

Dipl.-Ing. Ute Hesener, Dortmund

**Ein wissensbasiertes System
zur Sicherheitsbetrachtung
bei staubverarbeitenden
Anlagen**

Reihe **3**: Verfahrenstechnik

Nr. **508**

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	1
1.1 Motivation	1
1.2 Erfahrungen bei früheren Entwicklungen	2
1.3 Ziele der Arbeit	5
1.4 Benutzergruppen und Anwendungsmöglichkeiten von EXSISTA	6
<i>1.4.1 Anwender mit Grundkenntnissen</i>	6
<i>1.4.2 Experten als Benutzer</i>	7
2 Entwicklung von Expertensystemen	8
2.1 Definition	8
2.2 Was ist ein Experte?	9
2.3 Vorgehensweise bei der Entwicklung	9
3 "Gefahren durch brennbare Stäube" als Wissensgebiet	12
3.1 Wissensquellen	12
3.2 Experten im Staubexplosionsschutz	12
<i>3.2.1 Gliederung des Staubexplosionsschutzes in kleinere Fachgebiete</i>	14
<i>3.2.2 Verschiedene Sicherheitsphilosophien in den Unternehmen</i>	15
<i>3.2.3 Das Wissensgebiet unterliegt starken zeitlichen Veränderungen</i>	16
<i>3.2.4 Unterschiedliche Einschätzung des Restrisikos</i>	17
<i>3.2.5 Unterschiedliche Auffassung bei Detailfragen</i>	17
3.3 Formen der Zusammenarbeit mit Experten	17
<i>3.3.1 Klärung der theoretischen Grundlagen</i>	18
<i>3.3.2 Anlehnung an die betriebliche Praxis bei der Entwicklung des Wissensmodells</i>	19
<i>3.3.3 Implementierung und Optimierung des Modells</i>	22
<i>3.3.4 Validierung durch Vergleich mit Expertenaussagen</i>	22
<i>3.3.5 Einbeziehung verschiedener Sicherheitsphilosophien</i>	25

4 Umsetzung der Zielvorgaben	27
5 Beurteilung von Gefahren durch brennbare Stäube	31
5.1 Gefahren durch Stäube	31
5.2 Vorgehensweise zur Beurteilung von Gefahren durch Stäube	32
5.3 Vorgehensweise zur Auswahl von Testverfahren	33
5.3.1 Gefahren durch aufgewirbelten Staub	33
5.3.2 Gefahren bei abgelagertem Staub	39
5.4 Beurteilung von Zündquellen für brennbare Stäube	43
5.4.1 Begrenzte Kenntnis verfahrenstechnischer Parameter	44
5.4.2 Beurteilung von unsicherem Wissen	44
5.4.3 Einführung verschiedener Genauigkeitsstufen	45
5.4.4 Berücksichtigung des Gefährdungspotentials	47
5.4.5 Abfrage von Bereichen je nach Relevanz für die weitere Problemlösung	49
5.5 Berücksichtigung von Schutzmaßnahmen	50
5.6 Einfluss auf die Zielsetzung der Arbeit	51
6 Einfluß verfahrenstechnischer Parameter auf die Gefahrensituation	53
6.1 Bildung von Apparategruppen	53
6.2 Berücksichtigung von Spezialwissen	58
6.3 Einfluß auf die Zielsetzung der Arbeit	59
7 Wissensrepräsentation innerhalb der Wissensbasis	60
7.1 Wissensgebiet Staubexplosionsschutz als Diagnoseproblem	60
7.2 Wissensrepräsentation in Wissensinseln	63
7.3 Verknüpfung der Wissensinseln	63
7.4 Alternative Genauigkeitstiefen bei der Problemlösung	64
7.5 Hierarchien innerhalb der Wissensbasis	65
7.6 Vorgehensweise bei fehlenden Daten	68
7.7 Problemlösung durch Datenabstraktion	69
7.8 Erhöhung der Transparenz durch Platzhalter	71

7.9 Verarbeitung von Spezialwissen	74
7.10 Einfluß auf die Zielsetzung der Arbeit	75
8 Konzeption des Gesamtsystems	76
8.1 Wissensbasis	77
8.1.1 Regelbasierte Darstellung	77
8.1.2 Objektorientierte Darstellung	80
8.1.3 Datenbankabfragen	83
8.2 Programmierung des Gesamtsystems	84
8.2.1 Programmierung mit ToolBook	84
8.2.2 Zentrale Steuerung von EXSISTA	85
8.2.3 Graphikeditor	89
8.2.4 Dialogkomponente	91
8.2.5 Erklärungs- und Hilfefunktion	92
8.2.6 Dokumentation der Ergebnisse	93
8.3 Validierung und Wartung des Systems	94
8.4 Einfluss auf die Zielsetzung der Arbeit	95
9 Zusammenfassung	97

Anhang

A Beurteilung von Gefahren durch brennbare Stäube	99
A.1 Staubexplosionen	99
A.2 Auftreten explosionsfähiger Atmosphäre	100
A.3 Sicherheitstechnische Kennzahlen für aufgewirbelten Staub	103
A.3.1 Explosionsfähigkeit	105
A.3.2 Mindestzündenergie	105
A.3.3 Zündtemperatur	113
A.3.4 Maximaler Explosionsdruck, maximale Druckerhöhungsgeschwindigkeit, K_{st} -Wert	114
A.3.5 Explosionsgrenzen	115

A.3.6 <i>Sauerstoffgrenzkonzentration</i>	115
A.4 <i>Gefahren bei abgelagertem Staub</i>	116
A.5 <i>Reaktionen unter allseitiger Wärmeeinwirkung</i>	117
A.5.1 <i>Test auf thermische Stabilität mit kleinen Mengen</i>	119
A.5.2 <i>Adiabatische Wärmestauversuche</i>	122
A.5.3 <i>Isoperibole Versuche</i>	126
A.5.4 <i>Weitere Untersuchungen</i>	131
A.6 <i>Ausbreitungsvorgänge nach örtlicher Zündung durch Fremdzündquelle</i>	132
A.6.1 <i>Brennprüfung</i>	133
A.6.2 <i>Prüfung auf spontane Zersetzungsfähigkeit</i>	134
<u>B Zündquellen für aufgewirbelten und abgelagerten Staub</u>	137
B.1 <i>Heiße Oberflächen und reibungsbedingte heiße Oberflächen</i>	137
B.1.1 <i>Zündquelle für aufgewirbelten Staub</i>	138
B.1.1 <i>Zündquelle für abgelagerten Staub</i>	138
B.2 <i>Flammen</i>	139
B.2.2 <i>Zündquelle für abgelagerten und aufgewirbelten Staub</i>	139
B.3 <i>Heiße Gase</i>	139
B.3.1 <i>Zündquelle für aufgewirbelten Staub</i>	140
B.3.2 <i>Zündquelle für abgelagerten Staub</i>	140
B.4 <i>Mechanisch erzeugte Funken</i>	140
B.4.1 <i>Zündquelle für aufgewirbelten Staub</i>	140
B.5 <i>Elektrische Betriebsmittel</i>	142
B.5.1 <i>Zündquelle für aufgewirbelten und abgelagerten Staub</i>	142
B.6 <i>Eingetragene Glimmnester</i>	143
B.6.1 <i>Zündquelle für aufgewirbelten und abgelagerten Staub</i>	143
<u>C Zündgefahren infolge elektrostatischer Aufladung</u>	144
C.1 <i>Aufladung von Feststoffen</i>	144
C.1.1 <i>Leitfähigkeit und Aufladbarkeit von Stäuben</i>	146
C.1.2 <i>Leitfähigkeit, Erdung und Aufladbarkeit von Werkstoffen</i>	147
C.1.3 <i>Aufladbarkeit und Erdung von Personen</i>	148
C.2 <i>Entladungsarten</i>	148

<i>C.2.1 Funkenentladung</i>	149
<i>C.2.2 Büschelentladungen</i>	151
<i>C.2.3 Gleitsstielbüschelentladungen</i>	153
<i>C.2.4 Schüttkegelentladungen</i>	155
<i>C.2.5 Gewitterblitzähnliche Entladungen</i>	158
<u>D Gefahrenbeurteilung und Auswahl von Schutzmassnahmen</u>	159
D.1 Vermeidung oder Verringerung der Explosionsgefahr	160
<i>D.1.1 Konzentrationsbegrenzung</i>	160
<i>D.1.2 Inertisierung</i>	161
<i>D.1.3 Vakuum</i>	165
D.2 Vermeidung der Entzündung explosionsfähiger Gemische	165
D.3 Reduzierung der möglichen Auswirkungen einer Explosion	167
<i>D.3.1 Explosionsfeste Bauweise</i>	168
<i>D.3.2 Explosionsdruckentlastung</i>	169
<i>D.3.3 Explosionsunterdrückung</i>	169
<u>E Charakterisierung von staubverarbeitenden Anlagen</u>	172
E.1 Arten der Trocknung	172
E.2 Verschaltung der Apparate	174
<i>E.2.1 Beheizung</i>	174
<i>E.2.2 Peripherie</i>	174
<i>E.2.3 Vor- und nachgeschaltete Apparate</i>	175
<u>F Gruppierung und Parametrisierung der Apparatetypen</u>	177
F.1 Wirbelschichttrockner	177
F.2 Zerstäubungstrockner	179
F.3 Stromtrockner und andere Flugtrockner	182
F.4 Bandtrockner	184
F.5 Kammertrockner/ Trockenschrank/ Kanaltrockner	186
F.6 Trockner mit geringer mechanischer Beanspruchung	188
F.7 Kontaktrockner mit hoher mechanischer Belastung	190

F.8 Siebe und Sichter mit geringer mechanischer Belastung	192
F.9 Mischer ohne bewegte Mischwerkzeuge	194
F.10 Gasstrahlmühlen und pneumatische Mischer	196
F.11 Mühlen, Mischer, Siebe und Sichter hoher mechanischer Beanspruchung	197
F.12 Förderschnecken	198
F.13 Förderbänder	200
F.14 Elevatoren und Becherwerke	201
F.15 Pneumatische Förderung	203
F.16 Lagern	204
F.17 Abscheiden	206
Literaturverzeichnis	209
