



Ein Beitrag der:

Orica Germany GmbH,
Technische Information des Sprengtechnischen Dienstes

Explosivstoffe und ihr Einfluss auf Grund- und Oberflächenwasser ^[1,2]

Allgemeines

Zum Schutz des Grundwassers vor schädlichen Einflüssen stellt sich die Frage, inwieweit gewerbliche Explosivstoffe selber bzw. die bei ihrer Detonation entstehenden Umsetzungsprodukte (Sprengschwaden) das Grundwasser belasten können.

Bei dieser Betrachtung wird die Phase vor und nach der Umsetzung der Explosivstoffe unterschieden.

Unterschiedliche Arten von Zünd- und Sprengstoffsystemen, der verschiedenartige Aufbau der Ladesäule und auch die betrieblichen Rahmenbedingungen nehmen einen erheblichen Einfluss auf diese Fragestellung.

Die langjährige Erfahrung der Anwendung dieser Explosivstoffe auch unter extremen Rahmenbedingungen - wie beispielsweise dem monatelangen Verbleiben des gesamten Sprengstoffsystems im Bohrloch - erlauben eine gesicherte und belastbare Aussage zu dieser Problematik.

In jedem Fall ist jedoch die richtige Wahl der Zünd- und Sprengstoffsysteme und die sorgfältige, sachgerechte Anwendung ein wesentliches Kriterium für die Minimierung jeglicher Emission von Schadstoffen.

Sprengstofftyp und Aufbau der Ladesäule

Die Wahl des Sprengstofftyps (gelatinös, ANFO, Emulsion) und das Sprengstoffladeverfahren (patroniert oder lose) nehmen durchaus Einfluss auf das Emissionsverhalten des Explosivstoffes.

Die aus dem militärischen Bereich bekannten Sprengstoffsysteme auf Basis der Sprengstoffe TNT und PETN (Nitropenta) werden bei gewerblichen Sprengarbeiten - wenn überhaupt - nur in geringen Mengen zur Initiierung der Hauptladesäule in Form von Zündverstärkern und Sprengschnüren einge-

setzt. Selbst zeitgemäße gelatinöse Sprengstoffe (z.B. Eurodyn 2000) enthalten heute keine aromatischen Nitrokörper (TNT und DNT) mehr.

Die übrigen modernen, gewerblichen Sprengstoffe basieren im wesentlichen auf Ammonsalpeter (NH_4NO_3). Emulsionssprengstoffe haben einen Ammonsalpetergehalt von bis zu 80% (Rest: Wasser und Mineralöl), ANFO-Sprengstoffe von bis zu 94% (Rest: Mineralöl).

Patronierte Sprengstoffe

In patronierter Form werden von ORICA Germany vor allem gelatinöse Sprengstoffe (z.B. Eurodyn 2000) und verschiedene Emulsionssprengstoffe (Nobelite) angeboten. Alle diese Sprengstoffe besitzen von sich aus bereits eine gute Wasserbeständigkeit und sind darüber hinaus durch eine sehr widerstandsfähige Patronenhülle geschützt.

Zudem werden sie (z.B. in wassergefüllten Bohrlöchern) dem Wasser ohnehin nur wenige Stunden ausgesetzt, da die Sprenganlagen üblicherweise noch am selben Tag abgetan, also gezündet werden.

Eine Beeinträchtigung des Grundwassers durch diese patronierten Sprengstoffe kann somit ausgeschlossen werden.

Lose Sprengstoffe

In loser Form werden Sprengstoffe entweder als Emulsion (Nobelit 2000 oder Nobelit 2030) eingepumpt oder - wie der ANFO-Sprengstoff Aindex - eingerieselt bzw. pneumatisch geladen.

Nobelit-Emulsions-Sprengstoffe besitzen eine sehr gute Wasserfestigkeit, auch über längere Zeiträume (z.B. mehrere Tage). Selbst Wasser, das aus dem Gebirge nachfließt, beeinflusst den Sprengstoff nicht. Er besitzt eine den betrieblichen Rahmenbedingungen angepasste sehr hohe Viskosität, welche einem ungewollten Verlaufen in Klüfte entgegenwirkt.

ANFO-Sprengstoffe (Ammonium Nitrat Fuel Oil) bestehen hingegen aus trockenen, porösen Ammonsalpeter-Prills und einer geringen Menge Mineralöl (ca. 6%), welches durch die Poren der Prills aufgenommen wird. ANFO Sprengstoffe sind nicht wasserbeständig; vielmehr haben sie stark hygroskopische Eigenschaften und sind somit gemäß Zulassungsbestimmungen auch nicht in Laderäumen mit Wasser einzusetzen.

Die „Anleitung zur Verwendung“ des jeweiligen Technischen Datenblattes ist in jedem Fall zu beachten!

Bei vorschriftsmäßiger und sachgerechter Verwendung erfolgt die vollständige Umsetzung. Eine Gefährdung des Grundwassers durch den Explosivstoff kann somit ausgeschlossen werden.

Sprengschwaden

Sprengschwaden sind die bei der Umsetzung des Explosivstoffes entstehenden Gase.

Je Kilogramm Sprengstoff entstehen bei der Umsetzung - in Abhängigkeit vom Sprengstofftyp - zwischen 800 und 1.000 Liter Schwaden. Gewerbliche Sprengstoffe setzen sich detonativ zum überwiegenden Teil zu den stabilen Verbrennungsprodukten Stickstoff (N_2), Kohlendioxid (CO_2) und Wasserdampf (H_2O) um. Daneben entstehen noch in geringen Mengen Kohlenmonoxid (CO), nitrose Gase (NO & NO_2) und Ammoniak (NH_3). Das Entweichen der Schwaden in die Luft erfolgt im wesentlichen während und unmittelbar nach dem bestimmungsgemäßen Auflockern und Werfen des durch die Sprengung gelösten Gesteins. Nach kürzester Zeit hat sich die Hauptmenge an Schwaden vom Haufwerk getrennt und in der Umgebungsluft aufgelöst.

Der Anteil an nitrosen Gasen in den Schwaden ist sehr stark abhängig von der Art des eingesetzten Sprengstoffes. Bei modernen Emulsionsspreng-

stoffen ist er aufgrund des Mengenverhältnisses der beiden Reaktionspartner (Mineralöl als Brennstoff und Ammoniumnitrat als Sauerstofflieferant) sowie ihrer innigen Vermengung äußerst gering, und die Umsetzung verläuft nahezu ideal. Jedoch selbst bei gelatinösen Sprengstoffen, in deren Sprengöl-Anteil Nitrose- bzw. Nitrogruppen gewissermaßen schon vorgebildet vorliegen, beträgt bei den von ORICA Germany hergestellten gewerblichen Sprengstoffen der Anteil an freigesetzten nitrosen Gasen stets weniger als 0,4 % des Schwadenvolumens pro Kilogramm Sprengstoff.

Inwieweit dieser geringe Anteil an Schwadenbestandteilen in der Lage ist, sich auf dem Haufwerk niederzuschlagen, ist schwer zu beurteilen. Soweit dies der Fall sein sollte, wäre - in Abhängigkeit von den gegebenen betrieblichen Rahmenbedingungen wie z.B. Feuchtigkeitsregime, pH-Wert, Reaktionsverhalten des Gesteins, dessen eingelagerten Elementen und Mineralien, Gebirgstemperatur und verwendeten Baustoffen - eine weitere Umwandlung dieser Stoffe zu erwarten. Neben einem möglichen Zerfall in die gasförmigen Ausgangsprodukte Stickstoff und Sauerstoff, erscheint in erster Linie die Entstehung salzartiger Verbindungen (Nitrats) gegeben.

Optische Analysen nach Salzurückständen, die sich aus den Gas- und Ge-

steinsbestandteilen bilden würden, ergaben keinen Hinweis auf derartige Vorgänge, so dass es sich, wenn überhaupt, nur um geringe Spuren handeln dürfte. Diese können in solch geringen Mengen keine Gefahr für das Grundwasser darstellen, da Nitrate (Salze der Salpetersäure) in jedem Ackerboden vorhanden sind bzw. in weitaus größeren Mengen bewusst als Dünger dort ausgebracht werden.

Möglichkeiten für Sprengstoffreste im Haufwerk

Nicht umgesetzte Sprengstoffreste können aus unterschiedlichen Gründen nach Abtun der Sprengung im Haufwerk verbleiben:

Verschütten von losem Sprengstoff beim Ladevorgang

In diesem Fall handelt es sich entweder um ANFO-Sprengstoff oder um pumpfähigen Emulsionssprengstoff. Durch Wasser wird ANFO-Sprengstoff sehr bald gelöst; Emulsionssprengstoffe sind nahezu unlöslich.

Allein aus wirtschaftlichen Gründen dürfte es sich beim Verschütten um Ausnahmefälle handeln. Bei genügender Sorgfalt des Ladepersonals kann Verschütten vermieden werden.

Abgescherte Ladesäulen oder Ladesäulenteile

Unterschiedliche Ursachen können dazu führen, dass ganze Ladesäulen oder nur Teilladungen nicht gezündet werden.

Vor allem, wenn ganze Ladungen oder größere Ladungsteile nicht zünden, kann dies am Sprengergebnis erkannt werden und beim Laden des Haufwerks werden erkennbare Sprengstoffreste aussortiert. Das Nichtzünden, vor allem von Teilladungen, ist fast immer auf Einflüsse früher detonierender Nachbarladungen zurückzuführen, wodurch Ladesäulen über Klüfte oder Gebirgsverschiebungen unterbrochen werden können. Diese in erster Linie durch die Geologie des Gesteins bedingten Effekte lassen sich durch zündtechnische Maßnahmen, ein angepasstes Leitsprengbild und präzise Bohrarbeit weitestgehend verhindern.

Totpressen („Deadpressing“)

Bekanntermaßen reagieren Emulsionssprengstoffe im Vergleich zu traditionellen, gelatinösen Sprengstoffen empfindlicher auf die Belastung durch zuvor initiierte benachbarte Ladungen. Die zur Ausbildung der für die Detonationsfähigkeit erforderlichen „Hot Spots“ eingemengten Gaseinschlüsse können zerstört werden. War die Beanspruchung zu groß, verliert der Stoff seine

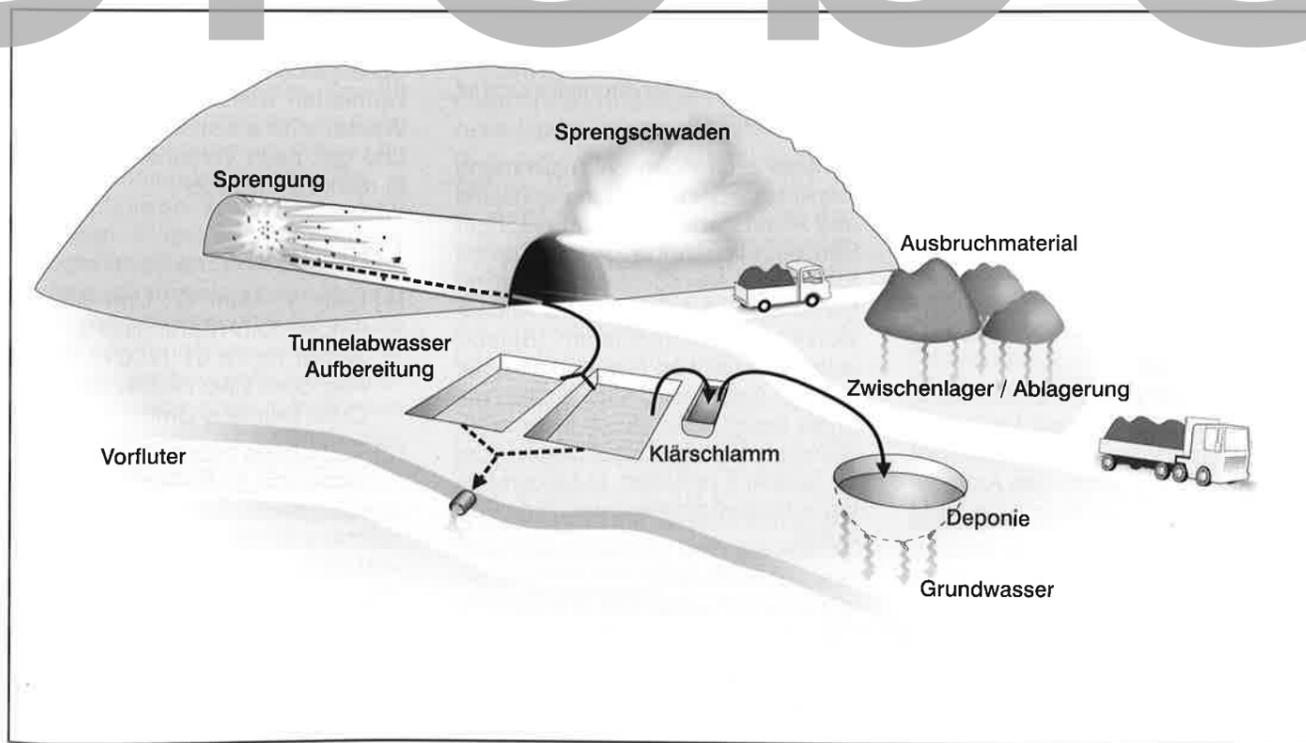


Bild 1: Kontakte des Ausbruchmaterials zu Oberflächen- und Grundwasser



Detonationsfähigkeit. Es kommt zu Versagern und somit auch zu Stoffresten im Haufwerk.

Speziell bei untertägigen Sprengarbeiten kommen wegen der geringen Abstände zwischen den einzelnen Bohrlöchern der Planung und Durchführung eine große Bedeutung zu. Die Art des Einbruchs, der Bohrlöcherdurchmesser, das Zündsystem, die Wahl und Anordnung der Zündzeitstufen nehmen wesentlichen Einfluss.

Versager

Versager können aus den unterschiedlichsten Gründen auftreten. Neben der bereits erwähnten Zerstörung des Initiators durch benachbarte Ladungen, können weitere Anwendungsfehler und Produktmängel zu Versagern führen.

Üblicherweise sind Versager unmittelbar nach der Sprengung durch ein zumindest bereichsweise ungenügendes Sprengergebnis erkennbar. Zunächst steht hierbei die Beseitigung der entstandenen, erheblichen Gefahr für die Belegschaft im Vordergrund, d.h. das Bergen bzw. Beseitigen dieser Versager (Zünder, Zündverstärker und Patronenreste).

Reaktionsvarianten für Stoffreste aus dem Sprengvorgang

Bei unvollständiger Umsetzung oder unsachgemäßer Handhabung sind die drei folgenden physikalisch-chemischen Reaktionsvorgänge denkbar. Diese Reaktionen basieren ausschließlich auf dem Vorhandensein größerer Mengen nicht umgesetzten Sprengstoffs im Haufwerk - das Niederschlagen von Bestandteilen der Sprengschwaden auf dem Haufwerk findet hierbei keine Berücksichtigung.

Basisches Regime (anorganisch)

Kommen Reste von Ammonsalpeter in direkten Kontakt mit stark basischen Reaktionspartnern (Zement, Beton) werden die NH_4^+ Ionen des Ammonsalpeters (NH_4NO_3) zu Ammoniak (NH_3) umgewandelt.

Ammoniak hat einen stechenden Geruch; seine Entstehung wird bereits weit unterhalb der als schädlich geltenden Grenze von 50 ppm durch die menschliche Nase zuverlässig erkannt (ab ca. 2 [!] ppm). Eine Gefahr für die Umwelt entsteht hieraus nicht. Gleich dem Ammoniak, welcher bei zahlreichen mikrobiellen Umsetzungsprozessen in der Natur entsteht (z.B. der Zersetzung von Harnstoff in Dunggruben) wird der gebildete Ammoniak vom Regen gelöst, in den Boden verbracht und dort in den natürlichen Stickstoffkreislauf eingeschleust. Eine Anreicherung von Ammoniak findet nicht statt.

Basisches Regime (organisch)

In einem alkalischen Regime kann durch die bakterielle Umwandlung von Ammonsalpeter (NH_4NO_3) in Stickstoff (N_2) ebenfalls Ammoniak (NH_3) in geringen Mengen freigesetzt werden. Bezüglich des Verbleibs des Ammoniaks gilt das oben Gesagte.

Neutrales Regime

In einem neutralen Regime besteht die Möglichkeit der bakteriellen Umwandlung (Reduktion) von Ammonsalpeter (NH_4NO_3) in Nitrit (NO_2).

Wasser mit einer sehr hohen Nitritkonzentration ($\geq 1\%$ [!]) gilt als fischgiftig für niedere Wasserorganismen. Das Eindringen oder die Einleitung derartiger Wässer in natürliche Gewässer muss dringend vermieden werden; sie ist ohnehin durch die Vorschriften des Wasserhaushaltsgesetzes strengstens untersagt (Gewässerverunreinigung ist Straftatbestand).

Denkbar ist dagegen, bei Zustimmung des Anlagenbetreibers, eine langsame und kontrollierte Einleitung niedriger Konzentrationen in eine biologische Kläranlage. Bei adaptierten Mikroorganismen sind Störungen der Abbauprodukte von Klärschlamm (Belebtschlamm) nicht zu erwarten. In einer solchen Anlage wird Nitrit, ähnlich wie in der freien Natur, durch Mikroorganismen entweder zu Nitrat oxidiert oder zu Stickstoff reduziert. In beiden Fällen entstehen praktisch ungiftige Produkte.

Nitrit wird durch Mikroorganismen entweder zu Nitrat oxidiert oder zu Stickstoff reduziert. Bei sachgemäßer und kontrollierter Einleitung geringer Konzentrationen in adaptierte biologische Kläranlagen sind Störungen der Abbauprodukte von Belebtschlamm nicht zu erwarten.

Fazit

Bei sachgerechter Handhabung moderner Zünd- und Sprengstoffsysteme scheint nach heutigem Wissensstand - weder von den Explosivstoffen selber, noch von deren Umsetzungsprodukten - ein schädlicher Einfluss auf das Grundwasser auszugehen.

Es ist von einer kurz- bis mittelfristigen Elimination von Explosivstoffresten aus der Umwelt durch Umwandlung in ungefährliche bzw. naturidentische Komponenten auszugehen. Nichtabbaubare, langlebige bzw. anreicherungs-fähige toxische Bestandteile sind in modernen gewerblichen Sprengstoffsystemen weder vorhanden noch werden sie im Zuge von Eliminationsreaktionen gebildet. Zwar können durch Salpetersäureester, Nitrit-Ionen sowie freien Ammoniak kurzfristig gewässertoxische Auswirkungen hervorgerufen werden, bei entsprechender Verdünnung werden jedoch auch diese Stoffe durch physikalisch-chemische bzw. biologische Prozesse rasch in ungefährliche Komponenten überführt. In der Praxis sollten daher Bedingungen, die zur Entstehung von Nitrit bzw. Ammoniak aus Sprengstoffresten führen, möglichst vermieden werden. Entsprechende Wässer sind aufzufangen, zu prüfen und ggf. nach Vorbehandlung fachgerecht zu entsorgen.

Literatur

- [1] Delb, V., Marti, D.: Umweltbelastungen durch Sprengstoffe, Nobel Hefte 67 (2001), S. 61, Hsg. Sprengtechnischer Dienst der Orica Germany GmbH Troisdorf
- [2] Technische Information: Explosivstoffe und ihr Einfluss auf Grund- und Oberflächenwasser, Orica Germany GmbH, Juli 2005

Resümee und Ausblick

Das vorliegende Heft setzt die mittlerweile schon zur Tradition gewordene Jahreshefreihe fort, die sich einem Rahmenthema widmet. Es werden Schwerpunkte aus der untertägigen Sprengtechnik aufgegriffen, ohne den Anspruch einer Monografie erheben zu wollen - wohl aber werden aktuelle Fragen diskutiert.

Die Abstimmung der Produkte und sprengtechnischen Parameter auf die betrieblichen Anforderungen stellt heutzutage ein wesentliches Kriterium bei der Wahl des Explosivstofflieferanten dar. Dabei spielen Aspekte der die Bohr- und Sprengarbeiten begleitenden Dienstleistungen eine wachsende Rolle.

Einführend gibt dieses Nobel Heft einen historischen Einblick in die Entwicklung unsere gewerblichen Sprengstoffe. Im Anschluss werden unterschiedliche Möglichkeiten des Ladesäulenaufbaus und der Initiierung klein-kalibriger Ladesäulen - unter besonderer Berücksichtigung untertägiger Sprengarbeiten - beschrieben.

Ein Artikel zur Weiterentwicklung der Bohr- und Sprengtechnik wurde aus dem aktuellen Taschenbuch „Tunnelbau“ übernommen, wofür dem Verlag VGE in Essen für seine unkomplizierte Zusammenarbeit zu danken ist.

In den vergangenen Jahren mussten sich zahlreiche Unternehmen - sowohl im Bereich der untertägigen als auch der übertägigen Sprengarbeiten - im Zuge zunehmender Rationalisierung stärker auf ihre Kernkompetenzen konzentrieren. Einem leistungsstarken sprengtechnischen Service kommt somit immer stärker werdende Bedeutung zu. Am Beispiel der noch in Auffahrung befindlichen Tunnelbaustelle Grouft in Luxemburg werden inhaltlich-organisatorische Aspekte eines Kunden-Service-Centers (KSC) für sprengtechnische Dienstleistungen dargestellt.

Die ständig steigenden umweltrelevanten Anforderungen erfordern die Beurteilung aller Emissionen auf die Umgebung. Im Rahmen der Baumaßnahme Tunnel Grouft erfolgt neben der Vorstellung einer Maßnahme zur erheblichen Reduktion des Lüfterlärms, die zum Stand der Technik gehörende Überwachung von Sprengerschütterungen.

Summary and outlook

The present magazine continues the tradition of the annual magazines, which are focussed on a frame topic. The emphasis is put on underground blasting technique, without pretending to write a monograph, but with the intention of treating actual matters.

The adaptation of the products and technical blasting parameters to the exigencies of the businesses represents nowadays an important criterion for their choice of the proper explosives supplier. Auxiliary services, such as drilling and blasting, become more and more important too.

In the introduction, this Nobel magazine (Nobel Hefte) gives an historical overview of the evolution of commercial explosives. Thereafter, a description of different possibilities of confection of an explosives column and initiation of small diameter explosives columns, especially in underground works, follows.

An article regarding the evolution of the drilling and blasting technique has been extracted from the actual pocket book „Tunnelbau“ (Tunnelling) and we express our thanks to the editor VGE, Essen for their kind co-operation.

In the past years, numerous businesses, working both in open cut and underground, were forced, in the frame of a growing rationalisation, to focus more and more on their core business. Hence, the growing importance of a competent Technical Support Service. Both the organisation and the mode of operation of a Customer Service Center (CSC) providing blast related technical services are being described here by taking as an example the site under construction of Tunnel de Grouft in Luxembourg.

The more and more stringent exigencies of environmental protection make it necessary to evaluate the impact of blast emissions on the environment. In the frame of the construction works of Tunnel de Grouft, both the state of the art control of blast vibrations and a measure to dramatically reduce the blower noise are depicted.

A separate article handles of the influence of commercial explosives on ground and surface water before, during and after the blast. The conclu-

Résumé et perspectives

Le présent magazine continue la tradition des magazines annuels, qui se dédient à un sujet cadre. Des accents sont mis sur la technique du tir en souterrain, sans pour autant prétendre en faire une monographie, mais en voulant traiter de questions actuelles.

L'adaptation des produits et paramètres techniques de minage aux exigences des entreprises représente aujourd'hui un critère important pour celles-ci dans le choix d'un fournisseur d'explosif. Les services auxiliaires de forage minage revêtent également une importance croissante.

Dans l'introduction, ce magazine Nobel (Nobel Hefte) donne un aperçu historique de l'évolution des explosifs civils. Ensuite, diverses possibilités de confection d'une colonne d'explosif et de l'amorçage de colonnes d'explosifs de petits diamètres, spécialement dans les travaux souterrains, sont décrits.

Un article concernant l'évolution de la technique de forage minage a été repris du livre de poche actuel „Tunnelbau“ (La construction de tunnels) et nous remercions l'éditeur VGE d'Essen pour son aimable coopération.

Dans les années écoulées, de nombreuses entreprises, tant dans les travaux à ciel ouvert que dans les travaux souterrains, ont dû dans le cadre d'une rationalisation grimpeuse, se concentrer de plus en plus sur leur cœur de métier. D'où l'importance grandissante d'un Service d'Assistance Technique compétent. L'organisation et le fonctionnement d'un Centre de Service Clientèle (CSC) fournissant des services techniques relatifs au minage est décrit ici en prenant comme exemple le site de construction du Tunnel de Grouft au Luxembourg.

Les exigences de plus en plus strictes de protection de l'environnement nécessitent une appréciation des émissions de tir sur l'environnement. Dans le cadre des travaux de construction du Tunnel de Grouft, le contrôle sophistiqué des vibrations de tir est évoqué, ainsi qu'une mesure permettant une forte réduction du bruit du ventilateur.

Un article séparé traite de l'influence des explosifs civils sur les eaux souter-