

Inhalt

Vorwort des Herausgebers.....	V
Herausgeber und Autoren	VII
1. Explosionsvorgänge	1
<i>H. Gg. Wagner</i>	
1.1 Einleitung.....	1
1.1.1 Quantitative Beschreibung von Verbrennungsprozessen.....	2
1.1.2 Entzündung.....	5
1.1.3. Wärmezündung.....	6
1.1.4 Kettenexplosion – Kettenreaktion.....	11
1.1.5 Zündtemperaturen.....	14
1.1.6 Zündverzugszeiten.....	14
1.2 Ausbreitung von Verbrennungsvorgängen in der Gasphase	16
1.2.1 Flammen in vorgemischten Gasen.....	17
1.2.2 Flammtemperatur	25
1.2.3 Reaktionszone	26
1.2.4 Wechselwirkung von Flammen mit der Wand	28
1.2.5 Beschreibung von Detonationen und Stoßwellen	29
1.2.5.1 Detonationen, einige Daten.....	34
1.2.6 Detonationsgrenzen	38
1.2.7 Sphärische Detonationen	40
1.3 Instationäre Flammenausbreitung – Explosionsen	42
1.3.1 Flammen in Rohren – offene Systeme	43
1.3.2 Flammen in geschlossenen Systemen	49
1.3.3 Wirkung von Hindernissen im Flammenweg	50
1.3.4 Direkter Übergang zur Detonation.....	60
1.4 Explosionsen im Freien	62
1.4.1 Abbrand einer Gaswolke – ein idealisiertes Modell	63
1.4.2 Wirkung von Hindernissen – Unfallanalysen	65
1.5 Literatur	68
2. Zündvorgänge	75
2.1 Elektrische Zündquellen	75
<i>Helmut Krämer und Martin Glor</i>	

2.1.1	Einführung	75
2.1.2	Entzündungsvorgang in explosionsfähiger Atmosphäre	75
2.1.3	Mindestzündenergie brennbarer Gase und Dämpfe	79
2.1.3.1	Konzept der Mindestzündenergie	79
2.1.3.2	Bestimmungsverfahren	80
2.1.3.3	Mindestzündenergien	83
2.1.3.4	Besonderheiten bei schwerbrennbaren Dämpfen	86
2.1.3.5	Bestimmung der Mindestzündenergie durch Laserdurchbruch	86
2.1.3.6	Energieumsatz im Funken	88
2.1.4	Mindestzündenergie brennbarer Stäube	91
2.1.4.1	Bestimmungsverfahren	91
2.1.4.2	Einfluß einer Induktivität im Entladekreis	95
2.1.5	Öffnungs- und Schließfunkten in elektrischen Stromkreisen	97
2.1.5.1	Einführung	97
2.1.5.2	Funkenprüfgerät	98
2.1.5.3	Zündgrenzwerte in kapazitiven, induktiven und ohmschen Stromkreisen	99
2.1.5.4	Explosionsschutz elektrischer Geräte	101
2.1.5.4.1	Explosionsschutzkonzept	101
2.1.5.4.2	Zündschutzarten	102
2.1.5.5	Elektrische Ausgleichsströme (Streuströme) in Anlagen	103
2.1.6	Unbeabsichtigter Empfang von Hochfrequenzstrahlung	105
2.1.6.1	Empfangsfähige Strukturen in Anlagen	105
2.1.6.2	Zündgrenzwerte	107
2.1.6.3	Abschätzung der Zündgefahr und Maßnahmen zu ihrer Vermeidung	109
2.1.6.3.1	Gefährdungsbereiche um Sender	109
2.1.6.3.2	Messungen zur Erfassung einer möglichen Zündgefahr	111
2.2	Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung	112
2.2.1	Grundlagen	112
	<i>Martin Glor</i>	
2.2.2	Systematisches Vorgehen zur Beurteilung von Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladungen	113
	<i>Martin Glor</i>	
2.2.3	Gasentladungen	117
	<i>Martin Glor</i>	
2.2.4	Unterschiedliche Entladungsformen	119
	<i>Martin Glor</i>	
2.2.4.1	Funkenentladungen	119
2.2.4.2	Coronaentladungen	125
2.2.4.3	Büschelentladungen	126
2.2.4.4	Gleitstielbüschelentladungen	132
2.2.4.5	Schüttkegelentladungen	138
2.2.4.6	Gewitterblitzähnliche Entladungen	141
2.2.5	Aufladung von Feststoffen	143
	<i>Martin Glor</i>	
2.2.6	Aufladung von Flüssigkeiten	144
	<i>Helmut Krämer</i>	

2.2.6.1	Ladungsrelaxation in unpolaren Flüssigkeiten.....	144
2.2.6.1.1	Unpolare Flüssigkeiten	144
2.2.6.1.2	Aufladungsprozeß.....	144
2.2.6.1.3	Ladungsrelaxation in unpolaren Flüssigkeiten, Ruheleitfähigkeit	145
2.2.6.2	Zündgefahren beim Befüllen von Tanks.....	148
2.2.6.2.1	Aufladung von Kraftstoffen in Rohren und Filtern.....	148
2.2.6.2.2	Ladungsansammlung	150
2.2.6.2.3	Feld- und Potentialverteilung.....	151
2.2.6.2.4	Bedingungen für das Auftreten zündfähiger Entladungen.....	152
2.2.6.2.5	Straßentankwagen.....	155
2.2.6.2.6	Große Lagertanks.....	157
2.2.6.3	Rührvorgänge in Zweiphasensystemen	157
2.2.6.4	Versprühen von Flüssigkeiten, Tankreinigung	159
2.2.6.4.1	Aufladungsprozeß.....	159
2.2.6.4.2	Waschen von Supertankern.....	160
2.2.6.4.3	Tankreinigung mit Hochdruckflüssigkeitsstrahlen	163
2.2.7	Aufladungen beim Umgang mit Gasen.....	164
	<i>Helmut Krämer</i>	
2.2.7.1	Allgemeines	164
2.2.7.2	Feuerlöscher.....	164
2.2.7.3	Inertisieren	164
2.2.7.4	Tankreinigung mit Dampf	165
2.2.7.5	Unbeabsichtigtes Freiwerden von komprimierten Gasen	165
2.2.8	Elektrostatische Sprühverfahren	165
	<i>Helmut Krämer</i>	
2.2.8.1	Die Sprühverfahren zur Beschichtung mit Flüssiglack, Pulver und Flock ..	165
2.2.8.2	Handsprühgeräte für brennbare Sprühstoffe	166
2.2.8.3	Stationäre elektrostatische Sprühanlagen für brennbare Sprühstoffe.....	168
2.2.8.4	Elektrostatische Sprühanlagen für nichtbrennbare Sprühstoffe	169
2.2.9	Aufladung von Stäuben und Schüttgütern	170
	<i>Martin Glor</i>	
2.2.9.1	Aufladungsprozeß.....	170
2.2.9.2	Brennbare Stäube und Schüttgüter in Abwesenheit von brennbaren Gasen und Dämpfen.....	171
2.2.9.2.1	Allgemeine Hinweise.....	171
2.2.9.2.2	Befüll- und Entleeroperationen (Behälter, Silos etc.)	172
2.2.9.2.3	Flexible Schüttgutbehälter (FIBC).....	173
2.2.9.2.4	Sieben	174
2.2.9.2.5	Mahlen, Mischen	174
2.2.9.2.6	Pneumatischer Transport	175
2.2.9.2.7	Staubabscheiden	175
2.2.9.3	Brennbare Stäube und Schüttgüter in Gegenwart von brennbaren Gasen und Dämpfen.....	175
2.2.9.3.1	Allgemeine Hinweise.....	175
2.2.9.3.2	Eintragen von Stäuben und Schüttgütern in brennbare Lösemittel.....	176
2.2.9.3.3	Handhaben von lösemittelfeuchten Stäuben und Schüttgütern	176

2.2.9.4	Spezielle Stäube und Schüttgüter.....	176
2.3	Zündung durch heiße Oberflächen	177
	<i>Henrikus Steen, Markus Gödde und Heino Bothe</i>	
2.3.1	Einleitung.....	177
2.3.2	Zündvorgang an heißen Oberflächen.....	177
2.3.3	Wichtigste Einflußparameter	184
2.3.3.1	Brennstoffart und Gemischsystem.....	184
2.3.3.2	Geometrie der Oberfläche und Strömungsverhältnisse.....	190
2.3.3.3	Material der heißen Oberfläche	195
2.3.3.4	Druck	196
2.3.4	Normverfahren zur Bestimmung der Zündtemperatur und sicherheitstechnische Konsequenzen	200
2.4	Mechanisch erzeugte Funken.....	205
	<i>Eberhard Behrend und Klaus Ritter</i>	
2.4.1	Allgemeines zu mechanischen Funken.....	205
2.4.1.1	Schlagfunken	208
2.4.1.2	Schleiffunken.....	208
2.4.2	Zündmechanismen	209
2.4.2.1	Partikelgröße und -form.....	209
2.4.2.2	Partikelstruktur	212
2.4.2.3	Kalorische Parameter.....	214
2.4.3	Zündfähigkeit, Zündwilligkeit und Zündwirksamkeit	218
2.4.4	Zünduntersuchungen.....	221
2.4.5	Schlußbemerkungen.....	227
2.5	Adiabatische Kompression von Stoßwellen	228
	<i>H. Gg. Wagner</i>	
2.5.1	Kompressionsvorgang	228
2.5.2	Kompressionsmaschinen	230
2.5.3	Reaktionsabläufe.....	231
2.5.3.1	Zweistufenzündung.....	231
2.5.3.2	Kalte Flammen und Zwischenstufenzündung.....	239
2.5.3.3	Niedertemperatur-Kohlenwasserstoff-Oxidation.....	240
2.5.4	Stoßwellen	242
2.5.4.1	Entzündung bei höheren Temperaturen	243
2.6	Absorption optischer Strahlung	250
	<i>Heino Bothe und Helmut Krämer</i>	
2.6.1	Einleitung.....	250
2.6.2	Zündmechanismen	250
2.6.2.1	Resonante Absorption der Strahlung im explosionsfähigen Gemisch	251
2.6.2.2	Zündung durch Plasmabildung bei fokussierter Laserstrahlung (Durchbruch).....	252
2.6.2.3	Absorption der Strahlung an einem Festkörper	253
2.6.3	Stand vorhandener Richtlinien und Normen.....	256
2.7	Selbstentzündung fester Stoffe (einschließlich Stäube)	257
	<i>Willi Hensel, Ulrich Krause und Ulrich Löffler</i>	
2.7.1	Grundlagen	257

2.7.2	Stationäre Theorie der Wärmeexplosion.....	258
2.7.3	Instationäre Berechnung von Temperaturfeldern.....	265
2.7.4	Sonderfall: Adiabatische Induktionszeit	271
2.7.5	Meßtechnische Praxis	276
2.7.6	Verschiedene Einflußgrößen.....	281
2.7.7	<i>SET</i> und technische Regelwerke.....	283
2.7.8	Schlußfolgerungen und Ausblick.....	287
2.8	Chemische Reaktionen	289
	<i>Winfried Karl</i>	
2.8.1	Einstoffsysteme.....	290
2.8.1.1	Zersetzung.....	291
2.8.1.2	Polymerisation	293
2.8.1.3	Vorschriften für Umgang und Beförderung.....	294
2.8.2	Mehrstoffsysteme	295
2.8.2.1	Oxidation mit Luft	296
2.8.2.2	Starke Oxidationsmittel	297
2.8.2.3	Calciumcarbid und Acetylen.....	299
2.8.2.4	Metallphosphide und Phosphin.....	301
2.8.2.5	Pyrit (Eisendisulfid).....	302
2.8.2.6	Direkt reduziertes Eisen (DRI)	304
2.8.2.7	Vorschriften für Umgang und Beförderung.....	304
2.9	Literatur	305
2.9.1	Literatur zu Abschnitt 2.1	305
2.9.2	Literatur zu Abschnitt 2.2	307
2.9.3	Literatur zu Abschnitt 2.3	309
2.9.4	Literatur zu Abschnitt 2.4	312
2.9.5	Literatur zu Abschnitt 2.5	312
2.9.6	Literatur zu Abschnitt 2.6	314
2.9.7	Literatur zu Abschnitt 2.7	316
2.9.8	Literatur zu Abschnitt 2.8	317
3.	Eigenschaften reaktionsfähiger Gase und Dämpfe von Flüssigkeiten (Kenngrößen)	319
3.1	Sicherheitstechnische Kenngrößen von Gasen und Dämpfen von Flüssigkeiten	319
	<i>Elisabeth Brandes, Siegmund Dietlen, Hartmut Hieronymus, Ulrich Krause, Bodo Plewinsky, Tammo Redecker, Volkmar Schröder</i>	
3.1.1	Einleitung.....	319
3.1.1.1	Bestimmung und Anwendung Sicherheitstechnischer Kenngrößen (STK) ..	319
3.1.1.2	Angabe von Werten für STK	320
3.1.1.3	Berechnung bzw. Abschätzung von STK	320
3.1.1.4	Anwendung von STK	321
3.1.2	Einteilung von STK	321
3.1.3	Tabellenwerke und Datenbanken für STK.....	323
3.1.4	STK in Regelwerken und Normen.....	323
3.1.5	STK zur Beurteilung der Explosionsfähigkeit von Stoffen	

(Stoffgemischen).....	323
3.1.5.1 Explosionsgrenzen	324
3.1.5.2 Andere Kenngrößen von Explosionsbereichen.....	331
3.1.5.3 Temperatur- und Druckgrenzen für die Instabilität	336
3.1.5.4 Explosionspunkte.....	342
3.1.5.5 Flammpunkt.....	343
3.1.6 STK zur Beurteilung der Entzündbarkeit von Stoffen (Stoffgemischen).....	347
3.1.6.1 Mindestzündenergie, Mindestzündstrom – Mindestzündstromverhältnis.....	347
3.1.6.2 Zündtemperatur.....	350
3.1.7 STK zur Beurteilung der Reaktionsausbreitung	354
3.1.7.1 Grenze der Detonationsfähigkeit	354
3.1.7.2 Ausbreitungsgeschwindigkeit von Deflagrationen („Flammengeschwindigkeit“).....	357
3.1.7.3 Flammendurchschlagsichere Spaltweite	362
3.1.8 STK zur Beurteilung der Wirkung einer Explosion.....	365
3.1.8.1 Explosionsdruck und maximaler Explosionsdruck.....	365
3.1.8.2 Zeitlicher Druckanstieg und maximaler zeitlicher Druckanstieg, „ K_G -Wert“.....	370
3.1.8.3 Druckwirkung bei Detonationen.....	374
3.1.9 Andere für die sicherheitstechnische Beurteilung wichtige chemisch-physikalische Stoffkenngrößen.....	374
3.2 Physikalisch – chemische Grundlagen zu den Eingenschaften brennbarer Gase und Dämpfe	375
<i>Karlheinz Hoyermann</i>	
3.2.1 Einleitung.....	375
3.2.2 Zusammenstellung von allgemeinen Grundlagen.....	377
3.2.2.1 Zustandsgleichung von Gasen	377
3.2.2.2 Phasengleichgewicht für Reinstoffe und Gemische.....	378
3.2.2.3 Chemisches Gleichgewicht.....	380
3.2.2.4 Reaktionskinetik	381
3.2.2.5 Transportprozesse	385
3.2.2.6 Literaturübersicht „Verbrennungsvorgänge“	387
3.2.3 Flammen: Reaktionen bei hohen Temperaturen	387
3.2.3.1 Vorbemerkungen	387
3.2.3.2 Reaktionsmechanismus und Flammengeschwindigkeit.....	391
3.2.3.3 Inhibitoren / Promotoren.....	398
3.2.3.4 Grenzen der Flammenausbreitung	400
3.2.3.5 Flammengeschwindigkeit und Zündung, Mindestzündenergie, Löschabstand	406
3.2.4 Oxidation bei niedrigen Temperaturen	410
3.2.4.1 Einige experimentelle Befunde.....	410
3.2.4.2 Kettenexplosion	415
3.2.4.3 Wärmeexplosion	426
3.3 Literatur	434
3.3.1 Literatur zu Abschnitt 3.1	434
3.3.2 Literatur zu Abschnitt 3.2	437

4	Eigenschaften brennbarer Stäube (Kenngrößen)	443
	<i>Willi Hensel, Kenneth L. Cashdollar</i>	
4.1	Einleitung.....	443
4.2	Abgelagerte Stäube (Brandkenngrößen).....	445
4.2.1	Brennverhalten.....	445
4.2.2	Mindestzündtemperatur einer Staubschicht auf einer heißen Oberfläche (Glimmtemperatur)	446
4.2.3	Selbstentzündungsverhalten von Staubschüttungen	448
4.2.4	Deflagrationsfähigkeit	452
4.2.5	Schlagempfindlichkeit	452
4.2.6	Kenngrößen von Schwelgasen aus thermisch belasteten Staubschüttungen.....	453
4.3	Aufgewirbelte Staub-Luft-Gemische (Explosionskenngrößen).....	456
4.3.1	Maximaler Explosionsdruck und maximaler zeitlicher Druckanstieg von Staubexplosionen.....	457
4.3.1.1	Einfluß unterschiedlicher Startbedingungen.....	463
4.3.1.2	Probleme mit der Übertragbarkeit auf praktische, betriebliche Verhältnisse	467
4.3.1.3	Laminare Verbrennungsgeschwindigkeit	468
4.3.2	Untere Explosionsgrenze	472
4.3.3	Sauerstoffgrenzkonzentration	476
4.3.4	Die Mindestzündtemperatur einer Staubwolke in einem heißen Ofen (Zündtemperatur).....	479
4.3.5	Mindestzündenergie einer Staubwolke	483
4.4	Literatur	486
5	Eigenschaften brennbarer Nebel und Schäume	489
5.1	Brennbare Nebel und Sprühstrahlen	489
	<i>Hans Förster</i>	
5.1.1	Einleitung.....	489
5.1.1.1	Begriffsbildungen	489
5.1.1.2	Gefährdungen in der Praxis	490
5.1.2	Erzeugung von Nebeln und Sprühstrahlen.....	491
5.1.2.1	Physikalische Besonderheiten.....	491
5.1.2.2	Erzeugungsmethoden in der Praxis.....	492
5.1.3	Charakterisierung von Nebeln und Sprühstrahlen	493
5.1.3.1	Dispersionsgrad	494
5.1.3.2	Massenkonzentration	495
5.1.3.3	Relativbewegung der Phasen	496
5.1.4	Verbrennung in Nebeln und Sprühstrahlen.....	497
5.1.4.1	Grundlagen	497
5.1.4.2	Untere Explosionsgrenze	500
5.1.4.3	Flammengeschwindigkeiten	504
5.1.4.4	Detonationsvorgänge	505

5.1.4.5	Wirksamkeit von Zündquellen.....	506
5.1.4.5.1	Elektrische Funken	506
5.1.4.5.2	Mechanische Funken	509
5.1.4.5.3	Heiße Oberflächen	509
5.1.4.6	Maximaler Explosionsdruck	511
5.1.4.7	Explosionsdruck-Anstiegsrate	513
5.1.4.8	Brandtechnische Klassifizierung	515
5.1.4.9	Sichere Grenzspaltweiten	515
5.1.5.	Schutzmaßnahmen	516
5.1.5.1	Vermeiden explosionsfähiger Tröpfchensuspensionen.....	516
5.1.5.2	Vermeiden von Zündquellen.....	516
5.1.5.3	Minderung der Auswirkungen von Bränden und Explosionen.....	517
5.2	Heterogene Systeme aus organischen Flüssigkeiten und Sauerstoff.....	518
	<i>Bodo Plewinsky, Hartmut Hieronymus</i>	
5.2.1	Einleitung.....	518
5.2.2	Dochtdetonationen	520
5.2.3	Blasenexplosionen	524
5.2.3.1	Blasenexplosionen durch Stoßwellen- bzw. Detonationswellenzündung	524
5.2.3.2	Blasenexplosionen durch Glühdrahtzündung	525
5.2.4	Schaumdetonationen.....	528
5.2.4.1	Modellschaumdetonationen	529
5.2.4.2	Detonationsbereiche in Modellschäumen	529
5.2.4.3	Detonationsgeschwindigkeit von Modellschaumdetonationen	530
5.2.4.4	Detonationsanlaufstrecken in Modellschäumen	534
5.2.4.5	Detonationsdrücke in Modellschäumen	534
5.2.4.6	Semi-empirische Modellierung der Schaumdetonationen	535
5.2.4.7	Reale Schäume am Beispiel von Cyclohexanschäumen	536
5.2.5	Oberflächendetonationen	538
5.2.5.1	Eindimensionale Oberflächendetonationen	539
5.2.5.2	Zweidimensionale Oberflächendetonationen.....	546
5.2.6	Schlußbetrachtung	555
5.2.6.1	Sicherheitskonzept	555
5.2.6.2	Sicherheitstechnische Kenngrößen	556
5.3	Literatur	557
5.3.1	Literatur zu Abschnitt 5.1	557
5.3.2	Literatur zu Abschnitt 5.2	559
6	Maßnahmen gegen Explosionsvorgänge.....	563
6.1	Der Explosionsdruckverlauf in Behältern für deren Auslegung	563
	<i>Henrikus Steen</i>	
6.1.1	Deflagrationen im geschlossenen Raum	564
6.1.1.1	Zeitlicher Druckverlauf.....	564
6.1.1.2	Maximaler zeitlicher Druckanstieg von Deflagrationen	568
6.1.1.3	Maximaler Enddruck von Deflagrationen.....	569
6.1.2	Detonationen.....	572

6.1.3	Belastungen der Raumwand durch Gasexplosionen	575
6.2	Explosionsdruckentlastung	577
	<i>Martin Hattwig, Ulrich Krause und Christophe Proust</i>	
6.2.1	Einführung	577
6.2.1.1	Vorbemerkung	577
6.2.1.2	Prinzip der Schutzmaßnahme	578
6.2.1.3	Bedeutung der Schutzmaßnahme	579
6.2.2	Methoden zur Bestimmung der erforderlichen Entlastungsfläche	581
6.2.2.1	Einleitung	581
6.2.2.2	Einstufige Methoden	581
6.2.2.3	Grundannahmen und Voraussetzungen der einstufigen Methoden	584
6.2.2.4	Nachteile der einstufigen Methoden	585
6.2.2.5	Methoden auf der Basis von Modellen	586
6.2.3	Physikalische Grundlagen	587
6.2.3.1	Zeitlicher Druckverlauf	587
6.2.3.1.1	Charakteristische Kenngrößen (p_{red} , $(dp/dt)_{\text{red}}$, A_{DE} , $A_{\text{DE}}/V^{2/3}$)	587
6.2.3.1.2	Zeitlicher Druckverlauf von druckentlasteten Explosionen als Folge der Vorgänge Energieakkumulation (chemische Reaktion) und Energieabfuhr (mit austretendem Massenstrom)	589
6.2.3.2	Einflußgrößen auf p_{red} und $(dp/dt)_{\text{red}}$	592
6.2.3.2.1	Konzentrationsverteilung	592
6.2.3.2.2	Geometrie	594
6.2.3.2.3	Lage der Zündquelle	596
6.2.3.2.4	Turbulenz	597
6.2.3.2.5	Ausblaskanäle	599
6.2.3.2.6	Druckentlastung verbundener Behälter	600
6.2.3.3	Effekte im Außenraum	602
6.2.3.4	Rückstoß	605
6.2.3.5	Rohrleitungen	605
6.2.4	Bauarten von Druckentlastungseinrichtungen	606
6.2.4.1	Einleitung	606
6.2.4.2	Einrichtungen mit nicht wieder verwendbaren Elementen	607
6.2.4.3	Einrichtungen mit wieder verwendbaren Elementen	610
6.2.4.4	Sonderformen	611
6.2.5	Vorschriften	613
6.2.5.1	VDI-Richtlinie 3673	613
6.2.5.2	NFPA-Richtlinie 68	614
6.2.5.3	AFNOR-Norm U 54-540	614
6.2.5.4	Entwurf einer europäischen Norm über die Auslegung von Druckentlastungssystemen für Staubexplosionen	615
6.2.5.5	Entwurf einer europäischen Norm über Anforderungen zur technischen Beschaffenheit von Druckentlastungseinrichtungen	615
6.2.6	Zukünftige Entwicklungen	616
6.2.6.1	Dünnewandige Umschließungen	616
6.2.6.2	Druckentlastung von Gasexplosionen	616
6.2.6.3	Druckentlastung bei Strömungshindernissen	617

6.2.6.4	Druckentlastung verbundener Behälter.....	617
6.2.6.5	Schlußbemerkung	617
6.3	Explosionsunterdrückung	618
	<i>Richard Siwek</i>	
6.3.1	Einleitung.....	618
6.3.2	Definition.....	618
6.3.3	Beschreibung des Unterdrückungssystems	619
6.3.3.1	Detektoren/Sensoren.....	619
6.3.3.2	HRD-Löscher.....	622
6.3.3.3	Löschnpulver	629
6.3.3.4	Kontroll- und Anzeigeeinheit (CIE)	631
6.3.4	Wirkungsmechanismen.....	633
6.3.5	Dimensionierung von Explosionsunterdrückungssystemen.....	634
6.3.5.1	Allgemeines	634
6.3.5.2	Definition der Gefährdung.....	635
6.3.5.3	Auslegung für Behälter mit $L/D < 2$ (kompakte Behälter)	637
6.3.5.4	Auslegung für Behälter mit $2 \leq L/D \leq 10$ (langgestreckte Behälter)	638
6.3.5.5	Computerunterstützte Auslegung.....	639
6.3.6	Anwendungsgrenzen der Unterdrückungssysteme	640
6.3.7	Anwendungsbeispiele	641
6.3.8	Schlußbetrachtung	644
6.4	Explosionsentkopplung	647
	<i>Richard Siwek</i>	
6.4.1	Einleitung.....	647
6.4.2	Entkopplungssysteme	648
6.4.2.1	Zellenradschleuse	649
6.4.2.2	Löschnpulversperre	650
6.4.2.3	Explosionsschutzschieber/Explosionsschutzklappe.....	652
6.4.2.4	Explosionsschutzventil	653
6.4.2.4.1	Selbstbetätigtes Explosionsschutzventil	653
6.4.2.4.2	Fremdbetätigtes Explosionsschutzventil.....	654
6.4.2.5	Entlastungsschlot	655
6.4.2.6	Doppelschiebersystem	657
6.4.2.7	Produktvorlage.....	657
6.4.2.8	Schneckenförderer	658
6.4.2.9	Löschnpulversperre in Kombination mit Entlastungsschlot	658
6.4.3	Dimensionierungsgrundlagen	659
6.4.3.1	Basisparameter.....	659
6.4.3.2	Detektor-/Sensorwahl	661
6.4.3.3	Einbaudistanzen.....	662
6.4.3.3.1	Löschnpulversperre	662
6.4.3.3.2	Explosionsschutzschieber, -klappe, -ventil	663
6.4.3.4	Löschnpulvermenge M_S für Löschnpulversperren.....	664
6.4.3.4.1	Brennbare Stäube.....	664
6.4.3.4.2	Brenngase	666
6.4.3.5	Entlastungsschlot	666

6.4.4	Anwendungsbeispiele	667
6.4.5	Schlußbetrachtung	672
6.5	Flammendurchschlagsicherungen	673
	<i>Hans Förster, Wolfgang Wiechmann</i>	
6.5.1	Einleitung.....	673
6.5.2.	Grundsätzliche Wirkungsweisen	674
6.5.2.1	Flammenlöschen in engen Spalten.....	674
6.5.2.2	Aufhalten von Flammen durch Tauchvorlagen.....	676
6.5.2.3	Aufhalten von Flammen durch hohe Ausströmgeschwindigkeit	677
6.5.2.4	Flammenlöschen durch Flüssigkeitsvorlagen.....	678
6.5.3.	Spezifische Belastungsarten und Klassifizierungen.....	678
6.5.3.1	Deflagrationen	679
6.5.3.2	Detonationen.....	679
6.5.3.3	Stabilisiertes Brennen	683
6.5.4.	Beispiele zum konstruktiven Aufbau der wesentlichen Grundtypen von Flammendurchschlagsicherungen	683
6.5.4.1	Statische Flammendurchschlagsicherungen	684
6.5.4.2	Flammendurchschlagsicherungen mit nasser Flammensperre	688
6.5.4.3	Flammendurchschlagsicherungen mit hoher Ausströmgeschwindigkeit	690
6.5.5	Verfahrenstechnische Einrichtungen	691
6.5.5.1	Erfassung stabilisierter Flammen.....	691
6.5.5.2	Einrichtungen zur Dauerbrandsicherheit	692
6.5.5.3	Meß- und Regeleinrichtungen an Tauchsicherungen.....	692
6.5.5.4	Meßeinrichtungen an rückzündsicheren Brennereinführungen	693
6.5.5.5	Maßnahmen zur Funktionssicherung	693
6.5.6	Prüfungen.....	694
6.5.6.1	Mechanische Stabilität.....	694
6.5.6.2	Dichtheit	695
6.5.6.3	Strömungsdruckverlust	695
6.5.6.4	Flammensperrende Wirkung.....	695
6.5.7	Einsatzbedingungen	698
6.5.7.1	Explosionsgruppe der Gase und Dämpfe	699
6.5.7.2	Druck und Temperatur der Gemische	699
6.5.7.3	Rohrgeometrien	700
6.5.7.4	Spezielle Aspekte zur Funktionssicherheit	701
6.5.8	Einsatzbeispiele	701
6.5.8.1	Absicherung eines Lagertanks für brennbare Flüssigkeiten	701
6.5.8.2	Absicherung in einer thermischen Nachverbrennungsanlage	702
6.6	Literatur	704
6.6.1	Literatur zu Abschnitt 6.1	704
6.6.2	Literatur zu Abschnitt 6.2	705
6.6.3	Literatur zu Abschnitt 6.3	707
6.6.4	Literatur zu Abschnitt 6.4	709
6.6.5	Literatur zu Abschnitt 6.5	710

7	Grundsätze der Erfassung und Bewertung von Explosionsrisiken	713
	<i>Henrikus Steen</i>	
7.1.	Grundlegende Begriffe der Sicherheitstechnik	714
7.2	Explosionsrisiken	720
7.2.1	Wahrscheinlichkeitsprinzip als Grundlage	720
7.2.2	Primärer Explosionsschutz	723
7.2.2.1	Allgemeines	723
7.2.2.2	Be- und Entlüftung	724
7.2.2.3	Inertisierung	728
7.2.2.4	Gaswarneinrichtungen	730
7.2.3	Sekundärer Explosionsschutz	731
7.2.3.1	Grundsätze	731
7.2.3.2	Art und Größe der explosionsgefährdeten Bereiche (Zonen)	734
7.2.3.3	Maßnahmen gegen Zündgefahren	737
7.2.4.	Schutz gegen Explosionswirkungen in den explosionsgefährdeten Bereichen	739
7.2.5	Vorschriften für den Explosionsschutz in den explosionsgefährdeten Bereichen	741
7.2.6	Schutz gegen Explosionswirkungen in Fernbereichen	743
7.2.7	Verfahren zur Ermittlung und Beschreibung von Explosionsrisiken	744
7.3	Literatur	745
8	Stichwortverzeichnis	751