterungen nehmen von der sub- über die trans- bis zur supersonischen Wirkung deutlich ab.
- Kann oder wird der eingesetzte einheitliche Sprengstoff nicht mehr verändert, lassen sich, bezogen auf die Entfernung von zu schützenden Objekten, die Erschütterungen durch Verringerung der Lademenge bzw. des -volumens je Bohrloch minimieren. Das ist durch verschiedene Maßnahmen erreichbar wie
 - Verringerung der Wandhöhe bzw. Bohrlochlänge,
 - Verkleinerung des Bohrlochdurchmessers,
 - Veränderung oder Anpassung des Füllungsgrades.

Eine Verringerung der Lademenge je Bohrloch ist gleichbedeutend mit einer Einschränkung des Sprengvolumens. Durch die Möglichkeiten der Vergrößerung der Sprenganlage mit simultan gezündeten Bohrlöchlungen kann das Volumen einer Sprengung jederzeit auf die erforderliche oder gewohnte Größenordnung gebracht werden.

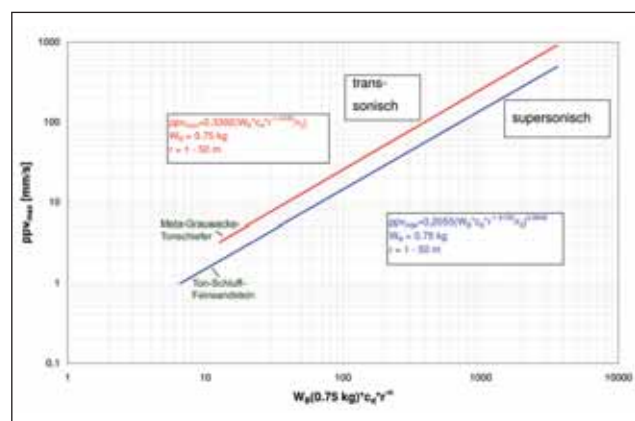



Abb. 16: Regressionsgeraden der Schwinggeschwindigkeits-Impuls-Abstandsbeziehung vom Sprengvortrieb unter Tage

5 Literaturverzeichnis

- [1] COOPER, P. W.: Explosives Engineering. WILEY-VCH, USA, (1996)
- [2] DIN-TASCHENBUCH 289: Schwingungsfragen im Bauwesen. Beuth Verlag, Berlin, (2001)
- [3] HEINZE, H. (HRSG.): Sprengtechnik - Anwendungsgebiete und Verfahren. 2. überarb. Auflage, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig-Stuttgart, (1993)

- [4] MÜLLER, B. ET. AL.: A momentum based new theory of blast design. Tenth High-Tech Seminar Blasting Technology, pp. (2001), V - 3 to V - 44.
- [5] MÜLLER, B.: Sprengerschütterungen sind beherrschbar. Teil 1, MIRO (2005), Nr. 8, S. 18 - 23; Teil 2, MIRO (2006), Nr. 1, S. 19 - 22.
- [6] MÜLLER, B. ET. AL.: Ergebnisse zur Realisierung einer umweltfreundlichen Sprengtechnik. SprengInfo 30 (2008), Nr. 3, S. 37 - 48.
- [7] MÜLLER, B., HAUSMANN, J. & NIEDZWIEDZ, H.: Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Umweltfreundliche Sprengtechnik“. Tagebautechnisches Kolloquium, TU Bergakademie Freiberg, (2009), S. 36 - 55.
- [8] MÜLLER, B. ET. AL.: Entwicklung eines Verfahrens zur definierten Berechnung von Gewinnungssprengungen und deren Erschütterungsimmissionen zur Reduzierung der Umwelteinwirkungen sowie Erhöhung der Sicherheit. Abschlussbericht Az. 24578-21/0, gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt. Leipzig (2009)
- [9] MÜLLER, B., HAUSMANN, J. & NIEDZWIEDZ, H.: Wichtige Ergebnisse des Forschungsvorhabens „Umweltfreundliche Sprengtechnik“. SprengInfo 31 (2009), Nr. 2, S. 13 - 24.
- [10] PERSSON, P. A., HOLMBERG, R. & LEE, J.: Rock Blasting and Explosives Engineering. CRC Press, Boca Raton, New York, (1994)
- [11] ROSSMANITH, H. P. ET. AL.: Der Einfluss der Detonationsgeschwindigkeit auf das dynamische Verhalten des Gebirges und die Bruchentwicklung. SprengInfo 20 (1998), Nr. 2, S. 27 - 34.
- [12] YOUNG, H. D. & FREEDMANN, R. A.: Shears and Zemansky's. University Physics. 11th Ed., with Modern Physics. Pearson, Addison Wesley, San Francisco, (2004)

Anschrift der Autoren:

Dr. Bernd Müller 
 Jörg Hausmann
 Helge Niedzwiedz
 Geotechnisches Sachverständigenbüro Dr. B. Müller
 Movement and Blasting Consulting
 Wiesenring 2
 04159 Leipzig

SPRENGINFO

Titelfotos gesucht ...

Der Deutsche Sprengverband sucht für die Titelgestaltung seiner Verbandszeitschrift „SPRENGINFO“ laufend gute und interessante Fotos aus allen Bereichen der Spreng- und Pyrotechnik.

Kriterien für die Auswahl der Fotos sind: hohe technische Qualität, Motiv und Originalität. Die Einsender müssen die alleinigen Urheberrechte an den Fotos besitzen.

Für die Veröffentlichung von Digitalfotos müssen folgende technische Voraussetzungen gegeben sein:

- Mindestanforderungen an die Fotoqualität für ein ganzseitiges Titelfoto:

Bildformat Titelfoto	Größe	Auflösung	Pixelmaße	Größe
DIN A4	210 x 297 mm	300 dpi	2480 x 3508	ca. 8,7 MB

- Mindestanforderungen an die Fotoqualität für die Gestaltung einer Collage aus mehreren Fotos:

Foto (Format)	Größe	Auflösung	Pixelmaße	Größe
10 x 15	10,2 x 15,2 mm	300 dpi	1205 x 1795	ca. 2,2 MB

Hinweis: Bitte beachten Sie, dass für das Einreichen von Digitalfotos die Pixelmaße mindestens im 4-stelligen Bereich liegen müssen.

Bei Annahme zur Veröffentlichung werden die Fotos angemessen honoriert.

Weitere Auskünfte erteilt:

megaDOK Informationsservice

E-Mail: info@megadok.de

Tel.: 0391 8107250

Anzeige

Walter Werner

Öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für das Sprengen von Bauwerken und Bauwerksteilen (Abbruchsprengungen)
Beratung - Gutachten - Erschütterungsmessungen

Stolberger Heck 1, 52223 Stolberg/Rhld.
 Tel.: (0 24 02) 2 34 77, Fax: (0 24 02) 8 52 47
 Mobil: (01 71) 7 90 92 50
 e-mail: Sprengtechnik-Werner@arcor.de