

Jürgen Lippok

BAUWERKSSPRENGUNGEN

Herausgeber:

Dresdner Sprengschule GmbH



DRESDNER SPRENGSCHULE GmbH

Eurovia Beton GmbH



**EUROVIA
BETON**

TVF Thyssen-VEAG
Flächenrecycling GmbH

TVF

ALTWERT

Jürgen Lippok

BAUWERKSSPRENGUNGEN

Grundlagen • Sprengverfahren • Bemessung

mit 375 Abbildungen, 43 Tabellen und 25 Bemessungstafeln

Ausgabe 2006, 3. vollkommen überarbeitete und erweiterte Ausgabe

Federführender Autor: **Dipl.-Ing. Jürgen Lippok**

Redaktionelle Leitung: **Dipl.-Ing.-Päd. Jörg Rennert**

in Zusammenarbeit mit den Autoren:

Dipl.-Ing. Dagmar Ebeling

Dipl.-Ing.-Päd. Jörg Rennert

Dipl.-Ing. Bärbel Gütig

Dipl.-Ing.-Päd. Gerd Vogel

Dipl.-Ing. Ulrich Jünger

Dipl.-Kfm. Walter Werner

Dr.-Ing. Peter Lichte

Dipl.-Ing. Petra Zahm

Gutachter: **Prof. Dr.-Ing. habil. Karl-Dieter Röbenack**

Autoren

Dipl.-Ing. Dagmar Ebeling	Kap. 1.2
Dipl.-Ing. Bärbel Gütig	Kap. 7.1
Dipl.-Ing. Ulrich Jünger	Kap. 2
Dr.-Ing. Peter Lichte	Kap. 6–6.3.4
Dipl.-Ing. Jürgen Lippok	Kap. 0, 1.1, 2, 3, 6.4–6.6, 7.2, 8.1–8.2.5, 8.3, 8.3.1, 8.3.3–8.3.5, 8.4–8.13
Dipl.-Ing.-Päd. Jörg Rennert	Kap. 0, 1.2, 4, 7.1, 8.3.2
Dipl.-Ing.-Päd. Gerd Vogel	Kap. 5–5.7.4
Dipl.-Kfm. Walter Werner	Kap. 8.2.6
Dipl.-Ing. Petra Zahm	Kap. 1.3

Lektorat: Bärbel Gütig, Dresden; Roswitha Wagener, Berlin

Technische Vorarbeiten: Ingrid Lippok, Teupitz; Roswitha Thiel, Berlin

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek

Die Deutsche Bibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.ddb.de> abrufbar.

Alle Rechte vorbehalten

Text, Tabellen und Abbildungen wurden mit größter Sorgfalt erarbeitet. Verlag und Autoren können jedoch für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen keine Haftung übernehmen. Alle erwähnten Produkt- und Firmennamen sind Marken der jeweiligen Rechteinhaber.

Umschlaggestaltung: M+K Werbeagentur für Marketing und Kommunikation, Dresden
Satz + Layout: Sascha Krenzlin und Maria Erge, Weißensee Verlag, Berlin

© Weißensee Verlag, Berlin 2006
Kreuzbergstraße 30, 10965 Berlin
Tel. 0 30 / 91 20 7-100
www.weissensee-verlag.de
mail@weissensee-verlag.de

Printed in Germany
ISBN 3-89998-080-8

Vorwort

Die Sprengung von Bauwerken übt auf viele Menschen eine Faszination aus. Die Präzision, mit der Gebäude im Rahmen einer Sprengung planmäßig abgebrochen werden, beeindruckt und überrascht die Zuschauer derartiger Ereignisse immer wieder aufs Neue. Nicht selten besitzen diese Vorgänge auch für den Laien etwas Geheimnisvolles.

Der sprengtechnische Abbruch von baulichen und technischen Anlagen ist aber natürlich kein Ergebnis des Zufalls, sondern das Ergebnis der planmäßigen und systematischen Vorbereitung dieser Arbeiten.

Das vorliegende Fachbuch wendet sich in einer bisher nicht verfügbaren Komplexität dieser Aufgabenstellung zu. Ausgehend von dem im Jahre 1973 durch Herrn Wilhelm Jeschek unter Mitwirkung zahlreicher Sprengberechtigten entwickelten Bemessungsverfahren für den sprengtechnischen Abbruch von Bauwerksteilen und Bauwerken (1. Auflage) und anknüpfend an die zweite, unter Federführung von Herrn Jürgen Lippok, überarbeitete Auflage des Fachbuches „Abbruchsprengungen“ entstand das nun vorliegende Werk „Bauwerkssprengungen“.

Unter Federführung von Herrn Jürgen Lippok und der redaktionellen Leitung von Herrn Jörg Rennert wurde der bisherige Inhalt des Fachbuches „Abbruchsprengungen“ zum einen kritisch überarbeitet, zum anderen wurden zahlreiche neue Aspekte in das Buch aufgenommen. Neben dem eigentlichen Bemessungsverfahren für das Sprengen von Bauwerksteilen und Bauwerken findet der interessierte Leser umfangreiche Ausführungen zum Thema Zünden von Bauwerkssprengungen sowie zur Thematik Sicherheitsmaßnahmen bei Bauwerkssprengungen. In diesem Kapitel sind zusätzlich Betrachtungen und Darstellungen im Hinblick auf Prognosen der im Zusammenhang mit der Durchführung von Bauwerkssprengungen ggf. zu erwartenden Auswirkungen in Form von Erschütterungen und Schalldruckwellen enthalten. Darüber hinaus wenden sich Kapitel des vorliegenden Fachbuches Fragen der statischen Vorbereitung derartiger Projekte sowie den zu berücksichtigenden rechtlichen Rahmenbedingungen zu. Somit wird dem Leser ein Werk zur Verfügung gestellt, das eine ganzheitliche Betrachtung des sprengtechnischen Abbruchs von baulichen und technischen Anlagen bzw. deren Teilen ermöglicht. Zum Zielkreis der Interessenten dieses Buches zählen wir neben den Sprengberechtigten und den Sprengunternehmen viele der im Bereich der Bauwirtschaft tätigen Unternehmen, deren Bauleiter und Ingenieure, aber auch Gutachter und Mitarbeiter aus Behörden und Institutionen sowie Vertreter der Auftraggeber von Bauwerkssprengungen. Nicht zuletzt stellt das vorliegende Buch sicherlich auch eine Bereicherung für Lehrende und Studierende der Bau- und Ingenieurwissenschaften dar.

Dem Sprengberechtigten ermöglicht dieses Buch eine umfassende Planung und Vorbereitung der zu realisierenden sprengtechnischen Aufgabe. Das dem Buch zugrunde liegende Bemessungsverfahren in Verbindung mit zahlreichen Abbildungen, Tabellen und Beispielen ermöglicht eine für Auftraggeber, Gutachter, Behörden und Vertreter von Versicherungsunternehmen nachvollziehbare Planung und Realisierung von Bauwerkssprengungen, die in dieser Form einzigartig ist. Aus Sicht der Autoren des Buches trägt dieser

Umstand nicht zuletzt entscheidend zur Vertrauensbildung zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer und somit zum Gelingen der sprengtechnischen Gesamtaufgabe bei.

Die nun vorliegende Komplexität des Fachbuches „Bauwerkssprengungen“ war nur durch die aktive Mitarbeit und Unterstützung der für die einzelnen Kapitel verantwortlich zeichnenden Autoren Dipl.-Ing. Dagmar Ebeling, Dipl.-Ing. Bärbel Gütig, Dipl.-Ing. Ulrich Jünger, Dr.-Ing. Peter Lichte, Dipl.-Ing.-Päd. Jörg Rennert, Dipl.-Ing.-Päd. Gerd Vogel, Dipl.-Kfm. Walter Werner, Dipl.-Ing. Petra Zahm möglich, denen wir an dieser Stelle für ihre überwiegend ehrenamtliche Arbeit ausdrücklich herzlich danken möchten. Unser Dank geht auch an die Praktiker Sprengmeister Jürgen Bartsch, Sprengmeister Uwe Jakob, Ing. Friedhelm Katzorke und Dipl.-Ing. Manfred Kuchler. Ohne ihre fachlichen Hinweise und die Bereitstellung von Archivmaterial und Fotos würden dem Fachbuch wichtige Details fehlen.

Für die wertvollen und konstruktiven Hinweise sowie die gewissenhafte Durchsicht des Fachbuches möchten wir uns bei Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Karl-Dieter Röbenack bedanken.

Ein herzlicher Dank geht darüber hinaus an die Firmen und Institutionen

Bauindustrieverband Berlin-Brandenburg e.V., Hauptgeschäftsstelle Potsdam

Dresdner Sprengschule GmbH

D & S Abbruch & Entsorgung

EUROVIA Beton GmbH

Lothar Rapp GmbH

MIAU GmbH

Orica Germany GmbH

P & Z Prangenberg & Zaum GmbH

PoLAS Katowice

Richard Liesegang GmbH & Co. KG

Sachverständigen- u. Ingenieurbüro Dr. Lichte

Sprengunternehmen Karl-Heinz Bühring

Sondershausen Recycling GmbH

Sprengstoffwerk Gnaschwitz GmbH

Thüringer Spreng GmbH

TVF Thyssen-VEAG Flächenrecycling GmbH,

die durch ihr Engagement und ihre finanzielle Unterstützung die Realisierung dieses Projektes erst ermöglicht haben.

Für die Herausgeber dieses Fachbuches:

Jörg Rennert

Geschäftsführer Dresdner Sprengschule GmbH

Inhaltsverzeichnis

0 Einführung	17
0.1 Geschichtliche Entwicklung der Sprengtechnik.....	17
0.2 Wirkprinzipien.....	23
0.3 Einteilung der Sprengverfahren für bauliche und technische Anlagen.....	24
0.4 Quellenverzeichnis.....	25
1 Grundlagen	27
1.1 Begriffe.....	27
1.1.1 Vorbemerkungen.....	27
1.1.2 Definitionen.....	27
1.2 Gesetzliche Vorschriften, Dokumente, Anzeigen zum Sprengen.....	37
1.2.1 Vorbemerkungen.....	37
1.2.2 Sprengstoffrecht.....	38
1.2.3 Weitere Rechtsgrundlagen.....	46
1.3 Arbeitsschutz.....	52
1.3.1 Vorbemerkungen.....	52
1.3.2 Pflichten des Unternehmers und der Beschäftigten.....	52
1.3.3 Ausgewählte Schwerpunkte des Arbeitsschutzes.....	54
1.4 Quellenverzeichnis.....	59
2 Abbruchstatik	61
2.1 Vorbemerkungen.....	61
2.2 Ausgewählte Begriffe der Statik und Konstruktion.....	62
2.3 Unterschied der Abbruchstatik zur Neubaustatik.....	66
2.4 Inhalt der Abbruchstatik.....	68

2.5	Umwandlung statischer Systeme	69
2.6	Vorschwächung	70
2.7	Zusätzliche Aspekte	72
2.8	Ausblick und weitere Entwicklung	74
2.9	Quellenverzeichnis	74
3	Herstellen der Laderäume	75
3.1	Vorbemerkungen	75
3.2	Bohrverfahren	75
3.3	Einsatzbereiche	80
3.4	Technisch-wirtschaftliche Daten	81
3.5	Quellenverzeichnis	82
4	Sprengstoffe und Sprengschnüre	83
4.1	Aufbau und Einteilung von Sprengstoffen und Sprengschnüren	83
4.2	Anforderungen und Auswahlkriterien für Sprengstoffe und Sprengschnüre bei der Durchführung von Bauwerkssprengungen	85
4.2.1	Vorbemerkungen	85
4.2.2	Einsatz von gelatinösen Sprengstoffen	86
4.2.3	Einsatz von patronierten Emulsionssprengstoffen	87
4.2.4	Einsatz von plastischen Sprengstoffen	88
4.2.5	Einsatz von Schneidladungen	89
4.2.6	Einsatz, Aufbau und Typen von Sprengschnüren	93
4.3	Quellenverzeichnis	95

5	Zündmittel und Zündverfahren	97
5.1	Zündtechnische Grundlagen	97
5.1.1	Zündtechnische Begriffe	97
5.1.2	Gestaltungsprinzipien für Zündfolgen bei Bauwerkssprengungen	100
5.1.3	Aspekte der Züandsicherheit bei Bauwerkssprengungen	102
5.2	Zündverfahren für Bauwerkssprengungen	103
5.2.1	Eigenschaften und Eignung der elektrischen Zündung	104
5.2.2	Eigenschaften und Eignung der nichtelektrischen Zündung	105
5.2.3	Eigenschaften und Eignung der elektronischen Zündung	106
5.2.4	Möglichkeiten der Kombination der Zündarten	108
5.3	Elektrische Zündung bei Bauwerkssprengungen	109
5.3.1	Überblick zu elektrischen Zündmitteln und Zubehör	109
5.3.2	Umgang mit Fremdstrom und Nebenschluss	110
5.3.3	Zündkreise in Parallelschaltung	111
5.3.4	Praktische Durchführung elektrischer Zündungen	119
5.3.5	Beispiel eines Zündplans mit elektrischer Zündung	120
5.3.6	Bedeutung der elektrischen Zündung für Bauwerkssprengungen	127
5.4	Nichtelektrische Zündung bei Bauwerkssprengungen	129
5.4.1	Überblick zu nichtelektrischen Zündmitteln und Zubehör	129
5.4.2	Nichtelektrische Zündanlagen in Zeitstufenverzögerung	131
5.4.3	Praktische Durchführung nichtelektrischer Zündungen in Zeitstufenverzögerung	133
5.4.4	Beispiel eines Zündplans mit Zündschlauchzündung	134
5.4.5	Bedeutung der nichtelektrischen Zündung für Bauwerkssprengungen	143
5.5	Elektronische Zündung bei Bauwerkssprengungen	144
5.5.1	Überblick zu elektronischen Zündmitteln und Zubehör am Beispiel des i-kon-Zündsystems	144
5.5.2	Zündanlagen in elektronischer Zündung mit Möglichkeiten der computer- gestützten Planung am Beispiel des i-kon-Zündsystems	149
5.5.3	Praktische Durchführung elektronischer Zündungen am Beispiel des i-kon-Zündsystems	153
5.5.4	Beispiel eines Zündplans mit elektronischer Zündung	154
5.5.5	Bedeutung der elektronischen Zündung für Bauwerkssprengungen	161
5.6	Zündung unter Verwendung von Sprengschnur	162
5.6.1	Verbindung von Sprengzündern mit Sprengschnur	162
5.6.2	Verbindung der Sprengschnur untereinander	163

5.6.3	Verbindung von Sprengschnur mit Sprengstoff.....	164
5.6.4	Bedeutung der Sprengschnur bei Bauwerkssprengungen.....	165
5.7	Kombinierte Zündung bei Bauwerkssprengungen.....	166
5.7.1	Grundlagen des kombinierten Zündens bei Bauwerkssprengungen.....	166
5.7.2	Elektrisch-nichtelektrische Zündung.....	168
5.7.3	Elektronisch-nichtelektrische Zündung.....	173
5.7.4	Bedeutung der kombinierten Zündung für Bauwerkssprengungen.....	188
5.8	Quellenverzeichnis.....	189
6	Nebenwirkungen, Beweissicherung, Schutz- und Sicherungsmaßnahmen.....	191
6.1	Erschütterungen.....	191
6.1.1	Entstehung und Ausbreitung der Sprengerschütterungen.....	191
6.1.2	Entstehung und Ausbreitung der Aufprallerschütterungen.....	194
6.1.3	Beurteilung der Erschütterungswirkung.....	198
6.1.4	Messung der Erschütterungswirkung.....	201
6.2	Luftdruckwellen, Lärm.....	201
6.2.1	Entstehung und Ausbreitung.....	201
6.2.2	Praxisbeispiele.....	202
6.2.3	Beurteilung der Druckwellen- und Lärmwirkung.....	203
6.2.4	Messung der Druckwellen- und Lärmwirkung.....	204
6.3	Beweissicherung.....	204
6.3.1	Veranlassung und Zielstellung.....	204
6.3.2	Vorbereitung und Durchführung.....	205
6.3.3	Darstellung der Ergebnisse.....	206
6.3.4	Spezielle Untersuchungen.....	206
6.4	Streuflugwirkungen.....	207
6.4.1	Vorbemerkungen.....	207
6.4.2	Streuflug.....	207
6.5	Staub.....	209
6.5.1	Vorbemerkungen.....	209
6.5.2	Vorbeugende Staubbekämpfung.....	210
6.5.3	Staubbekämpfung unmittelbar bei Sprengungen.....	212

6.6	Schutz- und Sicherungsmaßnahmen	216
6.6.1	Vorbemerkungen.....	216
6.6.2	Schutz- und Sicherungsmaterialien.....	218
6.7	Quellenverzeichnis	225
7	Ladungsbemessungsverfahren für Bauwerkssprengungen	227
7.1	Vergleichende Betrachtung über Methoden zur Ermittlung von Lademengen für Abbruch-/Bauwerkssprengungen	227
7.1.1	Vorbemerkungen.....	227
7.1.2	Hausersche Formel.....	227
7.1.3	Erweiterte Hausersche Formel.....	232
7.2	Bemessungsverfahren nach Jeschek/Lippok	237
7.2.1	Vorbemerkung.....	237
7.2.2	Ermittlung der Vorgabe w	238
7.2.3	Ermittlung des Bohrlochabstandes a_B	243
7.2.4	Ermittlung des Bohrlochreihenabstandes a_R	245
7.2.5	Ermittlung der Bohrlochlänge l_B	248
7.2.6	Ermittlung der Lademenge je Bohrloch L_B	253
7.2.7	Ermittlung der Anzahl, Lademenge und Länge der Ladezonen n_{LZ} , L_{LZ} und l_{LZ}	256
7.3	Quellenverzeichnis	260
8	Sprengen von baulichen und technischen Anlagen aus Mauerwerk, Beton, Stahlbeton, Stahl, Verbundkonstruktionen und Holz sowie deren Teilen	261
8.1	Sprengen von Mauerwerkskonstruktionen (ausgenommen Türme) und deren Teilen	263
8.1.1	Vorbemerkungen.....	263
8.1.2	Sprengtechnische Bemessung von Mauerwerkswänden.....	266
	■ <i>Formelzusammenstellungen 1 und 2</i>	
	□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
	□ <i>Bemessungstabeln 1 und 2</i>	
8.1.3	Sprengtechnische Bemessung von Mauerwerksecken.....	282
	■ <i>Formelzusammenstellungen 3 und 4</i>	
	□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
	□ <i>Bemessungstabeln 3 und 4</i>	

8.1.4	Sprengtechnische Bemessung von Mauerwerkspfeilern, -stützen und -säulen.....	300
	■ <i>Formelzusammenstellung 5</i>	
	□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
	□ <i>Bemessungstafel 5</i>	
8.1.5	Sprengtechnische Bemessung von Innenschornsteinen.....	319
8.2	Sprengen von Stahlbetonkonstruktionen und deren Teilen einschließlich freistehenden und einseitig freistehenden Wänden mit horizontalen Bohrlöchern..	321
8.2.1	Vorbemerkungen.....	321
8.2.2	Sprengtechnische Bemessung von freistehenden und einseitig freistehenden Wänden aus Mauerwerk, Beton und Stahlbeton mit horizontalen Bohrlöchern.....	334
	■ <i>Formelzusammenstellungen 6 bis 9</i>	
	□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
	□ <i>Bemessungstafeln 6 bis 9</i>	
8.2.3	Sprengtechnische Bemessung von freistehenden, einseitig freistehenden und im Zwang stehenden Wänden und Fundamenten aus Beton und Stahlbeton $s_s \leq 3 \cdot w_{zul}$ mit vertikalen Bohrlöchern.....	359
	■ <i>Formelzusammenstellungen 10 und 11</i>	
	□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
	□ <i>Bemessungstafeln 10 und 11</i>	
8.2.4	Sprengen von Stahlbetondecken mit vertikalen Bohrlöchern.....	398
8.2.5	Sprengtechnische Bemessung von Stahlbetonbalken, -stützen, -unterzügen mit vertikalen oder horizontalen Bohrlöchern.....	400
	■ <i>Formelzusammenstellung 12</i>	
	□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
	□ <i>Bemessungstafel 12</i>	
8.2.6	Sprengen mit Sprengschnur.....	422
8.3	Sprengen von Stahlkonstruktionen.....	430
8.3.1	Vorbemerkungen.....	430
8.3.2	Sprengen mit Schneidladungen.....	432
8.3.3	Sprengen mit Abscherladungen.....	447
	■ <i>Formelzusammenstellung 13</i>	
	□ <i>Bemessungsbeispiel</i>	
	□ <i>Bemessungstafel 13</i>	
8.3.4	Sprengen von Stahlseilen und Stahlketten.....	455
8.3.5	Sprengen von Gusseisenelementen.....	459
	■ <i>Formelzusammenstellung 14</i>	
	□ <i>Bemessungstafel 14</i>	
8.4	Sprengen von Misch- und Verbundkonstruktionen (Industriebauwerke).....	462

8.5 Sprengen von Massenfundamenten aus Mauerwerk und Beton ($s_p > 0,40$ m; $s_s > 2,00$ m) sowie Stahlbeton ($s_p > 0,40$ m; $s_s > 1,00$ m) mit vertikalen Bohrlöchern.....	464
8.5.1 Vorbemerkungen.....	464
8.5.2 Sprengtechnische Bemessung von Massenfundamenten aus Mauerwerk und Beton ($s_p > 0,40$ m; $s_s > 2,00$ m), sowie Stahlbeton ($s_p > 0,40$ m; $s_s > 1,00$ m) mit vertikalen Bohrlöchern.....	467
■ <i>Formelzusammenstellungen 15 und 16</i>	
□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
□ <i>Bemessungstabeln 15 und 16</i>	
8.6 Vollraumsprengungen.....	489
8.6.1 Vorbemerkungen.....	489
8.6.2 Wirkprinzip.....	490
8.6.3 Ladungsbemessung und Ladungsanordnung für Mauerwerks-, Beton- und Stahlbetonkonstruktionen.....	491
8.6.4 Ladungsbemessung und Ladungsanordnung für Vollraumsprengungen von Stahlkonstruktionen.....	492
8.7 Sprengen von Brückenkonstruktionen aus Stahlbeton und Stahl.....	497
8.7.1 Vorbemerkungen.....	497
8.7.2 Planung und Vorbereitung.....	500
8.7.3 Ladungsbemessung und Ladungsanordnung für Massivbauwerke.....	501
8.7.4 Ladungsbemessung und Ladungsanordnung von Stahlbrücken.....	502
8.8 Sprengen von Schornsteinen.....	504
8.8.1 Vorbemerkungen.....	504
8.8.2 Sprengfalten von Schornsteinen.....	517
8.8.3 Sprengen mit Stahlkippgelenken.....	521
8.8.4 Sprengtechnische Bemessung von Schornsteinen.....	525
■ <i>Formelzusammenstellungen 17 bis 20</i>	
□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
□ <i>Bemessungstabeln 17 bis 20</i>	
8.9 Sprengen von turmartigen Bauwerken.....	565
8.9.1 Vorbemerkungen.....	565
8.9.2 Sprengtechnische Bemessung von turmartigen Bauwerken.....	571
■ <i>Formelzusammenstellungen 21 und 22</i>	
□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
□ <i>Bemessungstabeln 21 und 22</i>	
8.9.3 Praxisbeispiele.....	589

8.10 Sprengen von Gewölbekonstruktionen	598
8.10.1 Vorbemerkungen.....	598
8.10.2 Sprengtechnische Bemessung von Gewölbekonstruktionen	602
■ <i>Formelzusammenstellungen 23 und 24</i>	
□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
□ <i>Bemessungstafeln 23 und 24</i>	
8.11 Sprengen von Holzkonstruktionen	630
8.11.1 Vorbemerkungen.....	630
8.11.2 Sprengtechnische Bemessungen von Holzkonstruktionen.....	631
■ <i>Formelzusammenstellung 25</i>	
□ <i>Bemessungsbeispiele</i>	
□ <i>Bemessungstafel 25</i>	
8.12 Unterwasserkonstruktionen	638
8.12.1 Vorbemerkungen.....	638
8.12.2 Herstellen der Laderäume.....	639
8.12.3 Ladungsbemessung und Ladungsanordnung.....	640
■ <i>Formelzusammenstellung 26</i>	
8.12.4 Sicherheitsmaßnahmen.....	645
8.13 Bauwerkssprengungen unter besonderen Bedingungen	648
8.14 Quellenverzeichnis	652
9 Anhang	655
9.1 Checkliste für ggf. erforderliche Dokumente	655
9.1.1 Dokumente zur Vorlage.....	655
9.1.2 Anzeigen – Erfordernisse.....	655
9.2 Checkliste Beförderung kleiner Mengen im Fahrzeug	656
9.3 Berechnung der explosionsgefährlichen Stoffe im Rahmen der Beförderung „kleiner Mengen“ nach GGVS/E	657
9.4 Checkliste Sprengplanung und -durchführung	658
9.5 Checkliste für Abbruchsprengungen	664
9.6 Checkliste Schadensrisiken bei Abbruchsprengungen	666
9.7 Mitteilung an die Behörde	667

9.8	Beispielhafte Darstellung über spezielles Verhalten und Maßnahmen (Evakuierung) der Polizeibehörde bei der Durchführung einer Bauwerkssprengung.....	668
9.9	Beispielhafte Darstellung für eine öffentliche Bekanntmachung im Rahmen einer Bauwerkssprengung.....	670
10	Ergänzende Literatur	673
10.1	Gesetze und Verordnungen.....	673
10.2	Technische Regeln für Gefahrstoffe.....	676
10.3	Berufsgenossenschaftliche Vorschriften und Regelwerke (BGVR).....	677
11	Verzeichnisse und Nachweise	679
11.1	Zeichenerklärung.....	679
11.1.1	Abkürzungen für Sprengstoffe.....	679
11.1.2	Formelzeichen für die Berechnung von Zündanlagen.....	679
11.1.3	Formelzeichen für die sprengtechnische Bemessung.....	680
11.2	Abbildungsverzeichnis.....	682
11.3	Tabellenverzeichnis.....	695
11.4	Verzeichnis der Formelzusammenstellungen.....	697
11.5	Verzeichnis der Bemessungstafeln.....	699
12	Fotonachweis	701
13	Stichwortverzeichnis	703
14	CD-Inhalt	707
▶	Checklisten für die Beförderung von Explosivstoffen	
▶	Checklisten für die Sprengvorbereitung	
▶	Formulare und Musterdokumente aus Sicht des Sprengstoffrechts	
▶	Formelzusammenstellungen und Bemessungstafeln	
▶	Hilfestellung für den Einsatz der elektrischen Zündung	

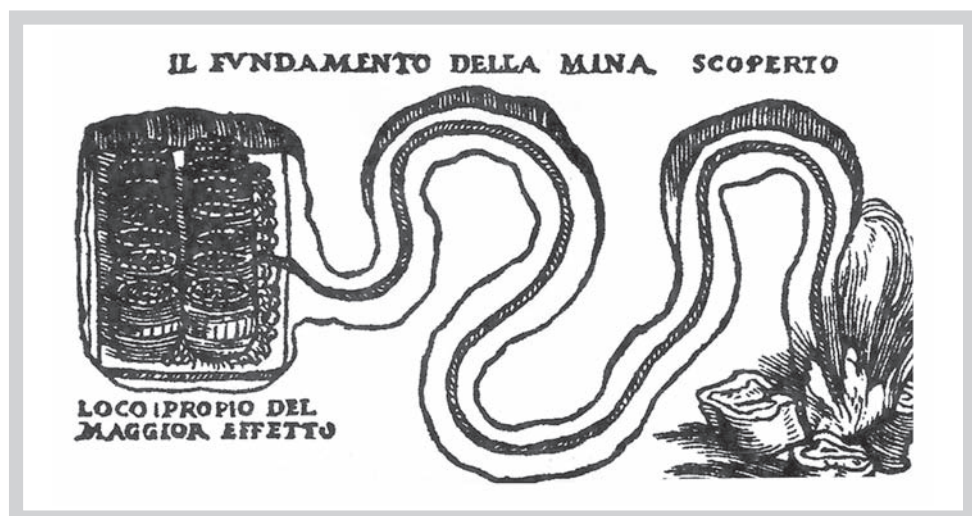
0 Einführung

0.1 Historische Entwicklung der Sprengtechnik

Der Lebenszyklus von Bauwerken endet durch Verfall, planmäßigen Abbruch und Zerstörung, beispielsweise durch Naturgewalten oder Krieg. Wie auf vielen Gebieten der Naturwissenschaften und Technik hat das Militärwesen die Entwicklung auch beim „Beseitigen von Bausubstanz“ stark mitgeprägt. Im Altertum und frühen Mittelalter herrschten mechanische und thermische Zerstörungsverfahren vor, wie folgende Beispiele zeigen:

- ▶ Erste Darstellungen des antiken Feuerwerkswesens von künstlich zusammengesetzten Brandsätzen (Kriegsfeuer) finden sich bei Ainaias, genannt der Taktiker, im Jahre 360 v. Chr.
- ▶ Sogenannte „Griechische Feuer“ (Hohlkörper) wurden mit einem Gemisch aus Schwefel, Pech und verschiedenen Harzen oder anderen Mischungen gefüllt und mit Wurfmaschinen oder anderen Geräten in die Anlagen oder auch Schiffe geschleudert, die daraufhin in Brand gesetzt wurden.
- ▶ Mauerbrecher oder Widder mittels ca. 30 m langer, vorn mit Eisen beschlagener Baumstämme dienten der Zerstörung.

Die Verwendung von Sprengminen ist im Jahre 1415 (▶ Abb. 0.1), Belagerung von Harfleur durch die Engländer, und im Jahre 1529, Belagerung von Wien durch die Türken, besonders bekannt geworden.



▶ **Abb. 0.1:** Sprengminendarstellung aus dem 15. Jahrhundert [1]

- ▶ Die Anwendung von Bohrlochladungen (Zündwürste) zur Zerstörung von Stützpfehlern aus Holz wurde erstmalig von dem Italiener Francesco um 1500 erwähnt [1].
- ▶ Eine Minentheorie [2] (Bemessung von Sprengladungen) wurde Anfang des 19. Jahrhunderts durch den Franzosen Belidor (1698 – 1761) zur planmäßigen Verwendung von Minen, u. a. zur planmäßigen Zerstörung von Bauwerken jeglicher Art – vor allen Dingen Festungen – entwickelt.
- ▶ Die Zerstörung von Nachschubwegen und Kommunikationslinien, wie Brücken, Tunnel und Viadukte, mittels des Einsatzes der Sprengtechnik erlangte insbesondere in den Kriegen der 2. Hälfte des 19. Jahrhunderts an Bedeutung.

Die Wurzeln der Sprengtechnik sind eng mit der Erfindung des Schießpulvers, der Zündtechnik und der späteren Entdeckung der brisanten Gesteinssprengstoffe verbunden.

- ▶ Die Erfindung des Schießpulvers (Schwarzpulver) wird dem heutigen China zugeordnet und dessen Wiederentdeckung in Europa mit Robert Bacon (1280), Albertus Magnus und Bertholdus Niger (Berthold Schwarz) in Verbindung gebracht.
- ▶ Die Entdeckung des Knallquecksilbers im Jahre 1799 durch den englischen Chemiker Howard war für die spätere Zünderentwicklung von großer Bedeutung.
- ▶ 1846 entdeckte der deutsche Chemiker Schönbein die Nitrocellulosewolle (Schießbaumwolle), die sowohl für die Entwicklung von brisanten Gesteinssprengstoffen als auch für die Verwendung im militärischen Bereich große Bedeutung erlangte.
- ▶ Der Italiener Sobrero entdeckte 1847 das Nitroglycerin, den ersten brisanten Gesteinssprengstoff.
- ▶ Nachdem 1864 durch Alfred Nobel der erste sprengkräftige Zünder entwickelt wurde, entdeckte dieser 1867 das Gur-Dynamit, den ersten handhabungssicheren brisanten Gesteinssprengstoff.
- ▶ In den folgenden Jahren gelang es Alfred Nobel, das Gur-Dynamit über die 1875 erfundene Sprenggelatine (Nitrocellulosewolle wird in erwärmtem Nitroglycerin gelöst) im Jahre 1879 zum gelatinösen Ammonsalpeter-Sprengstoff (Sprenggelatine und Ammoniumnitrat) weiterzuentwickeln. Diese Art von Sprengstoffen wird bis zum heutigen Tag hauptsächlich zum Sprengen von Bauwerken und Bauwerksteilen eingesetzt.
- ▶ Die im Jahre 1905 erfundene elektrische Zündpille und der im Jahre 1922 entwickelte erste Zeitzünder stellten ebenfalls Meilensteine in der Entwicklung der Sprengtechnik dar.
- ▶ Nach 1945 wurden die pulverförmigen Ammonsalpeter-Sprengstoffe entwickelt, die heute als ANFO (**A**mmonium**n**itrate und **F**uel **O**il) bezeichnet, im Bereich der Sprengung von Bauwerken und Bauwerksteilen aber keine Rolle spielen (▶ Kap. 4).



► Abb. 0.2: Spandauer Straße in Berlin nach der Explosion des Pulverturms im Jahr 1720

- In den 70er- und 80er-Jahren des 20. Jahrhunderts erfolgte die Entwicklung von wasserhaltigen Sprengstoffen zunächst in Form von Slurry-Sprengstoffen (Sprengschlamm-Suspension aus Ammoniumnitrat und Aluminiumpulver) und später Emulsionssprengstoffen (Wasser in Öl-Emulsion von feindispersen Tröpfchen einer Ammoniumnitratlösung in einer ölartigen Brennstoffphase). Diese Sprengstoffe erlangen mit ihrer weiteren Entwicklung (Absenkung des Wassergehaltes) zunehmend an Bedeutung, auch im Bereich der Sprengung von Bauwerken und Bauwerksteilen.
- Neben den in den 60er- und 70er-Jahren des 20. Jahrhunderts erstmals entwickelten nichtelektrischen Zündsystemen stehen seit Mitte der 90er-Jahre des 20. Jahrhunderts auch elektronische Zündsysteme für die Realisierung von Sprengaufgaben zur Verfügung (► Kap. 5).
- Nicht nur die beabsichtigte Anwendung von Schwarzpulver und Sprengstoffen, sondern auch die durch sie hervorgerufenen Unglücksfälle haben die Entwicklung dieser und der Sprengtechnik maßgeblich geprägt. Einige historische Fakten seien hier genannt:
 - größere Mengen Pulver zerstörten 1360 das Lübecker Rathaus,
 - im August 1459 explodierten in Ragusa 2.500 Maß Pulver (diese Menge entspricht in etwa 2500–3000 kg Pulver) [3],
 - Explosion des Pulverturms in der Spandauer Straße in Berlin im Jahre 1720 (► Abb. 0.2),
 - Explosion von Ammoniumnitrat (Düngemittel) im Jahre 1921 im Bayerwerk Oppau.



► **Abb. 0.3:** Dresden, die Sprengung der Augustusbrücke (7. Bogen)

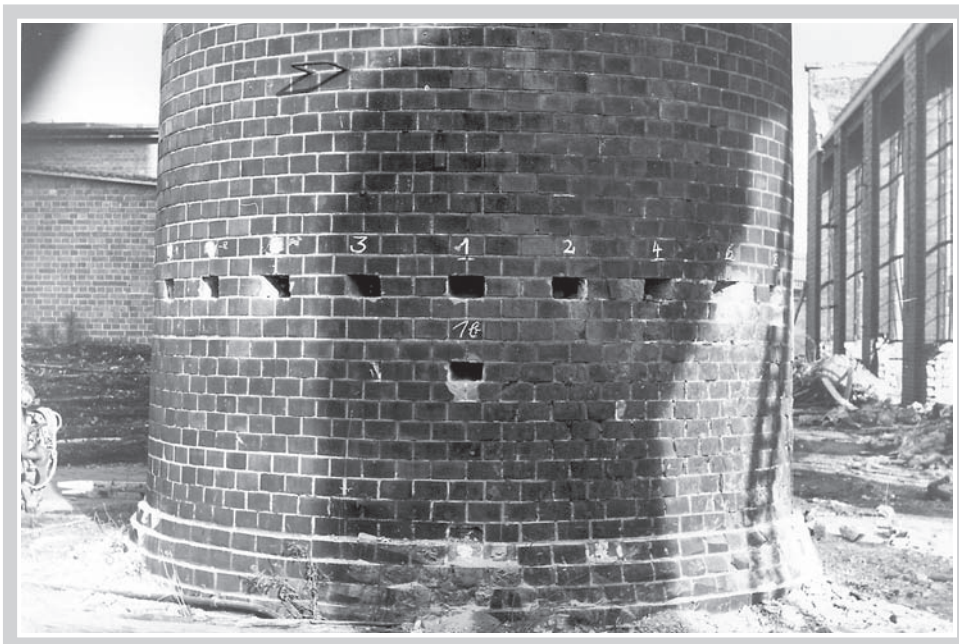
Die aus den zahlreichen Unglücken abgeleiteten Schlussfolgerungen führten in Verbindung mit der schon erwähnten Minentheorie zur Entwicklung der ersten Theorien zur Ladungsbemessung.

Die Entwicklung von Formeln zur Berechnung von Sprengladungen geht auf die ersten planmäßigen Versuche 1686 durch Mesgrignys in Tournay zurück. Dort heißt es: „Als eines der bemerkenswertesten Ergebnisse dieser Versuche kann die auch heute noch übliche Regel gelten, wonach zur Erzeugung ähnlicher Minen die Ladung nach dem Kubus der kürzesten Widerstandslinie zu berechnen ist ...“ [4]. Weitere Entwicklungen und Versuche für eine einheitliche Ladungsbemessung wurden durch Belidor (1729), Oberstleutnant John Müller, Movzé (1804), General Marescot (1801), Lebrun (1812) und vom Ingenieurhauptmann Georg Freiherr von Hauser (1839) durchgeführt. Letzterer hat eine Formel aufgestellt, die Grundlage für die Ladungsbemessungen in der gewerblichen Sprengtechnik neben der Chalon'schen Formel bis heute bildet.

Diese Formeln fanden nicht zuletzt in dem am 11.02.1908 mit Hilfe von 250 Dynamitpatronen gesprengten siebenten Bogen der altherwürdigen Augustusbrücke in Dresden ihren Ausdruck (► Abb. 0.3). Hervorzuheben ist an dieser Stelle, dass die Auslösung der Sprengung mit Hilfe eines elektrischen Zünders und in Gegenwart von König August von Sachsen stattfand. „Der Druck eines Pioniers auf den elektrischen Zünder genügte, um die stolze Wölbung, welche die Baumeister früherer Jahrhunderte für die Ewigkeit gebaut hatten, in Trümmern in die Elbe stürzen zu lassen.“



► **Abb. 0.4:** Herausstemmen von Ladekammern für die Sprengung eines Mauerwerkschornsteins



► **Abb. 0.5:** Fertige Anlage der Ladekammern

Die gewerbliche Sprengtechnik hat sich auf allen Gebieten, also auch auf dem Gebiet der Sprengung von baulichen und technischen Anlagen, weiterentwickelt und neue Felder erschlossen. Ausgehend von den 1950er- bis hinein in die 1990er-Jahre sind große Fortschritte erzielt worden. Dies sind u. a.

- ▶ Entwicklung neuer Sprengverfahren für die Sprengung von Schornsteinen auf engstem Raum (z. B. Sprengfalten und die Verwendung von Stahlkippgelenken),
- ▶ Entwicklung und Einsatz von leistungsfähigen und flexiblen Bohrmaschinen, dadurch Reduzierung der schweren körperlichen Arbeit für die Herstellung von Ladekammern (▶ Abb. 0.4 und Abb. 0.5) bzw. Verringerung der manuellen Bohrarbeiten,
- ▶ Minimierung der Lademengen infolge besserer Kenntnisse der baulichen und technischen Anlagen in Verbindung mit der Baustatik (Abbruchstatik),
- ▶ Verbesserung und Entwicklung neuer Schutz- und Sicherungsmaßnahmen,
- ▶ Entwicklung neuer Verfahren und Messmethoden zur Messung von Erschütterung, Staub und Lärm mit dem Ziel der besseren Einschätzung der Anwendung von Sprengarbeiten,
- ▶ Anwendung von Verfahren aus dem militärischen Bereich zur Sprengung von Stahlkonstruktionen (z. B. Schneidladungen).
- ▶ Wiederentdeckung und Weiterentwicklung alter Verfahren (z. B. Vollraumsprengungen),

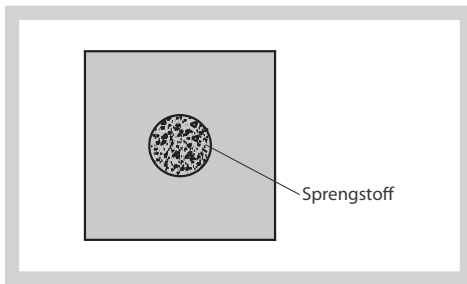
Es sei an dieser Stelle darauf hingewiesen, dass durch die Veränderungen der Infrastruktur in den Innenstädten, den Aufbau hoch technisierter Industrieanlagen sowie die Entwicklung und den Bau leistungsfähiger Abbruchmaschinen mit großen Reichweiten und speziellen – schnell auswechselbaren – Anbaugeräten die Anwendung der Sprengtechnik beim Abbruch von Bauwerken jeglicher Art in den letzten Jahren zurückgegangen ist. Die Sprengtechnik stellt aber auch heute, nicht zuletzt aufgrund der technischen Entwicklungen der letzten Jahre, ein wirtschaftlich effizientes und sicheres Verfahren zum Abbruch von baulichen und technischen Anlagen sowie deren Teilen dar, das nicht selten mechanischen Verfahren überlegen ist. Neue Wege eröffnen sich durch die Verfahrenskombinationen zwischen Sprengverfahren und maschinellem Abbruch. Die Vorzüge liegen in:

- ▶ geringerem Einsatz von Sprengstoff,
- ▶ weniger Erschütterungen,
- ▶ einfachere und zügigere Nachzerkleinerung.

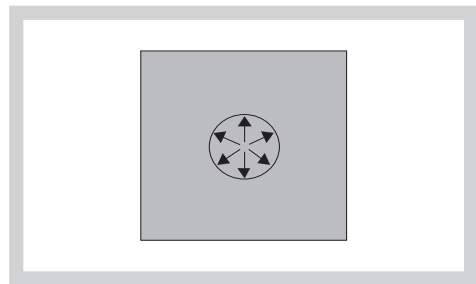
0.2 Wirkprinzipien

Es gibt eine Vielzahl unterschiedlicher Sprengverfahren. Das ihnen zugrunde liegende Wirkprinzip sei an einem sehr vereinfachten Modell erläutert, wobei Zahlenangaben nur zur Groborientierung dienen:

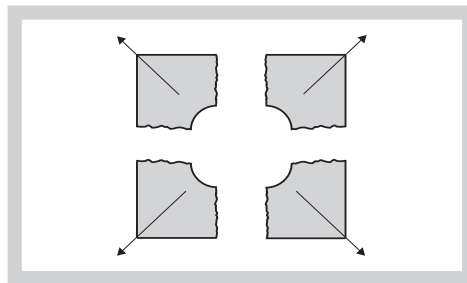
In der Regel nehmen Bohrlöcher im zu sprengenden Baukörper den erforderlichen Sprengstoff auf (► Abb. 0.6). Ausnahmen stellen hier nur aufgelegte Ladungen und Schneidladungen dar (► Abschn. 8.3.2 und Kap. 8.6). Die heute eingesetzten Sprengstoffe sind einheitliche chemische Verbindungen oder Stoffgemische, die verbrennbare Bestandteile (Reduktionsmittel) z. B. in Form von Kohlenstoff und Sauerstoff (Oxidationsmittel) enthalten.



► **Abb. 0.6:** Mit Sprengstoff geladenes Sprengbohrloch



► **Abb. 0.7:** Erste Phase der detonativen Umsetzung



► **Abb. 0.8:** Zerstörung des Bauwerksteils

Für die Auslösung der für Sprengstoffe typischen detonativen Umsetzung ist der Einsatz von geeigneten Zündmitteln erforderlich (Sprengkapsel der Stärke Nr. 8, ► auch Kap. 5). Der durch die Sprengkapsel zugeführte Initialimpuls (Stoßwelle) führt zum Einleiten der detonativen Umsetzung des Sprengstoffs (► Abb. 0.7). Die detonative Umsetzung von Sprengstoffen lässt sich wie folgt charakterisieren:

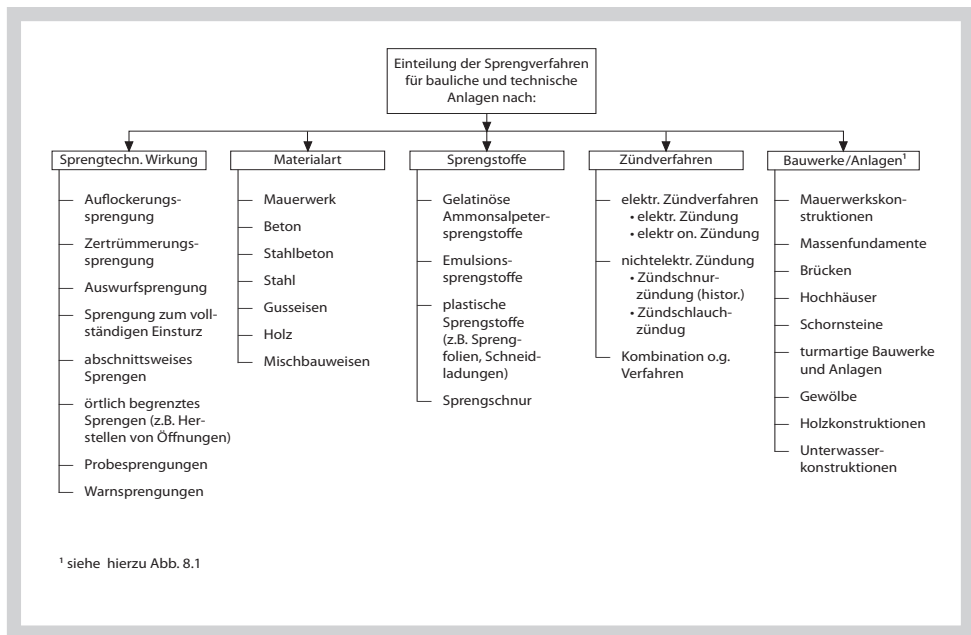
- Die Reaktionsgeschwindigkeit V_R beträgt 3.000 m/s bis 9.000 m/s.
- Der Detonationsdruck liegt im Bereich von 10^4 MPa = 10^5 kp/cm².

- ▶ Die Temperatur der gebildeten Gase (Schwaden) liegt bei 2.000 °C – 5.000 °C.
- ▶ Das von 1 kg Sprengstoff gebildete Gasvolumen beträgt bei Normalbedingungen 800–1.000 l.
- ▶ Es handelt sich um eine Stoßwellenreaktion, die mit einer zertrümmernden Wirkung (hervorgerufen durch die Stoßwelle) und einer Schwadendruckwirkung (bedingt durch die Bildung der Schwaden infolge der Umsetzung des Sprengstoffs), der Stoßwelle zeitlich versetzt in gleicher Richtung folgt.

Die vorausseilende Stoßwelle ist für die Erzeugung der Risse im zu sprengenden Objekt verantwortlich, während die folgenden Schwaden die Risse erweitern und so zur Zerstörung des Objektes führen (▶ Abb. 0.8).

0.3 Einteilung der Sprengverfahren für bauliche und technische Anlagen

Eine Einteilung ist unter verschiedenen Aspekten möglich und wird in den Abb. 0.9 und 8.1 veranschaulicht.



▶ **Abb. 0.9:** Einteilung der Sprengverfahren nach verschiedenen Aspekten

Die generelle Übersicht der Sprengverfahren nach Abb. 0.9 wird erweitert durch die Darstellung spezieller Sprengungen von baulichen und technischen Anlagen aus unterschiedlichsten Materialien in der Abb. 8.1. des Kap. 8.

0.4 Quellenverzeichnis

- [1] von Romocki, S. J.: Geschichte der Explosivstoffe Band 1, Sprengstoffchemie, Sprengtechnik und Torpedowesen, Erscheinungsjahr 1895, Reprint Survival Press 2003, S. 241–253
- [2] Zschokke, B.: Handbuch der militärischen Sprengtechnik, Verlag von Veit & Comp. Leipzig, 1911, S. 123–127
- [3] von Romocki, S. J.: Geschichte der Explosivstoffe Band 1, a. a. O., S. 242
- [4] Zschokke, B.: Handbuch der militärischen Sprengtechnik, a. a. O., S. 129