

Jörg Steinbach

Chemische Sicherheitstechnik



Weinheim • New York • Basel • Cambridge • Tokyo

Inhalt

1 Grundbegriffe der Sicherheitstechnik	1
<i>1.1 Allgemeine sicherheitstechnische Grundbegriffe</i>	<i>1</i>
1.1.1 Gefahrenpotential und zu erwartendes Schadensausmaß	2
1.1.2 Das Risiko	4
<i>1.2 Grundbegriffe für das Betreiben von Anlagen</i>	<i>7</i>
2 Vorgehensweise bei sicherheitstechnischen Untersuchungen	11
<i>2.1 Untersuchungsumfang in Abhängigkeit vom Entwicklungsstand des Verfahrens</i>	<i>12</i>
2.2 Festlegung wesentlicher Anlagen- und Verfahrensmodifizierungen	16
2.3 Untersuchungsarten in Abhängigkeit vom Entwicklungsstand des Verfahrens	17
3 Untersuchungsmethoden zur Beurteilung der Stabilität von Stoffen und Gemischen	23
3.1 Theoretische Betrachtungen auf Labormaßstabsebene	23
3.2 Screening -Methoden zur Untersuchung von Verfahren im kg-Maßstab	28
3.2.1 Differenzthermoanalyse (DTA) bzw. Differential Scanning Calorimetry (DSC)	29
3.2.2 Der Reagenzglasstest	47
3.2.3 Der Miniautoklav-Test	49
3.2.4 Offene Meßtechniken	50
3.3 Weitere Basisprüfmethoden für Verfahren im kg-Maßstab	51
3.3.1 Die Brennprüfung für Feststoffe	51

VIII Inhalt

3.3.2 Zündprüfung für Feststoffe	53
3.3.3 Flammpunkt von Flüssigkeiten	54
3.3.4 Zündtemperatur von Flüssigkeiten	58
3.4 Teilprüfung auf Explosionsgefährlichkeit	60
3.5 Prüfung auf Deflagrationsfähigkeit	66
3.6 Zuordnung von Prüfmethode für den kg-Maßstab zu Verfahrensarten	68
3.7 Hinweise auf sonstige Problemstellungen und Prüfmethode	70
4 Untersuchungsmethode und Beurteilungskriterien für chemische Reaktionen	73
4.1 Reaktionstechnische Grundlagen	73
4.1.1 Stöchiometrie und Umsatz	74
4.1.2 Reaktionsgeschwindigkeit	76
4.1.3 Modelle idealer Reaktoren	84
4.1.4 Einführung charakteristischer Kenngrößen	86
4.1.5 Die Stoffbilanzen der Idealreaktoren	88
4.1.6 Beispiele von Lösungen für den isothermen Betrieb	93
4.1.7 Die allgemeinen Wärmebilanzen für gekühlte Idealreaktoren	96
4.2 Die Wärmeexplosionstheorie	102
4.3 Untersuchung und Bewertung des Normalbetriebs	111
4.3.1 Die sicherheitstechnische Beurteilung des Normalbetriebs	111
4.3.1.1 Der sichere Normalbetrieb des gekühlten CSTR	113
4.3.1.2 Der sichere Normalbetrieb des gekühlten PFTR	138
4.3.1.3 Der sichere Normalbetrieb des gekühlten BR	147
4.3.1.4 Der sichere Normalbetrieb des gekühlten SBR	162
4.3.2 Sonderprobleme bei der Beurteilung des Normalbetriebs	177
4.3.2.1 Der sichere Normalbetrieb von Reaktionen unter Siedebedingungen	178
4.3.2.2 Der sichere Normalbetrieb bei Polymerisationsreaktionen	182
4.3.3 Untersuchungsmethode zur Charakterisierung des Normalbetriebs	195
4.3.3.1 Grundlagen der Thermokinetik	195
4.3.3.2 Die Reaktionskalorimetrie	198
4.3.3.3 Thermokinetische Auswertung reaktionskalorimetrischer Versuche	209

<i>4.4 Untersuchung und Bewertung des gestörten Betriebs</i>	221
4.4.1 Die sicherheitstechnische Beurteilung der Auslegung für den gestörten Betrieb	221
4.4.1.1 Die Beurteilung des gestörten CSTR	226
4.4.1.2 Die Beurteilung des gestörten SBR	229
4.4.1.3 Die Beurteilung des gestörten BR	23 2
4.4.2 Untersuchungsmethoden zur Charakterisierung des gestörten Betriebes	233
5 Staubexplosionen (Mahlen, Mischen, Trocknen)	243
5.1 Grundlagen der Staubexplosion	243
5.2 Relevante sicherheitstechnische Kenngrößen	245
5.3 Maßnahmen zum Staubexplosionschutz	249
6 Methoden zur Identifizierung von Störungen und ihre Bewertung	253
6.1 Qualitative Methoden zur Identifizierung von Störungen	254
6.1.1 Die Checklistenmethode	254
6.1.2 Die vorläufige Gefahrenfeldanalyse	255
6.1.3 Die „was wäre wenn“ Methode	256
6.1.4 Die HAZOP oder PAAG-Methode	256
6.2 Quantitative Methoden zur Identifizierung von Störungen	259
6.2.1 Die Fehlerbaumanalyse [89]	259
6.2.2 Die Ereignisablaufanalyse [90]	261
6.3 Sondermethoden	262
7 Anlagentechnische Sicherheitskonzepte	263
7.1 Auslegung von Druckentlastungseinrichtungen	263
7.1.1 Allgemeine Grundlagen der Zweiphasendruckentlastung	266
7.1.2 Die Auslegung nach dem „Gleichgewichtsmodell von Leung“	268
7.1.3 Auslegung für Vielstoffbetriebe - ein Spezialproblem -	272
7.1.3.1 Das Konzept des glaubwürdig schlimmsten Falles	273
7.1.3.2 Die Vorgehensweise	276
7.1.3.3 "Der Trick"	277

X	Inhalt	
	7.1.4 Zusammenfassung	282
	7.2 <i>Gefahrlose Ableitung und Rückhaltung von Stoffen aus Notentspannungsvorgängen</i>	283
	7.2.1 Beurteilung der Dimensionierung der Rohrleitungen von und zu Notentspannungseinrichtungen	283
	7.2.2 Rückhaltebehälter (Knockout Drums)	285
	7.2.3 Zyclonabscheider mit separatem/integriertem Auffangbehälter	286
	7.3 <i>Explosionsschutz durch Inertisierung</i>	291
	7.3.1 Beschreibung der Vorgehensweise zur Beurteilung der Explosionsgefahr	291
	7.3.2 Einstufung von Explosionsschutzmaßnahmen	292
	7.3.3 Grundlagen der Inertisierung	293
	8 Rechtlicher Rahmen für die chemische Sicherheitstechnik	299
	Literaturverzeichnis	301
	Sachverzeichnis	307