

**Zeitschrift:** Schweizer Ingenieur und Architekt  
**Herausgeber:** Verlags-AG der akademischen technischen Vereine  
**Band:** 104 (1986)  
**Heft:** 47

**Artikel:** Expansionsmörtel, eine Alternative zum herkömmlichen Sprengstoff  
**Autor:** Dubsky, Milan / Tschopp, Erwin  
**DOI:** <https://doi.org/10.5169/seals-76314>

### **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

### **Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

### **Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

**Download PDF:** 03.04.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>**

# Expansionsmörtel, eine Alternative zum herkömmlichen Sprengstoff

Von Milan Dubsy und Erwin Tschopp, Zürich

Seit einigen Jahren werden alternativ und ergänzend zu Sprengstoffen sogenannte «Expansionsmörtel» als neue Hilfsmittel für die Zerstörung von Material angeboten. Die Autoren beschreiben das Verfahren, wobei sie detailliert auf das optimale Volumen des Reaktionsraumes, die verschiedenen Temperaturtypen und ihre Wirkungszeit eingehen. Sie nennen die Eigenschaften des Expansionsmörtels und schildert seine Handhabung. Mögliche Anwendungsgebiete – Fels, Beton, Eisenbeton – werden aufgezählt, der spezifische Verbrauch wird angegeben.

## Einleitung

Expansionsmörtel ist ein neues Mittel zur Zerstörung von Material bei Fels- und Abbrucharbeiten, das vor etwa acht Jahren nach Europa kam. Die mit ihm sich eröffnenden Möglichkeiten schienen weitgehend so zu sein, dass sich die Laboratorien und Hersteller von Baustoffen zur Nachahmung und Weiterentwicklung dieser Neuheit veranlasst fühlten. Die Kenntnisse über Material und Verfahren gehören jedoch noch nicht zum Allgemeinwissen in der Baupraxis. Auch in Leistungsverzeichnissen wird die betreffende Position sehr häufig mit einem Markennamen statt mit einer korrekten Bezeichnung des Verfahrens ausgeschrieben. Dies führt nicht selten dazu, dass dieses Produkt unter zu hohen Erwartungen, die es nicht erfüllen kann, zur Anwendung gelangt. Im folgenden wird versucht, die bisherigen Erfahrungen mit diesem neuen Hilfsmittel des Tiefbauers zusammenzufassen und seinen Standort unter den Abbautechnologien zu bestimmen.

## Verfahren

Expansionsmörtel sind im Hinblick auf ihre Substanz, ihre Wirkungsweise und den Zerstörungseffekt keine Sprengstoffe, obwohl Unterlagen mancher Anbieter diese Bezeichnung jeweils mit dem kontradiktorischen Zusatz «nicht-explosiv» auf der Titelseite führen.

Im Grunde handelt es sich um eine anorganische, stark alkalische Kalkverbindung mit Silikaten. Unter Beimengung von Wasser beginnt ein exothermer Hydratationsprozess, bei dem unter Einschluss ein Expansionsdruck von 3000 bis 6000 t/m<sup>2</sup> zustande kommt. Das daraus resultierende Spannungssystem führt dann zur Zerstörung des umgebenden Materials. Im Gegensatz zu Sprengarbeiten bewirkt der Expansionsmörtel nur die Entstehung von Rissen und mehr oder weniger klaffenden Spalten (Bild 1). Je nach Material-

art – besonders beim Eisenbeton – ist daher noch mit mechanischer Nachbearbeitung zu rechnen.

Die spezifische Dichte des Pulvers beträgt etwa 3 g/cm<sup>3</sup>, die Ladedichte der Mischung rund 1,7 g/cm<sup>3</sup>.

Der Ablauf der Hydratation ist von der charakteristischen Reaktionswärme abhängig. Die Temperatur der einschliessenden Materialien, des Mischwassers und schliesslich auch die Grösse des Reaktionsraumes sind die bestimmenden Faktoren. Je kälter das Wasser und je grösser der Bohrl Lochdurchmesser ist, desto grösser wird der Zerstörungseffekt sein. Beim Überschreiten gewisser Randbedingungen – zu warmes Wasser oder zu grosser Reaktionsraum – kann sich die Reaktion aber dermassen beschleunigen, dass die Mischung infolge Überhitzung aus dem Bohrloch herausgeschleudert wird. Dieser unerwünschte Blow-out-Effekt kann allerdings auch ohne Verletzung technologischer Gebrauchsanweisungen (z. B. bei starker Sonneneinstrahlung) auftreten. Die Hersteller warnen deshalb eindringlich

davor, in die mit Expansionsmörtel geladenen Bohrlöcher hineinzuschauen. Die Expansionsmörtel lassen sich unter guten Bedingungen etwa ein Jahr lang lagern.

## Volumen des Reaktionsraumes

Die Angaben in Tabelle 1 beziehen sich auf Bohrlochdurchmesser von etwa 38 bis 50 mm. Mit zunehmender Raumgrösse nimmt auch die Leistung des Expansionsmörtels zu (Bild 2). Bei kleineren Durchmessern oder bei kürzeren Bohrlöchern als etwa 0,5 m ist der Expansionsmörtel wegen der zu kleinen Energiekonzentration weniger wirkungsvoll. Um die Vorteile von grösseren Durchmessern – 50 bis 100 mm (das Optimum liegt bei etwa 65 mm) – nutzen zu können, bieten einige Hersteller den sogenannten «V-Typ» an, und zwar für die gleichen Temperaturbereiche wie in Tabelle 1 angegeben.

## Temperaturtypen

Die atmosphärisch bedingten Temperaturschwankungen des zu bearbeitenden Materials sind unbedingt zu berücksichtigen. Die meisten Expansionsmörtel werden daher in zwei bis vier temperaturabhängigen Typen angeboten.

Bei der Anwendung höherer Temperaturtypen wird eine grössere Expansionskraft entwickelt (Bild 3). Der Bauherr sollte daher im eigenen Interesse eine voraussehbare Anwendung von Expansionsmörtel im Freien möglichst nicht für die kalte Jahreszeit planen. Bei tieferen Temperaturen ist auch mit einer verzögerten Rissbildung zu rechnen.

Bild 1. Zerstörungseffekt bei Verwendung von Expansionsmörtel nach 2 Tagen Einwirkungszeit, etwa 20 m<sup>3</sup> anstehender Fels



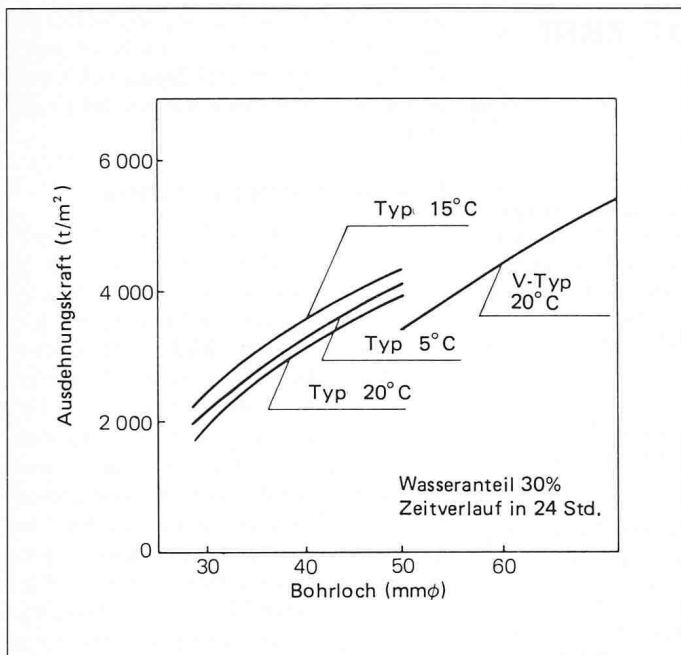


Bild 2. Zusammenhang zwischen Ausdehnungskraft und Lochdurchmesser

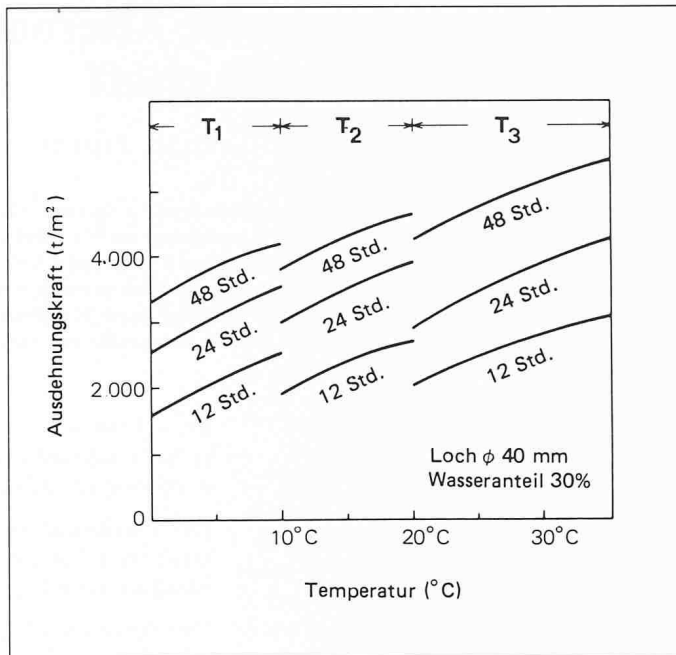


Bild 3. Ausdehnungskraft in Abhängigkeit von der Temperatur für drei Temperaturtypen des Expansionsmörtels

**Wirkungszeit**

Die Wartezeit zwischen dem Einbringen des Expansionsmörtels und seiner befriedigenden Wirkung ist der schwache Punkt dieses Verfahrens und der häufigste Grund für Enttäuschungen und Reklamationen. Die diesbezüglichen Dokumentationen enthalten zu optimistische Werte – meist werden 12 bis 24 Stunden Wirkungszeit angegeben. Dies trifft jedoch nur bei optimalen Bedingungen zu (z. B. bei Findlingsprengungen). Beim Abbruch von Eisenbeton oder bei hoher Verspannung lohnt es sich, einige Tage mit der Nacharbeit zu warten. Die ersten Haarrisse treten zwar bereits nach einigen Stunden auf, in Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Labormessungen (Bild 4) weiten sich die Spalten jedoch noch eine Woche lang aus und neue Risse werden sichtbar.

Da Warten auf Baustellen nicht besonders gern gesehen wird, hat ein Produ-

zent vor etwa einem Jahr einen neuen «Expresstyp» mit stark beschleunigter Wirkung angekündigt. Bei der Demonstration waren bereits zwischen fünf und 30 Minuten nach dem Füllen ziemlich ausgeprägte Spalten sichtbar. Der vom Hersteller angegebene Expansionsdruck ist allerdings nur halb so gross wie bei seinem pulverförmigen Produkt. Eine Weiterentwicklung soll jedoch diesbezüglich gute Fortschritte machen.

Das neue Produkt weist einen interessanten zusätzlichen Vorteil bei der Handhabung auf. Im Gegensatz zu normalen pulverförmigen Expansionsmörteln handelt es sich bei dem neuen Typ um ein Granulat. Es wird trocken in die Bohrlöcher geladen, und erst dann wird das Reaktionswasser eingefüllt. Auf diese Weise wird eine willkommene Vereinfachung und Verkürzung der vorbereitenden Arbeiten erreicht.

**Handhabung**

Die äusserst genaue Einhaltung der vorgeschriebenen Handhabungsregeln beim Vorbereiten der Mischung ist eine grundlegende Voraussetzung für den Erfolg. Mischbehälter, Werkzeug und Mischwasser müssen sauber sein, vor allem sind organische Verunreinigungen unzulässig. Des weiteren ist auf das genaue Mischungsverhältnis (25% bis 30%) und die Temperatur des Reaktionswassers zu achten.

Das Pulver ist langsam und unter stemem Rühren in die genau bemessene Wassermenge zu schütten. Für das Mischen kann man eine Handbohrmaschine mit einer einfachen Rührvorrichtung verwenden. Der Mischvorgang ist erst dann beendet, wenn vollständige Homogenität erreicht ist. Alle trockenen Pulverreste oder Klumpen

Tabelle 2 (rechts). Spezifischer Verbrauch von Expansionsmörtel (in kg)

Kategorie	Gewünschter Abbaueffekt			
	1. leichte Rissbildung, Nacharbeit mit Abbauhammer erforderlich	2. grössere Rissbildung, mit schwerer Abbaumaschine Verlad möglich	3. starke Zerstörung, Verlad mit Bagger möglich	4. sehr starke Zerstörung
Unarmerter Beton, freiliegend	1... 2	2... 3	3... 4	4... 6
Unarmerter Beton, verspannt	3... 4	4... 6	6... 9	9...15
leicht armerter Beton	5... 8	8...11	11...20	20...40
schwer armerter Beton	7...10	10...15	15...25	25...50

Tabelle 1. Angaben zu drei Temperaturtypen (in °C)

Typ	empfohlene Temperatur des Objekts	noch zulässige Extremwerte	Wasser
T <sub>1</sub>	0...10	-5	5...10
T <sub>2</sub>	10...20	5	5...15
T <sub>3</sub>	20...35	15	5...20

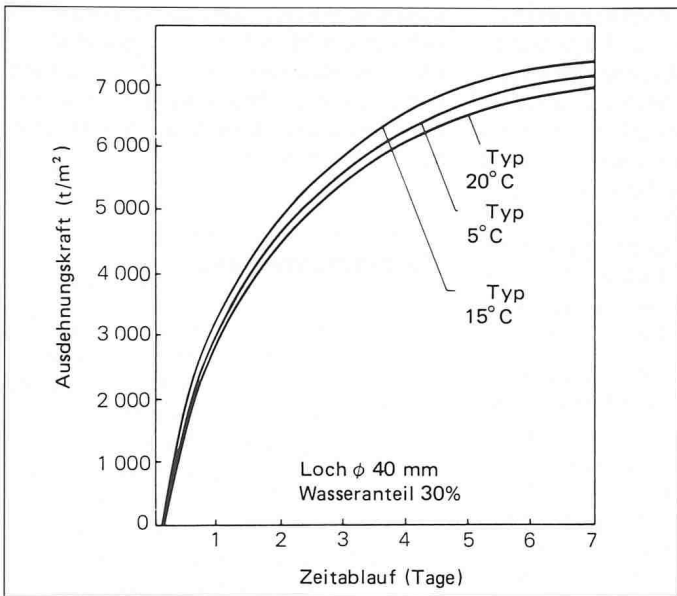
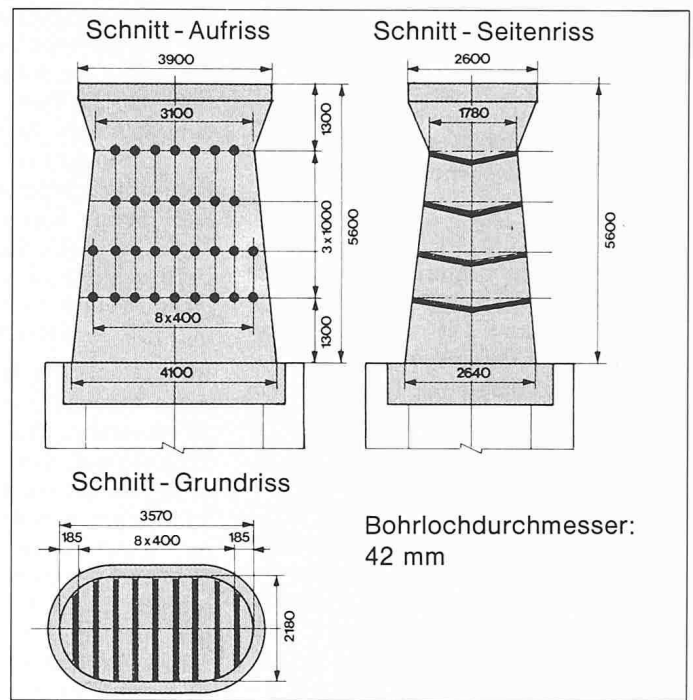


Bild 4. Änderung der Ausdehnungskraft über der Zeit

Bild 5a (rechts). Abbau eines Pfeilerkopfes mit horizontalen Bohrlöchern, Schnitt durch den Pfeiler



Bohrlochdurchmesser: 42 mm

müssen völlig aufgelöst sein, bevor mit dem Abfüllen der Bohrlöcher begonnen werden kann. Wegen der mit der Zeit fortschreitenden Wirkungseinbusse sollte der Mischvorgang nach etwa zehn Minuten beendet sein. Ein Verdämmen der Bohrlöcher ist nicht erforderlich.

Bei nassen oder sogar wässrigen Bohrlöchern muss die Masse in Polyäthylenschläuche von etwas grösserem Durchmesser als das Bohrloch gefüllt werden. Sind dagegen die Bohrlöcher trocken und das zu zerstörende Material stark absorptionsfähig, ist die Bohrlochwandung vor dem Einbringen der Mischung anzufeuchten.

Die Nichtbeachtung dieser Regeln kann zum Versagen des Verfahrens führen. Eine zu wasserarme oder -reiche Mischung verliert an Wirksamkeit.

### Anwendungsgebiete

Obwohl nach dem Erscheinen weiterer Konkurrenzprodukte der ursprünglich ziemlich hoch angesetzte Preis sehr stark gefallen ist, sind die Expansionsmörtel noch immer nicht billig. Auch der spezifische Materialverbrauch ist relativ hoch. Dazu kommt noch der Aufwand für das Bohren, für sekundäre Bearbeitung und für das Schottern.

Da sich zur Vertikalachse geneigte Laderäume meist problemlos füllen lassen, ist dies die gängigste Bohranordnung. Ab und zu sind jedoch horizontal oder nach oben gebohrte Löcher unerlässlich (z. B. Bild 5). In diesen Fällen werden die Laderäume mittels Mörtelpumpen gefüllt und mit einem Stöpsel verschlossen.

Einige Hersteller liefern den Expansionsmörtel in Folien patroniert. Diese

Problemlösung hat den zusätzlichen Vorteil, dass das zeitraubende Vorbereiten der Mischung entfällt. Die Patronen werden in Wasser getaucht bis die Porenabsorption beendet ist und keine Luftblasen mehr austreten. Da die Patronen immer einen kleineren Durchmesser als das Bohrloch haben müssen und der Expansionsmörtel nur dann wirksam ist, wenn er satten Kontakt mit der Bohrlochwandung hat, ist jede Patrone nach dem Einbringen zu zerstampfen. Die Ladedichte muss dann wieder den Faktor 1,6 erreichen.

Je nach Gesteinsart rechnet man mit etwa 1 bis 15 kg/m<sup>3</sup> für die Zerkleinerung von Findlingen. Bei allseitig freien kleineren Betonmassen liegt der spezifische Verbrauch bei höchstens 10 kg/m<sup>3</sup>. Für den Abbau von anstehendem Fels oder für den Abbruch grösserer unbewehrter Betonmassen benötigt man bereits 20 kg/m<sup>3</sup>, und bei Eisenbe-

Bild 5b. Abheben des abgesprengten Pfeilerkopfes

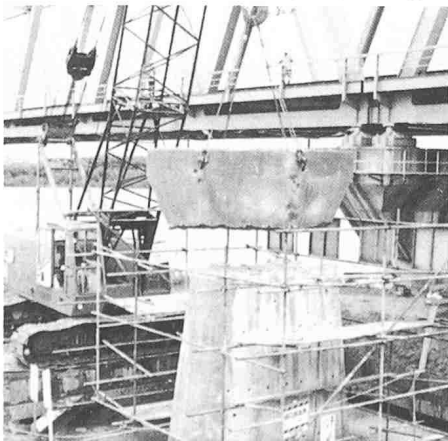
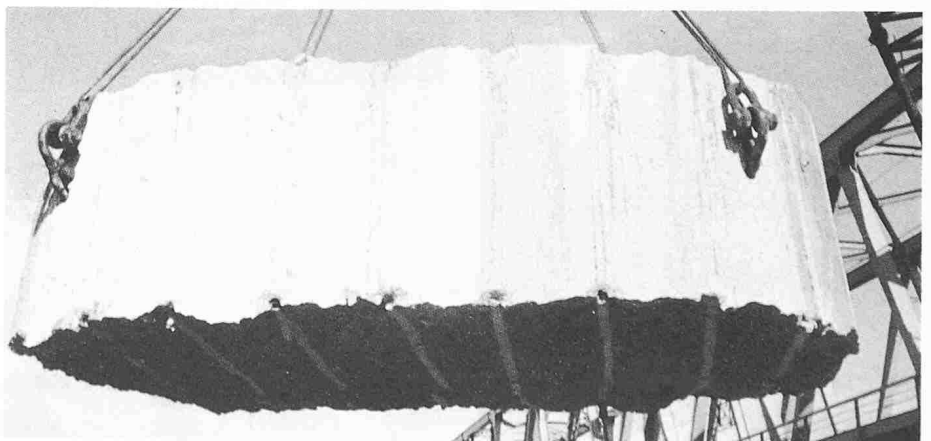


Bild 5c. Pfeilerkopf



ton beträgt der spezifische Verbrauch fast das Doppelte.

Eine anschauliche Übersicht über den spezifischen Verbrauch von Expansionsmörtel bietet Tabelle 2 (veröffentlicht in der Zeitschrift «Der Sprengbefugte» [keine Angaben über den Verfasser]).

Die nach unten begrenzten Fels- oder Betonblöcke (Findlinge, Fundamente usw.) bohrt man bis etwa 75%, Eisenbetonkonstruktionen bis zu etwa 90% der Objekthöhe. Nach einer Faustregel beträgt der Bohrlochabstand bei Fels und bei nichtarmiertem Beton etwa das 10- bis 15fache, bei Eisenbeton etwa das 5- bis 8fache des Bohrlochdurchmessers.

Expansionsmörtel sind hauptsächlich für solche Anwendungen geeignet, bei denen es auf eine absolut erschütterungsfreie Zerstörung ankommt oder aus anderen Gründen jegliche Belästigung der Umgebung bzw. jegliches Risiko unzulässig ist (z. B. innerhalb dichter Überbauung oder sogar im Objektinneren, bei Umbauten aller Art, in Kraftwerken, auch unter Wasser). Die zum Teil anschaulichen Datenblätter der Anbieter enthalten diesbezüglich zahlreiche Bilder.

Man kann aber nicht nur gute technische, sondern auch gute wirtschaftliche Ergebnisse erzielen, wenn ein Objekt blockweise abzutragen ist. Ein besonders instruktives Beispiel mit horizontaler Bohranordnung (Bild 5) ist dem Prospekt eines Herstellers entnommen worden. Der Pfeilerkopf (Masse etwa  $15,5 \text{ m}^3$ ) wurde nach Ausbildung einer relativ ebenen Trennfläche als Ganzes mit Hilfe eines Baggerkranes abtransportiert.

Weniger geeignet – obwohl möglich – ist die Anwendung von Expansionsmörtel für die Auflockerung beim Aushub von Gräben, Schächten, allseitig eingespannten Betonobjekten oder sogar im Stollenbau. In diesen Fällen ist eine einbruchähnliche Bohranordnung wie beim Sprengen vorzubereiten. Zuerst sind die Bohrlöcher in diesem Einbruchbereich zu füllen, dann in einer zweiten, dritten usw. Ladeetappe die Hilfs- und Randlöcher zu laden.

Bild 6 bietet die Möglichkeit, eine spezielle Anwendung bei Blockgewinnung zu beurteilen. Mittels einer besonderen Technologie lässt sich der Rissverlauf noch genauer vorgeben. In dieser Weise kann man auch Beton sehr genau spalten. Wenn ein geeigneter Kran verfügbar ist, mag dieses Verfahren auch wirtschaftlich sein. Der abgespaltene Block lässt sich mit konventionellen Mitteln weiter zerkleinern; auch eine schonende Sprengung wäre dann praktisch erschütterungsfrei.

Beim Abbruch von Eisenbeton von Hand ist es vorteilhaft, den abzubrechenden Konstruktionsteil vorgängig mittels Expansionsmörtel aufzulockern und erst dann abzuspitzen. Der Gesamtaufwand ist etwa gleich demjenigen ohne Auflockerung, die Handarbeit wird aber wesentlich erleichtert.

Ein besonderer Vorteil bei der Verwendung von Expansionsmörtel liegt in den einschränkenden Vorschriften des Sprengstoffgesetzes. Zwar ist in fast allen hier aufgezählten Beispielen die Sprengung billiger, aber für kleinere Arbeiten lohnt sich die Beiziehung eines Sprengbefugten oft nicht. Da die Handhabung und Auswirkung des Ex-

pansionsmörtels risikolos ist, handelt es sich um ein Mittel, das von jedem Praktiker im Bauwesen verwendet werden kann. In manchen Ländern sind Expansionsmörtel deshalb auch in Hobby-Märkten erhältlich.

## Zusammenfassung

Expansionsmörtel sind kein Ersatz für sprengtechnische oder mechanische Zerstörungsmittel, sondern lediglich eine Ergänzung des bestehenden Sortiments für spezielle oder kleinere Einsätze. Allerdings stellt es sich immer mehr als vorteilhaft heraus, verschiedene Verfahren miteinander zu kombinieren. So sind beispielsweise die beim Rippen gängigen Lockerungssprengungen auch bei Felsarbeiten mit Hydraulikhammer üblich. Ähnlich wurde aus dem Ausland über kombinierte Groseinsätze von Sprengstoff und Expansionsmörtel berichtet.

Eine andersartige Kombination wurde im Kanton Aargau angewandt. Ein zwischen zwei Pfeilern einer mehr als hundertjährigen Eisenbahnbrücke eingebetteter dickwandiger Bunker sollte abgebrochen werden. Da die SBB aus begrifflichen Gründen ein möglichst erschütterungsarmes Verfahren verlangten, wurde der Abbruch mit der Auflage ausgeschrieben, Expansionsmörtel zu verwenden.

Mit Expansionsmörtel wurde dann auch ein Entlastungsschlitz in der Bunkermitte aufgelockert. Erst nach dessen Ausbruch wurde die restliche Konstruktion mit einem leichten Hydraulikhammer unter Dauerkontrolle der

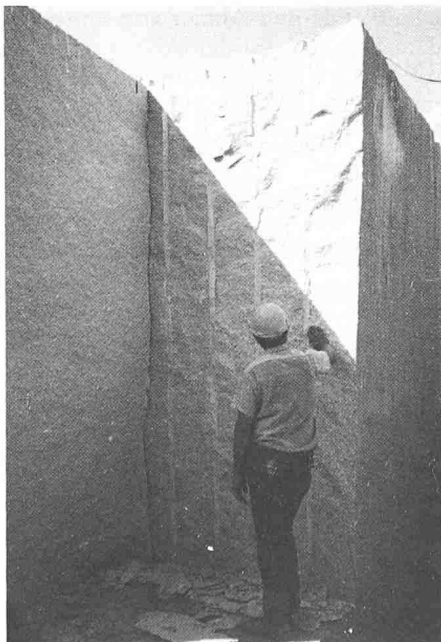


Bild 6a und b. Werksteingewinnung mit Expansionsmörtel

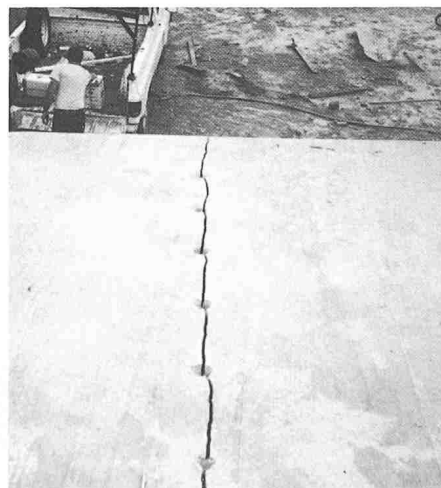
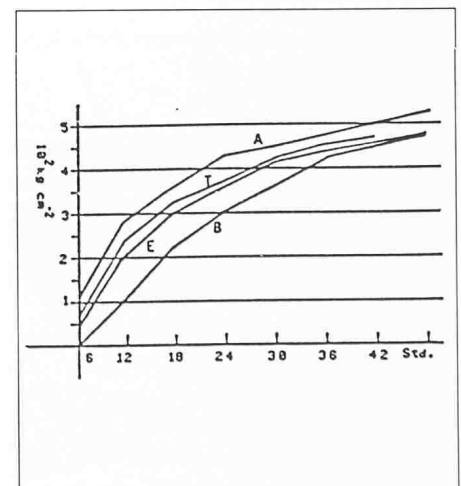


Bild 7. Leistungsvergleich (Expansionsdruck) einiger Produktmarke



dadurch erzeugten Schwingungen zertrümmert. Aus der messtechnischen Dauerüberwachung ergaben sich folgende Feststellungen:

□ Jede Einwirkung des Meissels (8 Schläge pro Sekunde) zeichnete sich mit hohen, sehr schnell abklingenden Spitzwerten (Dauer etwa ein Drittel der Schlagperiode) von hoher Frequenz aus; die folgenden kleineren Schwingungen hatten eine Frequenz von etwa 60 Hz. Am stärksten war jeweils die vertikale Schwingung, gefolgt von der horizontalen Komponente, senkrecht zur Längsachse des Pfeilers.

□ Ein probeweise durchgeführter Betrieb mit Hydraulikhammer in den nicht vorgelockerten Konstruktionsteilen erzeugte periodische Schwingungen von einer viel höheren Intensität, als es die einschlägigen Richtwerte der SN 640 312 «Erschütterungseinwirkungen auf Bauwerke» gestatten. Der Charakter dieser Schwingungen schloss das Auftreten der für diese hohe Brücke gefährlichen Resonanz aus.

□ Nach der Auflösung der Verspan-

nung durch den Ausbruch des Entlastungsschlitzes sank die Intensität der Erschütterungen sprunghaft, und der Rest des Bunkers konnte mit Hilfe eines Hydraulikhammers unter normgerechter dynamischer Belastung der Brückenkonstruktion abgebrochen werden.

□ Diese Abbruchart ist allerdings nur bei Konstruktionen der I. Bauwerksklasse gemäss SN 640 312 für angebaute Objekte anwendbar. Für andere Bauwerksklassen ist es entsprechend zu modifizieren.

Die Anwendung von Expansionsmörtel sollte erwogen werden,

- wenn Erschütterungsemissionen gedämmt werden müssen, vor allem wenn der Entstehung von Stosswellen vorgebeugt werden soll;
- wenn keine geeigneten Baumaschinen verfügbar sind oder der Arbeitsort für diese unzugänglich ist;
- wenn der Abbau oder Abbruch blockweise vorgenommen werden kann;

- um die Arbeit mit Handabbauhämmern aus arbeitshygienischen Gründen zu erleichtern (Erkrankungen der Handgelenke infolge der Vibrationen).

Wenn grössere Anwendungsfälle in Erwägung gezogen werden, ist eine Konsultation von Fachleuten immer empfehlenswert.

In der Schweiz findet man auf dem Markt etwa ein halbes Dutzend europäischer und japanischer Hersteller mit ihren Produkten – der einzige einheimische Hersteller hat unter diesem Konkurrenzdruck bereits aufgegeben. Der kleine Markt und zu viele Anbieter bilden die Ursache für die relativ grosse Preisspanne von etwa 8 bis 18 Fr./kg. Das Bild 7 zeigt die Resultate von Laborvergleichen einiger Produkt-Marken; das Nomogramm beantwortet die seitens der Verbraucher oft gestellte Frage.

Adressen der Verfasser: Milan Dubsky, Kibag Sprengtechnik, Zürich, und Erwin Tschopp, Mineral Chemie AG, Zürich.

## Luftbelastung

### Entwicklung der Emissionen und Immissionen in der Schweiz seit 1950

Von Tiziano Pelli und Yvonne Meier-Bukowiecki, Zürich

Aufgrund von Untersuchungen an Waldbäumen (Analyse der Jahrringe) wurde im Bericht des Eidgenössischen Departementes des Innern (EDI) «Waldsterben und Luftverschmutzung» (September 1984) ausgesagt, dass zum Schutze der Wälder die Luftverschmutzung auf den Stand zwischen 1950 und 1960 zurückgeführt werden müsste. Um Massnahmen zur Reduktion der Luftbelastung auf den Stand dieser Jahre auszuarbeiten und festzulegen, sind Kenntnisse über den damaligen Stand der Luftbelastung Voraussetzung. Im Sommer 1985 hat der Touring Club der Schweiz das Büro BMP, Dr. Pelli + Co., in Zürich beauftragt, anhand einer umfassenden Literaturstudie im In- und Ausland die Luftbelastung der Schweiz durch Kohlenmonoxid (CO), Kohlenwasserstoffe (HC), Stickstoffoxide (NO<sub>x</sub>), Blei (Pb) und Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) für die 50er und 60er Jahre sowie deren Entwicklung bis heute zu erfassen [1].

#### Überblick

Um die Entwicklung der Luftbelastung eines Gebietes zu beschreiben, sollte man über langjährige Messreihen eines ausgedehnten Messnetzes verfügen. Da die Konzentrationen der Luftschadstoffe (Immissionen) im allgemeinen sehr klein sind und zeitlich und räumlich stark variieren, ist die Durchführung kontinuierlicher Messungen nur dank Spitzentechnologie möglich. In der Schweiz wurden ständige Messstatio-

nen daher erst in den 70er Jahren installiert. Unter diesen Umständen ist es nicht möglich, die Entwicklung der Luftbelastung zwischen 1950 und 1984 anhand von kontinuierlichen Immissions-Messreihen zu erfassen. Um trotzdem einen allgemeinen Überblick über die Luftbelastung zu gewinnen, kann man sich mit der Ermittlung der Emissionen behelfen: Die Höhe der Immissionen hängt hauptsächlich von der Intensität der Emissionen, von der Distanz zu den Emissionsquellen und von den Windverhältnissen ab. Die Lang-

zeit-Mittelwerte der Immissionen an einem bestimmten Standort sind in vielen Fällen annähernd direkt proportional zu den mittleren Emissionswerten. Die Emissionen werden geschätzt, indem Verbrauchszahlen (meistens energetische Grössen) mit Anlage- bzw. Fahrzeug-bezogenen Emissionsfaktoren multipliziert werden. Diese Grössen sind in der Schweiz teilweise schon ab 1950 vorhanden und erlauben daher die Durchführung glaubwürdiger Schätzungen. In der Folge werden für jeden betrachteten Schadstoff zuerst die Entwicklung der Emissionen und dann – anhand der zur Verfügung stehenden Messreihen – jene der Immissionen aufgezeigt und kommentiert.

#### Kohlenmonoxid (CO)

Die CO-Emissionen haben sich zwischen 1950 und 1984 insgesamt wenig verändert (vgl. Bild 1). Seit den 60er Jahren ist eine abnehmende Tendenz festzustellen. Die Werte von 1950 werden heute unterschritten. In den 50er Jahren wurden die Gebäude mit Kohle und Holz beheizt. Diese Heizungen waren grosse CO-Emittenten. Die Umstellung auf Erdöl und Gas bewirkte eine starke Abnahme dieser Emissionen, auch wenn der beheizte Raum sich seitdem insgesamt vergrössert hat.

Die Emissionen aus dem Verkehr nahmen dagegen infolge der Verkehrszu-