



W. Bartknecht

Explosionen

Ablauf und Schutzmaßnahmen

Mit 259, zum Teil farbigen Abbildungen
und 34 Tabellen

Mit einem Vorwort von Heinz Brauer

Springer-Verlag
Berlin Heidelberg GmbH 1978

Dr. Wolfgang Bartknecht
c/o CIBA-GEIGY AG, Zentraler Sicherheitsdienst, CH-4002 Basel

ISBN 978-3-662-07160-1 ISBN 978-3-662-07159-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-07159-5

Library of Congress Cataloging in Publication Data. Bartknecht, Wolfgang. Explosionen. Includes bibliographical references and index. I. Explosions. I. Title. QD516.B36 660.2'804 78-2461

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Funksendung, der Wiedergabe auf photomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten.

Bei der Vervielfältigung für gewerbliche Zwecke ist gemäß § 54 UrhG eine Vergütung an den Verlag zu zahlen, deren Höhe mit dem Verlag zu vereinbaren ist.

© by Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1978

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1978

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1978

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Umschlagentwurf: W. Eisenschink, Heidelberg

2152/3140-5 4 3 2 1 0

Vorwort

Die durch Explosionen hervorgerufenen Gefahren für Menschen und Sachgüter können kaum überschätzt werden. Diese Gefahren sind um so größer, als die zu Explosionen neigenden Stäube und Gasgemische im allgemeinen keinerlei Gefahr signalisieren. Es gibt jedoch einen staubförmigen Stoff, dessen Name bereits die von ihm ausgehende Gefahr signalisiert. Dieser Stoff ist das Schießpulver. Wer hiermit zu tun hat, ist sich der Gefahr bewußt, in welcher er sich befindet. Er weiß aber auch, daß er selbst es ist, der die Explosion auslösen, und daß er somit die Gefahr unter Kontrolle halten und bannen kann. Insofern ist Schießpulver zu einem der harmloseren staubförmigen Stoffe geworden.

Gefahr signalisierende Namen und Informationen schaffen Gefahrenbewußtsein beim Menschen als notwendige Voraussetzung für die Einleitung von Maßnahmen zu seinem eigenen Schutz und dem von Sachgütern.

Schießpulver ist nur einer von fast zahllosen staubförmigen Stoffen, für die Explosionsgefahr besteht. Die technische Entwicklung führt zur Herstellung einer stetig wachsenden Zahl von staubförmigen Feststoffen. Nur in dieser Form können bedeutsame Eigenschaften der Feststoffe vom Menschen genutzt werden. Nur in Staubform ist das Mehl für Ernährungszwecke und Zement für Bauzwecke brauchbar. Ohne die staubförmigen Vorprodukte könnte es keine tablettenförmigen Pharmazeutika geben. Dieses sind nur wenige Beispiele für staubförmige Produkte, die für den Menschen von lebenswichtiger, von lebenserhaltender Bedeutung sind. Die Zahl der Beispiele ließe sich beliebig vermehren.

Staubförmige Produkte müssen daher in großer Zahl, aber auch in großer Masse, hergestellt, transportiert und gelagert werden. Die Handhabung der Stäube unterliegt einem wichtigen Grundsatz der Staubtechnologie:

Staub erzeugt feineren Staub.

Je feiner der Staub, desto größer die Explosionsgefahr.

Staub erweist sich als eine besonders gefährliche Erscheinungsform der festen Stoffe. Nicht minder groß sind die Gefahren, die von gasförmigen Gemischen ausgehen. Diese Gefahren zu beschreiben und zu bannen, hat sich der Autor dieses Buches zur Lebensaufgabe gemacht.

VI Vorwort

Das Buch gliedert sich in drei Hauptkapitel, in denen die Voraussetzungen und der Ablauf von Explosionen sowie die Schutzmaßnahmen gegen das Entstehen und gegen die Auswirkungen von Explosionen beschrieben werden. Es spannt den Bogen von wissenschaftlichen Erkenntnissen zu technischen Konsequenzen. Aus umfassendem Wissen wurde hier ein Buch geschrieben, das ein für die Weiterentwicklung der Technik besonders wichtiges Gebiet in verständlicher Form darstellt und die praktische Nutzenanwendung erleichtert und somit auch beschleunigt.

Mit diesem Buch wird nicht nur eine Lücke im technischen Schrifttum geschlossen. Es trägt primär dazu bei, Gemische aus staub- und gasförmigen Stoffen technisch sicherer handhaben zu können. Die Technik kann durch dieses Buch noch etwas sicherer und dem Menschen kann noch mehr Schutz geboten werden. Den Technischen Universitäten wird mit diesem Buch der Hinweis gegeben, daß ein wesentlicher Bereich der Sicherheitstechnik in den Zustand der Lehrbarkeit gelangt ist.

Heinz Brauer

o. Professor für Verfahrenstechnik
Technische Universität Berlin

Inhaltsverzeichnis

Teil I Explosionsablauf

<i>1</i>	<i>Einleitung</i>	3
<i>2</i>	<i>Explosionen in geschlossenen Behältern</i>	5
2.1	Brenngase	5
2.1.1	Explosionsgrenzen	5
2.1.2	Explosionsdruck – Explosionsheftigkeit	8
	Brenngas (Dampf-)/Luft-Gemische	8
	Brenngas/Sauerstoff-Gemische	24
	Chlor/Wasserstoff-Gemische	26
2.2	Brennbare Stäube	28
2.2.1	Ablauf in Großbehältern	28
2.2.2	Laborapparaturen	40
2.3	Hybride Gemische	49
2.4	Folgerungen	56
<i>3</i>	<i>Explosionen – Detonationen in Rohrstrecken</i>	58
3.1	Vorbemerkung	58
3.2	Brenngase	59
3.3	Brennbare Stäube	68
3.4	Folgerungen	72
<i>4</i>	<i>Literaturhinweise</i>	73

Teil II Schutzmaßnahmen gegen das Entstehen von Explosionen und gegen Explosionsauswirkungen

<i>1</i>	<i>Vorbemerkungen</i>	77
<i>2</i>	<i>Sicherheitsmaßnahmen gegen das Entstehen von Explosionen</i>	79
2.1	Inertisierung	79
2.1.1	Vorbemerkung	79
2.1.2	Brenngase	79
2.1.3	Brennbare Stäube	85
2.1.4	Folgerungen	88

VIII Inhaltsverzeichnis

3	<i>Sicherheitsmaßnahmen gegen die Auswirkungen von Explosionen in Behältern und Räumen</i>	89
3.1	Vorbemerkung	89
3.2	Explosionsfeste Bauweise	89
3.2.1	Druckbehälter	89
3.2.2	Der druckstoßfeste Behälter	89
3.2.3	Folgerungen	91
3.3	Explosionsdruckentlastung	91
3.3.1	Vorbemerkung	91
3.3.2	Beschreibung der Druckentlastung	92
	Druckentlastung von Behältern	92
	Druckentlastung von Räumen	93
3.3.3	Ausführung und Eigenschaften von Druckentlastungseinrichtungen	94
	Vorbemerkung	94
	Berstscheiben	95
	Berstscheiben aus sprödem, nicht verformungsfähigem Werkstoff	95
	Berstscheiben aus verformungsfähigem Werkstoff	96
	Fremdbetätigte Berstscheiben	102
	Explosionsscheiben	103
	Selbsttätig schließende Entlastungseinrichtungen	104
	Explosionsklappen	104
	Federbelastete Entlastungseinrichtungen	105
	Folgerungen	107
3.3.4	Dimensionierung von Druckentlastungsflächen	108
	Vorbemerkung	108
	Brenngase	111
	Brennbare Stäube	117
	Gefahrlose Ableitung der Druckwelle, der Flamme und der Gase	119
	Langgestreckte Behälter (Silos)	123
3.3.5	Grenzen der Anwendbarkeit	128
3.4	Explosionsunterdrückung	129
3.4.1	Vorbemerkung	129
3.4.2	Verfahrensbeschreibung	129
3.4.3	Auswahl des Detektorsystems	131
3.4.4	Beschreibung der Löschsysteeme	133
3.4.5	Auswahl des günstigsten Löschmittels	135
3.4.6	Grenzen der Anwendbarkeit	143
3.4.7	Löschmittelbedarf	145
3.4.8	Spezielle Anwendungsprobleme	150

	Einfluß des Vordruckes	150
	Unterdrückung der Explosionen von organischen Peroxyden	150
3.5	Folgerungen	152
4	<i>Sicherheitsmaßnahmen gegen die Auswirkungen von Explosionen in Rohrleitungen</i>	153
4.1	Flammensperren	153
4.1.1	Vorbemerkung	153
4.1.2	Mechanische Flammensperren	161
	Vorbemerkung	161
	Explosionssichere Armaturen	162
	Dauerbrandsichere Armaturen	165
	Detonationssichere Armaturen	169
4.1.3	Automatische Löschmittelsperre	171
4.2	Explosionsdruckentlastung	178
4.2.1	Vorbemerkung	178
4.2.2	Endständige Entlastungseinrichtungen.	179
	Berstscheiben, fremdbetätigte Berstscheiben	179
	Explosionsklappen	181
	Federventile	183
4.3	Schnellschlußorgane	186
4.4	Folgerungen	190
5	<i>Zusammenfassung</i>	191
6	<i>Literaturhinweise</i>	192
Teil III	Anwendung von Schutzmaßnahmen an Apparaten und Apparaturen	
1	<i>Vorbemerkungen</i>	199
2	<i>Schutzmaßnahmen an Apparaten</i>	201
2.1	Mühlen	201
2.1.1	Vorbemerkung	201
2.1.2	Einflußnahmen auf den zeitlichen Druckverlauf von Explosionen	201
2.1.3	Folgerungen	205
2.2	Sackzerreißmaschinen	205
2.2.1	Vorbemerkung	205
2.2.2	Anwendung von kombinierten Schutzmaßnahmen	207
2.3	Wirbelschicht-Trockner und -Granulatoren	208
2.3.1	Vorbemerkung	208

X	Inhaltsverzeichnis	
2.3.2	Anwendung sekundärer Schutzmaßnahmen	210
	Grundsätzliche Apparateanforderungen	210
	Eckige Bauform	210
	Runde Bauform	211
	Folgerungen	214
	Explosionsdruckentlastung	214
	Vor dem Filter	214
	Nach dem Filter	219
	Explosionsunterdrückung	222
	Zusatzforderungen	223
2.4	Staubabscheidefilter	226
2.4.1	Vorbemerkung	226
2.4.2	Taschenfilter	227
	Anwendung der Explosionsdruckentlastung	227
	Folgerungen	231
2.4.3	Schlauchfilter	231
	Anwendung der Explosionsdruckentlastung	231
	Anordnung der Zündquelle im Filtergehäuse	231
	Explosionsübertragung aus einer Rohrleitung	233
	Anwendung der Explosionsunterdrückung	237
2.4.4	Folgerungen	238
3	<i>Schutzmaßnahmen an Apparaturen</i>	240
3.1	Vorbemerkung	240
3.2	Mahlanlage	240
3.2.1	Schutzmaßnahme Inertisierung	240
3.2.2	Schutzmaßnahme Explosionsdruckentlastung	243
3.2.3	Schutzmaßnahme Explosionsunterdrückung	243
3.3	Zerstäubungstrocknungsanlagen	246
3.3.1	Schutzmaßnahme Inertisierung	248
3.3.2	Schutzmaßnahme Explosionsdruckentlastung	249
3.3.3	Schutzmaßnahme Explosionsunterdrückung	251
3.4	Folgerungen	252
4	<i>Schlußwort</i>	254
5	<i>Literaturhinweise</i>	256
	Sachverzeichnis	259