

ISBN 3-88314-695-1

# **Forschungsbericht 142**

**Bundesanstalt  
für Materialforschung  
und -prüfung (BAM) Berlin**

## **Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrzahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen**

von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann  
Ing. Günter Krüger  
Dr. rer. nat. Norbert Pfeil  
Dr. rer. nat. Sigrid von Zahn-Ullmann

Oktober 1987

74 Seiten, 38 Bilder, 14 Tabellen

Herausgegeben von der  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)  
Unter den Eichen 87, 1000 Berlin 45  
Telefon (030) 8104-1 Telex 183 261 bamb d Telefax (030) 8 112 029

Copyright © 1987 by Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

Verlag und Vertrieb:  
Wirtschaftsverlag NW  
Verlag für neue Wissenschaft GmbH  
Postfach 10 11 10, 2850 Bremerhaven 1  
Telefon (0471) 46093-95



Gewidmet dem Präsidenten der BAM  
Herrn Professor Dr. G. W. Becker  
zu seinem 60. Geburtstag



## Kurzfassung

Die sicherheitstechnischen Kenndaten von 25 binären Mischungssystemen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen, insgesamt 240 explosionsfähige oder -gefährliche Einzelzusammensetzungen in Art pyrotechnischer Sätze, werden tabellarisch mitgeteilt. Ferner wird ein Verfahren beschrieben, mit dem die sicherheitstechnischen Kenndaten zu Kennzahlen der Gefährlichkeit zusammengefaßt werden können. Der Verlauf dieser Gefahrzahlen ist für jedes System grafisch als modifizierte Glockenkurve dargestellt. Die Parameter dieser Funktion werden für eine vergleichende Diskussion der untersuchten Systeme genutzt. Eine kritische Betrachtung zur Gruppeneinteilung pyrotechnischer Sätze nach der einschlägigen Unfallverhütungsvorschrift schließt den Bericht.

Sicherheitstechnische Kenndaten - Gefahrzahlen - explosionsfähige Stoffe - binäre Mischungen - pyrotechnische Sätze - Gefahrgruppen

## Abstract

Safety characteristic data of 25 systems of binary mixtures of oxidizing and combustible substances are presented tabularly, altogether 240 different explosive mixtures or pyrotechnic compositions respectively. Furthermore a method to combine the safety characteristic data to numbers presenting the degree of hazard is described. A modified Gaussian function fitted to these hazard numbers versus composition is plotted for each system. The parameters of these functions are used for a comparative discussion of the systems investigated. The report closes with a critical view of the assignment of pyrotechnic compositions to the hazard groups of safety rules.

Safety characteristic data - hazard numbers - explosive substances - binary mixtures - pyrotechnic compositions - hazard groups



<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung</b>	1
<b>2. Grundlagen</b>	3
2.1 Grundlegende Begriffe	3
2.2 Gruppeneinteilung pyrotechnischer Sätze	4
<b>3. Ermittlung von Kennzahlen der Gefährlichkeit</b>	7
3.1 Prüfmethode	9
3.1.1 Prüfmethode zur Ermittlung der thermischen Sensibilität	9
3.1.2 Prüfmethode zur Ermittlung der mechanischen Sensibilität	10
3.1.3 Prüfmethode zur Ermittlung der Sensibilität gegen Detonationsstoß	10
3.2 Wertung der Prüfergebnisse	11
3.2.1 Ermittlung von $k_{th}$	11
3.2.2 Ermittlung von $k_m$	15
3.2.3 Ermittlung von $k_d$	17
<b>4. Untersuchungen an binären Mischungen</b>	19
4.1 Herstellung der Mischungen	20
4.2 Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrzahlen	22
4.3 Grafische Darstellung des Gefahrzahlverlaufes	23
4.4 Ergebnisse	26
4.4.1 Tabellarische Darstellung	27
4.4.2 Diagramme	53
4.5 Diskussion	56
4.5.1 Vorbemerkungen zur tabellarischen Übersicht	56
4.5.2 Diskussion der Ergebnisse	58
<b>5. Zusammenfassung</b>	63
<b>Literaturverzeichnis</b>	64



## 1. Einleitung

Durch Unfälle bei der Herstellung pyrotechnischer Mittel werden immer wieder Menschen verletzt oder getötet und beträchtliche Sachschäden verursacht. Ohne die Unfallursachen im einzelnen zu betrachten, kann man davon ausgehen, daß die Arbeitsschutzvorschriften derartige Unfälle nicht vollständig ausschließen werden. Neben der Verhütung von Unfällen sind daher Maßnahmen zur Verringerung möglicher Unfallfolgen zu treffen. Dies geschieht beispielsweise durch die Einteilung pyrotechnischer Sätze und Mittel in Gruppen unterschiedlicher Gefährlichkeit mit entsprechend abgestuften höchstzulässigen Mengen bei Herstellung, Verarbeitung oder Lagerung. Hierzu ist es notwendig, die Gefährlichkeit eines pyrotechnischen Satzes - oder allgemein eines explosionsfähigen Stoffes - zu charakterisieren bzw. zu quantifizieren.

Die Gefährlichkeit eines Stoffes läßt sich prinzipiell auf drei verschiedene Weisen angeben, und zwar durch Angabe von

- Vergleichsstoffen,
- physikalischen Größen bzw. sicherheitstechnischen Kenngrößen und
- Kennzahlen.

Vergleichsstoffe werden zum Beispiel für die Zuordnung explosionsgefährlicher Stoffe zu den Stoffgruppen A, B und C der Anlage II zum Sprengstoffgesetz /1/ und zu den Gefahrgruppen der Unfallverhütungsvorschriften der chemischen Industrie UVV 46 a /2/ und UVV 46 k /3/ angegeben. Ein klassischer Vergleichsstoff ist das 1,3-Dinitrobenzol, das die empfindlicheren explosionsgefährlichen Stoffe von der Gesamtheit der explosionsfähigen Stoffe abgrenzt. Angaben über die Gefährlichkeit mit Hilfe von Vergleichsstoffen sind zwar in naturwissenschaftlichem Sinne nicht sonderlich exakt, zwingen aber dafür nicht zur Festlegung der Methoden, die für den Vergleich herangezogen werden.

Dementgegen setzt die Angabe ausschließlich physikalischer Größen oder sicherheitstechnischer Kenngrößen (hier zusammenfassend sicherheitstechnische Kenndaten genannt) allgemein anerkannte, nachvollziehbare Bestimmungsmethoden voraus, was zumindest international nicht für alle wesentlichen Eigenschaften explosionsfähiger Stoffe gegeben ist. Dies gilt insbesondere für die sicherheitstechnischen Kenngrößen, die konventionelle, zweckbezogene Meßgrößen sind, mit deren Hilfe bestimmte, in sicherheitstechnischer Hinsicht wichtige, komplexe Phänomene beschreibbar werden und die daher vom gewählten Bestimmungsverfahren abhängig sind /4/.

Beide Wege, die Angabe bzw. Beurteilung von Vergleichsstoffen und von sicherheitstechnischen Kenndaten, setzen ein erhebliches Fachwissen voraus, dimensionslose Kennzahlen zur Charakterisierung der Gefährlichkeit verlangen Fachkenntnisse nur in geringerem Maße. Sie eignen sich daher, auch Laien einen schnellen Überblick zu geben, sofern man die Aussagekraft von Kennzahlen nicht überschätzt, bei denen das Zusammenfassen mehrerer sicherheitstechnischer Kenndaten zu einer größeren Übersichtlichkeit, aber auch zu einem Informationsverlust führt. Im übrigen haben derartige Kennzahlen ebenfalls allgemein anerkannte Prüfmethoden zur Voraussetzung.

Die vorliegende Arbeit verknüpft die drei geschilderten Verfahren. In Zusammen-

arbeit mit der Technischen Fachhochschule Berlin (TFH Berlin) wurden bisher 25 Systeme binärer Mischungen aus festen Oxidations- und Reduktionsmitteln im Rahmen von Diplomarbeiten systematisch untersucht. Die insgesamt 240 binären Mischungen sind aufgrund ihrer Zusammensetzungen nichts anderes als einfachst aufgebaute pyrotechnische Sätze, deren sicherheitstechnische Kenndaten nach seit langem angewendeten Methoden /5/ untersucht wurden und in Abschnitt 4.4.1 angegeben sind.

In Abschnitt 3 dieses Berichtes wird ausführlich geschildert, wie aus diesen Kenndaten Kennzahlen der Gefährlichkeit ermittelt werden; die Verfahrensweise selbst wurde in unterschiedlicher Ausführlichkeit bereits früher veröffentlicht /6 - 8/. Die für die untersuchten binären Mischungen erhaltenen Kennzahlen sind ebenfalls in Abschnitt 4.4.1 angegeben und außerdem in grafischer Form in Abschnitt 4.4.2. Eine Übersicht über die Untersuchungsergebnisse von 18 der hier vorgestellten Systeme wurde in ausschließlich grafischer Form in /9/ gegeben, da jedoch auch die Publikation des gesamten Datenmaterials erforderlich scheint, muß dies wegen des Umfanges einer vollständigen Darstellung der Arbeiten in einem Forschungsbericht geschehen.

Ähnliche Verfahren zur Ermittlung von Kennzahlen der Gefährlichkeit wurden in den vergangenen Jahren auch in anderen Ländern eingeführt. Nach Veröffentlichung des in der BAM angewendeten Verfahrens in Japan /7/ wurde dort noch ein für unempfindliche explosionsfähige Stoffe modifiziertes Verfahren mehrfach publiziert /z. B. 10/. In Kanada werden Kennzahlen für verschiedene Empfindlichkeits- und Wirkungsparameter pyrotechnischer Sätze und Treibladungspulver zur Information von Betriebsangehörigen über die Gefährlichkeit dieser Stoffe genutzt /11/, und in Finnland werden pyrotechnische Sätze mit Hilfe einer Kennzahl, basierend auf nur wenigen sicherheitstechnischen Kenndaten, in Gefahrklassen eingeteilt /12/. Ein weiteres Verfahren /53/ ordnet den Ergebnissen von 12 Methoden für die Prüfung von Sprengstoffen jeweils linear korrelierte Empfindlichkeitsindizes zu und faßt diese zu einem mittleren Empfindlichkeitsindex, der verschiedene Arten von Auslösungsmechanismen berücksichtigt, zusammen. Damit kann außerdem gezeigt werden, ob die Prüfmethode, z. B. verschiedene Gaptests, zu übereinstimmenden Ergebnissen führen.

Letztlich ist die Tabelle in Abschnitt 4.4.1 auch eine Beispielsammlung wie diejenigen zu den Gefahrgruppen in den oben zitierten Unfallverhütungsvorschriften. Mit der durch die Kennzahlen erleichterten Zuordnung der untersuchten binären Mischungen zu den jeweiligen Gruppen pyrotechnischer Sätze wird die Beispielsammlung der UVV 46 k erweitert und durch die Kenntnisse der sicherheitstechnischen Kenndaten auch quantitativ aussagekräftig. Darüberhinaus kann auch die Zuordnung der bisherigen Beispiele einer kritischen Betrachtung unterzogen werden.

Mit dem Vorlegen dieses Berichtes hoffen die Autoren, einen wesentlichen Beitrag zur besseren Einschätzung der Gefährlichkeit pyrotechnischer Sätze zu leisten und damit auch zur Erhöhung der Sicherheit in der pyrotechnischen Industrie.



## 2. Grundlagen

In der Einleitung sind einige Begriffe erwähnt, die im folgenden für denjenigen, der nicht mit explosionsgefährlichen Stoffen im allgemeinen und mit pyrotechnischen Sätzen und Mitteln im besonderen vertraut ist, kurz erläutert werden. Etwas ausführlicher wird die Zuordnung pyrotechnischer Sätze zu den Gruppen der UVV 46 k behandelt.

### 2.1 Grundlegende Begriffe

Die Pyrotechnik ist die Kenntnis von der Herstellung und Anwendung von Gegenständen, die Vergnügungszwecken oder technischen Zwecken dienen und in denen explosionsgefährliche Stoffe oder Stoffgemische enthalten sind, die dazu bestimmt sind, unter Ausnutzung der in diesen enthaltenen Energie Licht-, Schall-, Rauch-, Nebel-, Heiz-, Druck- oder Bewegungswirkungen zu erzeugen /1/. Diese Gegenstände werden pyrotechnische Mittel, die Stoffe und Stoffgemische pyrotechnische Sätze genannt.

Die pyrotechnischen Mittel werden in der Bundesrepublik Deutschland entsprechend den Rechtsvorschriften in pyrotechnische Gegenstände und aus Waffen verschossene pyrotechnische Munition unterteilt. Erstere unterliegen dem Sprengstoffgesetz, letztere dem Waffengesetz /13/. Bild 1 verdeutlicht noch einmal diese Zusammenhänge.

Pyrotechnische Sätze sind meist Mischungen aus kondensierten Oxidations- und Reduktionsmitteln, denen zur Erzielung der gewünschten Effekte Bindemittel, Katalysatoren, Inertstoffe, Farbstoffe usw. zugesetzt werden. Die verbrennlichen und die oxidierend wirkenden Bestandteile - letztere fast stets Sauerstoffträger -

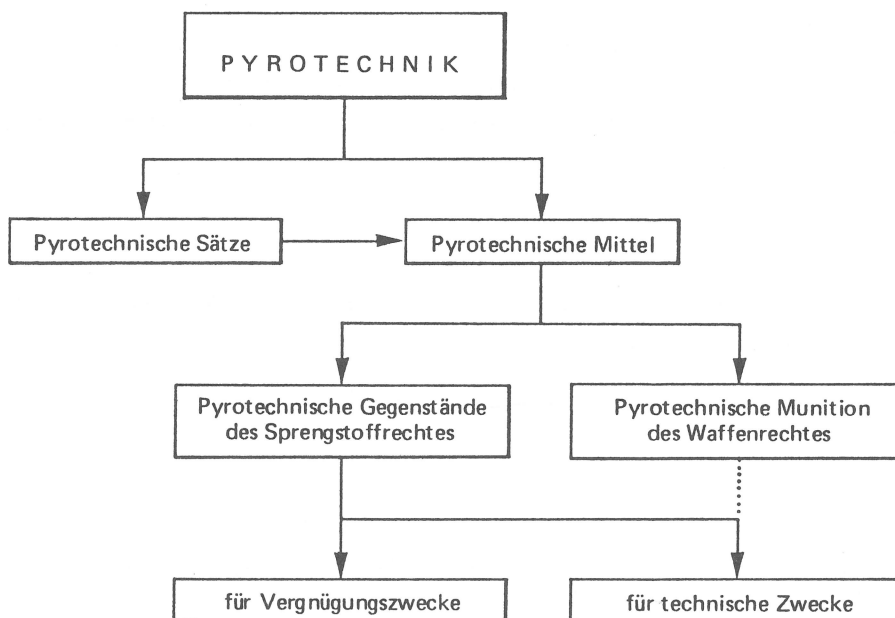


Bild 1: Gliederung von Begriffen aus der Pyrotechnik

können auch in einer Verbindung vereinigt sein. Pyrotechnische Sätze können nach Auslösung in verschiedener Weise exotherm, d. h. unter Freisetzung von Wärme, reagieren; und zwar können sie abnebeln, abrauchen, abglimmen, abbrennen, defla-

grieren oder detonieren. Die schnelle Deflagration und die Detonation faßt man wegen ihrer Wirkung zum Begriff Explosion zusammen.

Explosionsfähige Stoffe sind Stoffe, die infolge ihrer Zusammensetzung einen chemisch gebundenen Arbeitsvorrat enthalten, der durch thermische Einwirkungen (Flamme, glühende Gegenstände), durch mechanische Beanspruchung (Schlag, Reibung), durch Detonationsstoß (Sprengkapsel, Detonator) oder durch eine andere Art der Auslösung in Form hochgespannter Gase freigemacht werden kann, so daß eine plötzliche Druckwirkung hervorgerufen wird /14/.

Explosionsgefährliche Stoffe im Sinne des Sprengstoffgesetzes /1/ sind feste oder flüssige Stoffe oder Zubereitungen, die durch eine nicht außergewöhnliche thermische, mechanische oder andere Beanspruchung zur Explosion gebracht werden können; d. h., die bei Durchführung der Prüfverfahren nach Anlage I zu diesem Gesetz zur Explosion oder zu einer nach den Prüfvorschriften der Explosion gleichgestellten chemischen Umsetzung gebracht werden. Bild 2 verdeutlicht den Zusammenhang mit den explosionsfähigen und den nicht explosionsfähigen Stoffen.

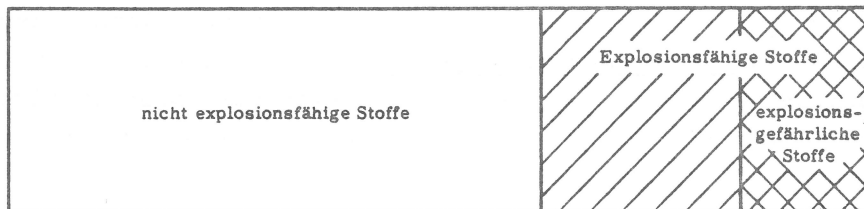


Bild 2: Schematische Einteilung der bei Raumtemperatur kondensierten Stoffe hinsichtlich ihrer Explosionsfähigkeit und -gefährlichkeit

## 2.2 Gruppeneinteilung pyrotechnischer Sätze

Die Unfallverhütungsvorschrift 46 k "Herstellen pyrotechnischer Gegenstände" verpflichtet den Unternehmer, pyrotechnische Sätze nach ihrem Abbrandverhalten sowie nach ihrer mechanischen und thermischen Empfindlichkeit den fünf nachfolgend beschriebenen Gruppen abgestufter Gefährlichkeit zuzuordnen /3/:

### Gruppe 1:

Sätze dieser Gruppe brennen sehr heftig ab. Sie können bereits ohne Verdämmung in kleiner Menge explodieren. Sie sind mechanisch oder thermisch sehr empfindlich. Ihre Gefährlichkeit besteht in der Druck- und Flammenwirkung.

### Gruppe 2:

Sätze dieser Gruppe brennen heftig ab. Sie können bei Verdämmung (auch Eigenverdämmung kleiner Mengen) explodieren. Ihre Abbrandgeschwindigkeit steigt bei Eigenverdämmung stark an. Die Sätze sind mechanisch oder thermisch empfindlich. Ihre Gefährlichkeit besteht in der Druck- und Flammenwirkung.

### Gruppe 3:

Sätze dieser Gruppe brennen schnell ab. Sie können bei Verdämmung auch explodieren oder deflagrieren (verpuffen). Ihre Abbrandgeschwindigkeit ändert sich mit

Erhöhung der Menge nur geringfügig. Die Sätze sind mechanisch oder thermisch empfindlich. Ihre Gefährlichkeit besteht hauptsächlich in der Flammenwirkung.

#### Gruppe 4:

Sätze dieser Gruppe brennen mit langsamer bis mittlerer Geschwindigkeit ab. Ihre Abbrandgeschwindigkeit erhöht sich bei zunehmender Menge im allgemeinen nicht. In verdämmtem Zustand können die Sätze auch deflagrieren (verpuffen). Sie sind mechanisch oder thermisch verschieden empfindlich. Ihre Gefährlichkeit besteht im wesentlichen in der Flammen- oder Hitzewirkung.

#### Gruppe 5:

Sätze dieser Gruppe brennen langsam ab. Sie sind thermisch und mechanisch wenig empfindlich. Ihre Gefährlichkeit ist gering. Die Umgebung ist nicht gefährdet.

Diese verbale Beschreibung von sicherheitstechnisch relevanten Eigenschaften ermöglicht ohne weitere Charakterisierungshilfen noch keine objektive Zuordnung eines pyrotechnischen Satzes. Hier schaffen die Beispiele für die Gruppeneinteilung in der UVV 46 k Abhilfe:

#### Gruppe 1

Perchlorat-Metallsätze (Knallsätze);

Chlorat-Knallsätze;

Chlorat- oder Perchloratpfeifsätze (mit z. B. Gallussäure, Benzoat, Salicylat);

Cellulosenitrate, trocken, nicht gelatiniert (Collodiumwolle);

Bariumperoxid-Zirconiumsätze;

Phosphor-Perchlorat-Knallsatz.

#### Gruppe 2

Nitrat-Metall-Schwefelsätze;

Chloratsätze mit mehr als 65 % Chlorat;

Schwarzpulver;

Nitrat-Borsätze;

Xylokoll.

#### Gruppe 3

Nitrat-Metallsätze, z. B. auf Basis von Magnesium;

Aluminium mit Alkali- oder Erdalkalinitraten ohne Schwefel;

Chloratsätze mit bis zu 65 % Chlorat;

Sätze mit Anteilen von Schwarzpulver;

Bleioxid-Silicium mit mehr als 60 % Bleioxiden;

Perchlorat-Metallsätze, aber andere als Knallsätze.

#### Gruppe 4

Rauchsätze;

Nebelsätze, außer den in Gruppe 5 genannten;

Chloratsätze mit weniger als 35 % Chlorat;

Thermitsätze;

Verzögerungssätze auf der Basis von Bariumnitrat, Schwefel und Kohle;

Verzögerungssätze auf der Basis von Kaliumperchlorat-Bariumchromat und Zirconium-  
Nickel-Legierungen;

Schädlingsbekämpfungssätze auf Aluminium-Calciumphosphat-Kaliumnitrat-Basis;

Schädlingsbekämpfungssätze auf Aluminium-Phosphor-Basis;

Schädlingsbekämpfungssätze auf Kaliumnitrat-Schwefel-Basis;

Brandsätze aus Leichtmetall und rotem Phosphor ohne Oxidationsmittel.

#### Gruppe 5

Langsam abbrennende Heissätze;

Nebelsätze aus Hexachlorethan, mit Zink, Zinkoxid und weniger als 5 % Aluminium  
oder weniger als 10 % Calcium-Silicium.

Es wird aber ausdrücklich darauf hingewiesen, daß die Beispiele nur zeigen, welche Sätze zu den einzelnen Gruppen gehören können und daß bei abweichenden Eigenschaften auch andere Zuordnungen möglich sind. Um so mehr ist neben der oben gegebenen verbalen Charakterisierung eine Quantifizierung der Gefährlichkeit wünschenswert.

### 3. Ermittlung von Kennzahlen der Gefährlichkeit

Die in der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung verwendeten Prüfmethoden zur Ermittlung sicherheitstechnischer Kenndaten explosionsfähiger Stoffe /5/ - und damit auch pyrotechnischer Sätze - sind das Ergebnis einer jahrzehntelangen Entwicklung. Sie weisen alle Vor- und Nachteile einer solchen Entwicklung auf, und zwar einerseits eine große Zahl von Prüfergebnissen /15 - 18/, die zu Vergleichszwecken herangezogen werden können und andererseits eine Starrheit, die die Einführung neuer oder die Variation bestehender Prüfmethoden erschwert. Die Prüfmethoden lassen sich in vier Gruppen einteilen, und zwar in die zur Ermittlung der chemischen Beständigkeit, der thermischen und der mechanischen Sensibilität und der Sensibilität gegenüber einem Detonationsstoß. Einen Überblick gibt Bild 3.

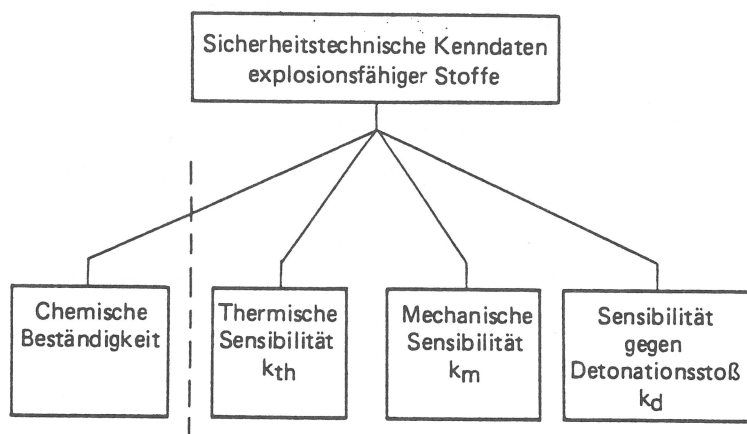


Bild 3: Untergruppen sicherheitstechnischer Kenndaten explosionsfähiger Stoffe (explosive Eigenschaften)

Verlangt man von einem pyrotechnischen Satz, daß er generell ausreichend beständig zu sein hat, so ist seine Gefährlichkeit nur durch die Sensibilität gegen thermische und mechanische Beanspruchung und gegen Detonationsstoß charakterisiert. Die den verschiedenen Sensibilitäten zugrundeliegenden Kenndaten sind zum Teil nur qualitativ, zum Teil mehr oder weniger quantitativ. Im folgenden wird nun geschildert, einem lange Zeit unveröffentlichten Vorschlag von K. H. I d e und H. T r e u m a n n folgend, wie den Ergebnissen der verschiedenen Prüfungen auf explosive Eigenschaften jeweils eine bestimmte Anzahl Punkte zuzuordnen ist und diese zu Maßzahlen zusammenzufassen sind. Dabei wird zwangsläufig dem Wert eines jeden Prüfergebnisses ein gewisses "Gewicht" zugeteilt. Die Zusammenfassung der den Prüfergebnissen zugeordneten Punkte stellt dann eine Kennzahl der relativen Gefährlichkeit bei thermischer, mechanischer bzw. detonativer Beanspruchung dar.

Sofern ein Stoff detonationsfähig ist, wird seine Gefährlichkeit bei der Herstellung, Verarbeitung, Lagerung und Verwendung wesentlich durch diese Eigenschaft bedingt sein. Das Kennzahlensystem muß das zum Ausdruck bringen, insbesondere dann, wenn es - abgesehen vom Initialimpuls einer Sprengkapsel - auf andere Weise möglich ist, in dem Stoff eine Detonation auszulösen, z. B. durch mechanische Stöße, durch Reibung oder durch Brand. Die des öfteren vertretene Ansicht hat sich nicht durchgesetzt, daß eine die Gefährlichkeit ausdrückende Kennzahl sich auf die thermische und mechanische Sensibilität allein stützen

könne, wenn Zündung durch einen Initialimpuls (z. B. Sabotagefall) ausgeschlossen werden könnte.

Die Summe der Maßzahlen schließlich ist eine Kennzahl für die gesamte Gefährlichkeit. Dieses Verfahren würde sich einfach gestalten, wenn die Beanspruchungen des Stoffes bei den einzelnen Prüfmethode dem Energiebetrage nach ungefähr gleich wären. Das ist jedoch nicht der Fall, wie eine überschlägige Berechnung zeigt. So beträgt die zugeführte Energie beim Reibversuch größenordnungsmäßig 4 J, bei der Ermittlung der Schlagempfindlichkeit 40 J, bei der Prüfung im 1"-Rohr mit der Sprengkapsel Nr. 8 ca. 4 kJ und beim Stahlhülsenversuch (Koenen-Test) 8 kJ. Es ist also nicht zu erwarten, daß z. B. die beim Reibversuch ermittelte Explosionswahrscheinlichkeit die gleiche Bedeutung hat, wie die beim Schlagversuch oder beim Stahlhülsenversuch gefundene.

Die den Ergebnissen der verschiedenen Prüfungen zugeordneten Punktzahlen sind so gewählt, daß die Maßzahlen der thermischen und mechanischen Sensibilität des 1,3-Dinitrobenzols, das häufig als Vergleichssubstanz herangezogen wird, den Wert Null erhalten. Die Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die einzelnen Prüfungen und die maximal möglichen Punkte. Die Maßzahlen für die thermische Sensibilität  $k_{th}$ , die mechanische Sensibilität  $k_m$  und die Sensibilität gegen Detonationsstoß  $k_d$  haben einen Maximalwert von 100 und damit ein gleiches Gewicht. Die Kennzahl für die Gesamtgefährlichkeit G ist dann die Summe der thermischen, mechanischen und detonativen Maßzahlen

$$G = k_{th} + k_m + k_d.$$

**Tabelle 1:** Bewertung von Prüfergebnissen für die Ermittlung der Gefahrzahl G

Sensibilität	sicherheitstechnische Kenngröße	maximale Bewertung			
		Punkte	Maßzahl k	Kennzahl G	
thermische	Entzündungstemperatur	10	100	300	
	Entzündlichkeit durch	Funken			10
		Zündschnur			10
		Gasflamme			10
		glühenden Stahlstab			10
	Brenndauer in der glühenden Stahlschale	10			
Grenzdurchmesser beim Koenen-Test	40				
mechanische	Reibempfindlichkeit	50	100	300	
	Schlagempfindlichkeit	50			
gegen Detonationsstoß	Bleiblockausbauchung	50	100		
	Verhalten im Stahlrohr	50			

Sie wird im folgenden auch Gefahrzahl genannt und kann maximal den Wert 300 annehmen, wobei eine große Zahl eine hohe Gefährlichkeit bedeutet. Eine multiplikative Verknüpfung der Maßzahlen wäre nicht sinnvoll, weil bei nicht mehr feststellbarer Empfindlichkeit eines Stoffes gegen eine Beanspruchungsart die zugeordnete Maßzahl Null und damit das die Gesamtgefährlichkeit kennzeichnende Produkt gleichfalls Null würde.

Die Kennzahl G für die Gesamtgefährlichkeit eines Stoffes oder eines Stoffgemisches bedingt allerdings eine gewisse Unvollständigkeit der Aussage, als aus dem Wert der Gefahrzahl nicht hervorgeht, gegen welche Einwirkungen die Substanz besonders empfindlich ist. Um dies erkennen zu können, werden hinter den Zahlenwert der Gefahrzahl die Indices T, M, D gesetzt, falls die entsprechenden Maßzahlen den Wert 50 übersteigen. Z. B. würde die Gesamtgefährlichkeit eines Stoffes mit einer

thermischen Sensibilität	$k_{th} = 75$ und einer
mechanischen Sensibilität	$k_m = 39$ und einer
Sensibilität gegen Detonationsstoß	$k_d = 81$

beschrieben werden als  $G = 195T_D$ .

In den folgenden Abschnitten wird ausführlich über die Zuordnung von Punkten zu den einzelnen Prüfergebnissen (Bewertung der sicherheitstechnischen Kenngrößen) berichtet, auf die bereits früher veröffentlichte Beschreibung der dazugehörigen Prüfmethode /5/ wird nochmals verwiesen. Die Prüfung "Verhalten der Probe beim Erhitzen unter Einschluß im Glasröhrchen" wird nicht mehr ausgeführt, da die Ergebnisse denen der Prüfung "Verhalten der Probe beim Erhitzen unter Einschluß in der Stahlhülse (Koenen-Test)" entsprechen, aber keine quantitative Auswertung erlauben.

### 3.1 Prüfmethode

Die in Tabelle 1 aufgeführten sicherheitstechnischen Kenngrößen werden mit den nachfolgend aufgezählten 11 bzw. 12 Prüfmethode ermittelt, davon dienen

- 7 bzw. 8 zur Ermittlung der thermischen Sensibilität,
- 2 zur Ermittlung der mechanischen Sensibilität und
- 2 zur Ermittlung der Sensibilität gegenüber Detonationsstoß.

#### 3.1.1 Prüfmethode zur Ermittlung der thermischen Sensibilität

- 3.1.1.1 "Entzündungstemperatur beim Erhitzen im Wood'schen Metallbad bei definiertem Temperaturanstieg (20°C/min)"
- 3.1.1.2 "Entzündlichkeit durch Cereisenfunken"
- 3.1.1.3 "Entzündlichkeit durch den Zündstrahl einer Schwarzpulverzündschnur"
- 3.1.1.4 "Entzündlichkeit durch eine 2 cm hohe Gasflamme"
- 3.1.1.5 "Entzündlichkeit durch einen rotglühenden Stahlstab"
- 3.1.1.6 "Verbrennungsdauer beim Einwerfen von 5 ml Substanz in eine rotglühende Stahlschale"
- 3.1.1.7 "Verhalten der Probe beim Erhitzen unter Einschluß in einer Stahlhülse, die durch eine Düsenplatte mit definierter Öffnung verschlossen ist (Koenen-Test)"

alternativ zu 3.1.1.7

3.1.1.7.1 "Verhalten der Probe beim Erhitzen unter Einschluß im Stahlblechkästchen  
80 mm · 80 mm · 80 mm (Wanddicke 1 mm) mit umgebördeltem Boden und  
Deckel"

Die Einführung der Prüfung "Verhalten beim Erhitzen unter Einschluß in einem Stahlblechkästchen ..." hat sich in einigen wenigen Fällen als notwendig erwiesen, und zwar in solchen, in denen das "Verhalten beim Erhitzen unter Einschluß in der Stahlhülse ..." die thermische Sensibilität eines Stoffes oder Stoffgemisches falsch bzw. ungenau wiedergibt. Es wird deshalb bei der Bewertung der Versuchsergebnisse beim Erhitzen unter Einschluß so vorgegangen, daß im allgemeinen die Prüfung "Verhalten in der Stahlhülse ... (Koenen-Test)" zur Bewertung herangezogen wird, da diese Prüfung eine quantitative Aussage über das Verhalten des Stoffes ermöglicht. Nur in den Fällen, in denen das "Verhalten im Stahlblechkästchen" einen höheren Grad der Gefährlichkeit erkennen läßt, wird statt des "Verhaltens in der Stahlhülse" die Prüfung "Verhalten im Stahlblechkästchen" gewertet.

3.1.2 Prüfmethoden zur Ermittlung der mechanischen Sensibilität

3.1.2.1 "Reibempfindlichkeit im Reibapparat der BAM"

Die auf einer rauhen Porzellanplatte befindliche Substanz wird mit definierter Geschwindigkeit durch das abgerundete, rauhe Ende eines definiert belasteten Porzellanstifts gerieben.

3.1.2.2 "Schlagempfindlichkeit unter Einschluß (Fallhammer-Test)"

Standardisierte Gewichte fallen aus bestimmten Höhen auf die Substanz, die zwischen zwei in einem stählernen Führungsring übereinander angeordneten Stahlzylindern eingeschlossen ist.

3.1.3 Prüfmethoden zur Ermittlung der Sensibilität gegen Detonationsstoß

3.1.3.1 "Empfindlichkeit gegen den Detonationsstoß einer Nitropenta-Sprengkapsel im Bleiblock nach Trauzl"

3.1.3.2 "Empfindlichkeit gegen Detonationsstoß in beidseitig geschlossenen Stahlrohren"

3.1.3.2.1 Stahlrohr von 1" Durchmesser, 300 mm Länge, 4 mm Wanddicke; Nitropenta-Sprengkapsel Nr. 8

3.1.3.2.2 Stahlrohr von 2" Durchmesser, 500 mm Länge, 5 mm Wanddicke; Nitropenta-Sprengkapsel Nr. 8 verstärkt durch 50 g Hexogen mit 5 % Wachs

3.1.3.2.3 Stahlrohr von 4" Durchmesser, 1000 mm Länge, 8 mm Wanddicke; Nitropenta-Sprengkapsel Nr. 8 verstärkt durch 100 g Hexogen mit 5 % Wachs



## 3.2 Wertung der Prüfergebnisse

### 3.2.1 Ermittlung von $k_{th}$

Für die Ermittlung der Maßzahl  $k_{th}$  für die thermische Sensibilität werden die Ergebnisse der Prüfungen 3.1.1.1 bis 3.1.1.7.1 herangezogen. Der Maximalwert für die Maßzahl der thermischen Sensibilität ist willkürlich gleich 100 gesetzt. Da die verschiedenen Prüfungen von unterschiedlichem Gewicht sowohl hinsichtlich ihrer Bedeutung für die Beurteilung der explosiven Eigenschaften eines Stoffes oder Stoffgemisches als auch hinsichtlich der Genauigkeit der Prüfmethode sind, erscheint es nicht angängig, jeder der zur Bewertung herangezogenen Prüfmethoden den gleichen Anteil an diesem Maximalwert 100 zuzubilligen. Bei einer differenzierten Bewertung wurde so vorgegangen, daß den Ergebnissen der Prüfungen 3.1.1.1 bis 3.1.1.6 jeweils maximal 10 Punkte zugeordnet wurden und dem Ergebnis der Prüfung 3.1.1.7 bzw. 3.1.1.7.1 maximal 40 Punkte.

#### 3.2.1.1 Die Wertung der "Entzündungstemperatur beim Erhitzen im Wood'schen Metallbad bei definiertem Temperaturanstieg (20°C/min)"

Für den Maximalwert dieser Prüfung stehen 10 Punkte zur Verfügung. Für die Bewertung wurde angenommen:

- Stoffe oder Stoffgemische, die erst über 360°C sich entzünden oder verpuffen oder explodieren, sind relativ ungefährlich und erhalten die Punktzahl 0.
- Stoffe oder Stoffgemische, die unterhalb von 160°C sich entzünden oder verpuffen oder explodieren, sind höchst gefährlich und erhalten die maximale Punktzahl 10.
- Zwischen 360°C und 160°C nimmt die (Punktzahl der) Gefährlichkeit linear mit sinkender Entzündungs- bzw. Explosionstemperatur zu.

Bei Gültigkeit der drei Annahmen ist die Beziehung zwischen Punktzahl P und der Temperatur  $\vartheta_i$  in °C, bei der die Substanz sich entzündet oder verpufft oder explodiert mit der Festlegung  $P = 0$  für  $\vartheta_i = 360^\circ\text{C}$  und  $P = 10$  für  $\vartheta_i = 160^\circ\text{C}$  gegeben durch die einfache Gleichung

$$P = \frac{360 - \vartheta_i}{20}$$

Die Wertung der nachstehenden Temperaturintervalle in Tabelle 2 ist dieser Funktion angenähert, wobei eine Entzündungstemperatur von genau 360°C auch noch mit einem Punkt bewertet wird. Die Spalten "Kurzzeichen" der Tabelle dienen dazu, Ergebnisse der Prüfungen in so knapper Form mitzuteilen, daß sie in die Tabelle "Sicherheitstechnische Kenndaten" hineinpassen.

#### 3.2.1.2 Die Wertung der "Entzündlichkeit durch Cereisenfunken, den Zündstrahl bis einer Schwarzpulverzündschnur, eine 2 cm hohe Gasflamme und einen rot-glühenden Stahlstab"

Die Wertung von vier verschiedenen Verhaltensweisen einer untersuchten Probe ist in der Tabelle 3 angegeben.

Tabelle 2: Wertung der Entzündungstemperatur

$\vartheta_i$ in °C	Punktzahl	Kurzzeichen
bis 360 keine Entzündung	0	k.E.
360 - 331	1	
330 - 311	2	
310 - 291	3	
290 - 271	4	
270 - 251	5	
250 - 231	6	
230 - 211	7	
210 - 191	8	
190 - 161	9	
≤ 160	10	

Tabelle 3: Wertung der Entzündlichkeiten

Verhalten	Punktzahl	Kurzzeichen
wird nicht entzündet	0	-
raucht flammenlos ab oder wird entzündet und raucht ab oder verlischt nach Entfernen der Zündquelle	4	(+)
wird entzündet und brennt oder glüht durch	8	+
wird entzündet und verpufft oder explodiert	10	Vp., Ex.

### 3.2.1.6 Die Wertung der "Verbrennungsdauer beim Einwerfen von 5 ml Substanz in eine rotglühende Stahlschale"

Es wurde von der Tatsache ausgegangen, daß es in bezug auf die Gefährlichkeit eines Stoffes sehr wichtig ist, ob er in weniger als 1 s verpufft oder verbrennt oder ob dieser Vorgang beispielsweise 4 s oder länger dauert; d. h. die Punktzahl der Gefährlichkeit sollte der Verbrennungsdauer umgekehrt proportional sein. Dann wäre die Punktzahl P mit der Verbrennungsdauer  $t_c$  im Bereich von 1 s bis 10 s durch die Gleichung

$$P = \frac{k}{t_c}$$

verknüpft (k ist ein Proportionalitätsfaktor). Für die Bewertung wird angenommen, daß Proben, die sich überhaupt nicht entzünden oder mehr als 10 s zur Verbrennung brauchen, 0 Punkte erhalten.<sup>1)</sup> Proben, die in weniger als 1 s verbrennen, werden 10 Punkte zugeteilt. Die Wertung der in Tabelle 4 aufgeführten vier Bereiche der

1) Normalerweise ist die Brenndauer die Zeit vom Entzünden des Stoffes bis zum Verlöschen der Flamme am Ende der Reaktion. Bei einigen unüblichen pyrotechnischen Sätzen wird  $t_c$  gerechnet vom kurzzeitigen Aufflammen bis zum Ende des Durchglühens, d. h. bis zum Ende des Oxidationsvorganges. Bei anderen Sätzen, bei denen trotz anfänglichen Aufflammens die Hauptmenge des Stoffes nicht reagiert hat, muß die Brenndauer >10 s und die Punktzahl 0 angegeben werden.

Verbrennungsdauer in Sekunden entspricht für die mittleren Verbrennungsdauern der Funktion

$$P = \frac{7,2}{t_c} .$$

Tabelle 4: Wertung der Verbrennungsdauer

$t_c$ in s	Punktzahl	Kurzzeichen
>10 oder keine Entzündung	0	>10 oder -
10 - 4	1	
3,9 - 3	2	
2,9 - 2	3	
1,9 - 1	5	
≤1 (ggf. Verpuffung)	10	≤1 (ggf. Vp.)

3.2.1.7 Die Wertung des "Verhaltens beim Erhitzen unter Einschluß in einer Stahlhülse, die durch eine Düsenplatte mit definierter Öffnung verschlossen ist (Koenen-Test)"

Die maximal für diese Prüfung zur Verfügung stehende Punktzahl soll 40 sein. Als Maß für die Empfindlichkeit eines Stoffes bei dieser Prüfung wird im Regelfall der größte Durchmesser ("Grenzdurchmesser") der Öffnung in der Düsenplatte genommen, bei dem unter drei Versuchen der geprüfte Stoff mindestens einmal zur Explosion gelangt. Als "Explosion" gilt die Zerlegung der Hülse in mindestens 3 Splitter; falls der obere Teil der verschlossenen Hülse als Ganzes abgesprengt wird, so zählt er als ein Splitter. Zieht man in Betracht, daß der maximale Düsendurchmesser 24 mm beträgt (Hülse offen) und der maximalen Punktzahl 40 entsprechen soll, und würde man die Wertung so vornehmen, daß die Punktzahl der Gefährlichkeit linear mit dem Düsendurchmesser  $d$  in mm ansteigt, so ergäbe sich die Funktion der Geraden

$$P = \frac{40}{24} d = 1,6 d,$$

die als Nr. II in Bild 4 dargestellt ist.

Bedenkt man aber, daß die Abströmöffnung mit dem Quadrat des Durchmessers wächst, so bietet sich an, die Punktzahl der Abströmfläche zuzuordnen. Wenn auch hier dem maximalen Durchmesser die Punktzahl 40 entsprechen soll, erhält man die Funktion

$$P = \frac{40}{24^2} d^2 = 0,069 d^2,$$

siehe Kurve Nr. I in Bild 4.

Beide Kurven entsprechen nicht der Erfahrung bei der sicherheitstechnischen Beurteilung von explosionsgefährlichen Stoffen. Danach ist es von wesentlich größerer Bedeutung, ob ein Stoff z. B. bei 2 mm oder 3 mm Düsendurchmesser explodiert oder ob die Explosion bei 18 mm oder 20 mm Düsendurchmesser eintritt. D. h., die Zunahme der (Punktzahl der) Gefährlichkeit müßte im Bereich kleiner Düsendurchmesser am größten sein und dann mit steigenden Düsendurchmessern allmählich abnehmen. Ein derartiges Verhalten zeigt die Kurve des natürlichen Logarithmus, d. h.  $P \sim \ln d$ .

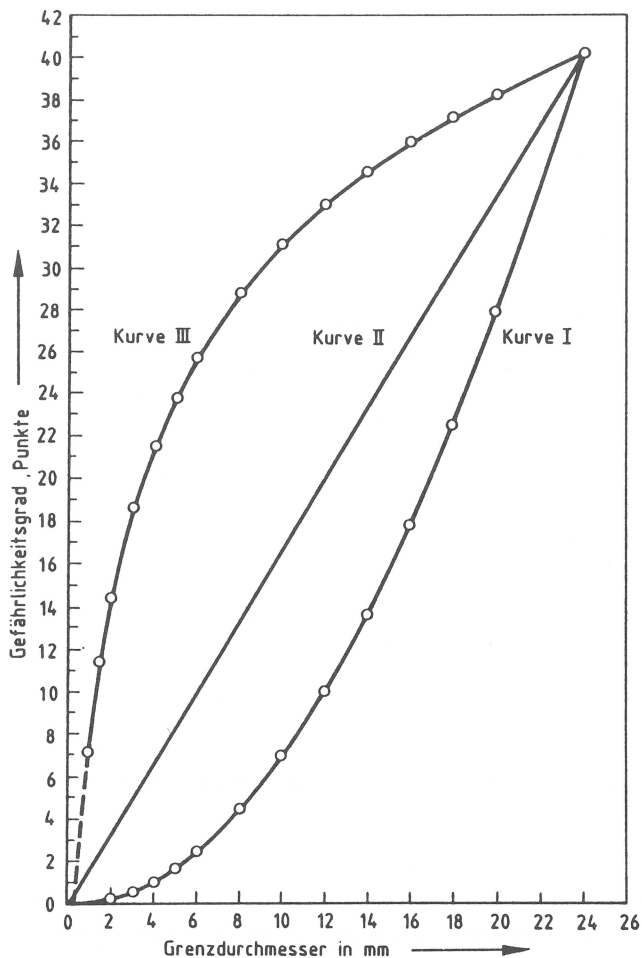


Tabelle 5: Wertung des Grenzdurchmessers

Grenzdurchmesser in mm	Punktzahl	Kurzzeichen
bei 1 keine Explosion	0	k.Ex.
1	7	
1,5	11	
2	14	
2,5	16	
3	18	
3,5	20	
4	22	
5	24	
6	26	
8	29	
10	31	
12	33	
14	34	
16	36	
18	37	
20	38	
24	40	

Bild 4: Wertung des Grenzdurchmessers der Stahlhülse

Definitionsgemäß hat diese Kurve aber für  $d = 1$  mm den Wert 0, während in Wirklichkeit Stoffe, die bei einem Düsendurchmesser von 1 mm explodieren, noch von erheblicher Gefährlichkeit sind. Ein dieser Tatsache besser angepaßtes Verhalten zeigt die Funktion

$$P = a + b \ln d.$$

Wenn auch hier 40 Punkte dem Durchmesser  $d = 24$  mm entsprechen sollen und willkürlich  $P = 7$  für  $d = 1$  mm festgelegt wird, so ergibt sich die Funktion

$$P = 7 + 10,4 \ln d,$$

die der Kurve III in Bild 4 entspricht. Ebenso sind die gerundeten und sinnvoll abgestuften Werte der Tabelle 5 nach dieser Gleichung berechnet.

3.2.1.7.1 Die Wertung des "Verhaltens der Probe beim Erhitzen unter Einschluß in Stahlblechkästchen 80 mm · 80 mm · 80 mm (Wanddicke 1 mm) mit umbördeltem Boden und Deckel"

Wie bereits erwähnt, ergeben in einigen wenigen Fällen die Ergebnisse dieser Prüfung ein höheres Maß an Gefährlichkeit der geprüften Substanz als die Prüfung des "Verhaltens unter Einschluß in der Stahlhülse ... (Koenen-Test)". In diesen Fällen wird nur die Prüfung im Stahlblechkästchen bewertet. Die maximale Punktzahl beträgt auch hier 40.

Es lassen sich sechs typische Ergebnisse nach dem Erhitzen im Stahlblechkästchen unterscheiden, die in Tabelle 6 aufgeführt sind. Die Wertungen entsprechen dem zunehmenden Gefährlichkeitsgrad.

Tabelle 6: Wertung der Prüfung im Stahlblechkästchen

Versuchsergebnis	Punktzahl
keine Entzündung oder nur schwache Deformierung des Kästchens	0
Brand; eine oder mehrere Kanten aufgerissen	8
Verpuffung; Deckel oder Boden abgerissen, Kästchen aufgebeult	16
Verpuffung; Deckel oder Boden abgerissen, Kästchen aufgerissen	24
Explosion; Deckel und Boden abgerissen, Seitenwände aufgeklappt	32
Explosion; Kästchen zerlegt	40

### 3.2.2 Ermittlung von $k_m$

Der Maximalwert für die Maßzahl der mechanischen Sensibilität  $k_m$  ist ebenso wie die Maximalwerte für die anderen Sensibilitäten mit 100 festgelegt worden. Da in dieser Gruppe nur zwei Prüfungen zur Bewertung herangezogen werden - "Reibempfindlichkeit im Reibapparat der BAM" und "Schlagempfindlichkeit unter Einschluß (Fallhammer-Test)" -, die als gleichwertig angesehen werden, werden jeder dieser Prüfungen maximal 50 Punkte zugeteilt.

#### 3.2.2.1 Die Wertung der "Reibempfindlichkeit im Reibapparat der BAM"

Als Maßstab für die Gefährlichkeit eines Stoffes wird die niedrigste Stiftbelastung  $F$  in N angegeben, bei der unter sechs Versuchen mindestens einmal eine Reaktion (d. h. Entflammung oder Knistern oder Explosion) eintritt. Es wird angenommen, daß die (Punktzahl der) Gefährlichkeit in den Meßgrenzen (10 N bis 360 N) mit sinkender Stiftbelastung linear zunimmt.

Setzt man willkürlich die Punktzahl für 360 N gleich 1 und für 10 N gleich 50, so erhält man die Gleichung der Geraden

$$P = 51 - 0,14 F,$$

die die Wertung der Reibstiftbelastung festlegt. Die (gerundeten) Werte der Tabelle 7 sind nach dieser Gleichung berechnet; erfolgt bei 360 N keine Reaktion, wird die Punktzahl 0 festgesetzt.

Tabelle 7: Wertung der Reibstiftbelastung

Stiftbelastung 1) in N	Punktzahl	Kurzzeichen
bis 360 keine Reaktion	0	k.R.
360	1	
240	17	
160	29	
120	34	
80	40	
60	43	
40	45	
20	48	
10	50	

1) Die Stiftbelastung wurde mit der Erdbeschleunigung  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$  berechnet, ist also tatsächlich um 1,9 % kleiner.

### 3.2.2.2 Die Wertung der "Schlagempfindlichkeit unter Einschluß (Fallhammer-Test)"

Zur Bewertung der Schlagempfindlichkeit wird hier die niedrigste Schlagenergie  $E$  in J (Fallgewicht in N x Fallhöhe in m) herangezogen, bei der unter sechs Versuchen mindestens einmal Explosion eintritt.

Bei der Beurteilung des Versuchsergebnisses wird zur "Explosion" (mit schwachem bis starkem Knall) auch die weniger häufig auftretende "Entflammung ohne Knall" gerechnet, bei der die gesamte Probe reagiert hat.

Zu "keine Reaktion" zählt auch die "Zersetzung" (ohne Knall, aber kenntlich durch Verfärbung oder Geruch). Es wird auch hier angenommen, daß im Meßbereich 1 J bis 50 J die (Punktzahl der) Gefährlichkeit mit sinkender Schlagenergie linear zunimmt. Für 1 J werden 50 Punkte festgesetzt, für 50 J wird 1 Punkt festgesetzt. Dann ergibt sich die Gleichung der Geraden

$$P = 51 - E,$$

nach der die Werte der Tabelle 8 berechnet sind.

Stoffe oder Stoffgemische, die zur Auslösung einer wahrnehmbaren Reaktion eine höhere Schlagenergie als 50 J benötigen bzw. überhaupt nicht reagieren, erhalten die Punktzahl 0.

Die Einführung der Ergebnisse der Prüfung der "Schlagempfindlichkeit auf dem Feilenplättchen" /19/ in das Bewertungssystem ist möglich. Es wird jedoch hier auf die Schilderung der Methode verzichtet, um die Darstellung nicht weiter zu komplizieren.

Tabelle 8: Wertung der Schlagenergie

Schlagenergie <sup>1)</sup> in J	Punktzahl	Kurzzeichen
bis 50 keine Explosion	0	k.Ex.
50	1	
40	11	
35	16	
30	21	
25	26	
20	31	
15	36	
10	41	
7,5	44	
5	46	
4	47	
3	48	
2	49	
1	50	

1) Die Schlagenergie wurde mit der Erdbeschleunigung  $g \approx 10 \text{ m/s}^2$  berechnet, ist also tatsächlich um 1,9 % kleiner.

### 3.2.3 Ermittlung von $k_d$

Die Sensibilität gegen Detonationsstoß wird im Bleiblockversuch und in den Stahlrohrsprengversuchen geprüft. Da beide Methoden gleichwertig erscheinen, werden jeder maximal 50 Punkte zugeordnet.

#### 3.2.3.1 Die Wertung der "Empfindlichkeit gegen den Detonationsstoß einer Nitropenta-Sprengkapsel Nr. 8 im Bleiblock nach Trauzl"

Es wird als Berechnungsgrundlage die Bleiblocknettoausbauchung in ml/10 g genommen und so vorgegangen, daß der höchsten - hier bekannten - Bleiblocknettoausbauchung von 620 ml/10 g (Glykoldinitrat) der Maximalwert 50 zuerkannt wird. Damit ist der lineare Zusammenhang zwischen Bleiblocknettoausbauchung B und der Punktzahl P gegeben durch

$$P = \frac{50 \cdot B}{620} = \frac{B}{12,4} = 0,0806 B.$$

Bleiblocknettoausbauchungen unter 12 ml/10 g erhalten die Punktzahl 0, da sie in bezug auf Sicherheitstechnik bedeutungslos sind und mehr oder weniger durch die Wirkung der Sprengkapsel selbst verursacht werden. (Also 12 ml - 18,1 ml erhalten 1 Punkt; 18,2 ml - 30,9 ml erhalten 2 Punkte).

#### 3.2.3.2 Die Wertung der "Empfindlichkeit gegen Detonationsstoß in beidseitig geschlossenen Stahlrohren"

Die drei möglichen Versuchsergebnisse sind "keine Weiterleitung", "teilweise Weiterleitung" und "Weiterleitung" des Detonationsstoßes.

"Teilweise Weiterleitung" im 1"-, 2"-, 4"-Rohr erfolgt sofern

1. die Rohre unten oder unten und oben eingerissen oder aufgelappt sind (ein run-  
des Schmelzloch - z. B. bei Thermitsätzen entstanden - zählt nicht als teil-  
weise Weiterleitung),
2. das 1"-Rohr nur oben 3 cm oder mehr, das 2"-Rohr nur oben 20 cm oder mehr, das  
4"-Rohr nur oben 40 cm oder mehr aufgelappt ist. 1)

"Weiterleitung" im 1"-, 2"- oder 4"-Rohr hat stattgefunden, falls das Rohr in  
mindestens 3 große Teile zerlegt wurde. 1)

Bei der Wertung der Versuchsergebnisse (Tabelle 9) wird von der auch theoretisch  
begründbaren Erfahrung ausgegangen, daß die Fähigkeit einer Substanz zur Weiter-  
leitung einer Explosion sowohl mit dem Durchmesser der zu prüfenden Ladung als  
auch mit der Intensität des Detonationsstoßes zunimmt.

Tabelle 9: Wertung der Stahlrohr-Versuche

	Versuchsbeurteilung	Punktzahl	Kurzzeichen
4"- Stahlrohr	die eingeleitete Explosion wird nicht weitergeleitet	0	k.W.
	die eingeleitete Explosion wird teilweise weitergeleitet	5	(W.)
	die eingeleitete Explosion wird weitergeleitet	10	W.
2"- Stahlrohr	die eingeleitete Explosion wird teilweise weitergeleitet	15	(W.)
	die eingeleitete Explosion wird weitergeleitet	20	W.
1"- Stahlrohr	die eingeleitete Explosion wird teilweise weitergeleitet	40	(W.)
	die eingeleitete Explosion wird weitergeleitet	50	W.

Wenn im 1"-Rohr "Weiterleitung" beobachtet wurde, sind keine weiteren Versuche  
mehr erforderlich. Andernfalls ist die Versuchsreihe erst beendet, falls "Weiter-  
leitung" oder "teilweise Weiterleitung" im 2"-Rohr festgestellt wurde. (Bei "teil-  
weiser Weiterleitung" im 1"-Rohr wird die Gefährlichkeit natürlich mit 40 Punkten  
bewertet, auch wenn im 2"-Rohr sich "Weiterleitung" oder "teilweise Weiterlei-  
tung" ergeben hat).

Findet im 2"-Rohr "keine Weiterleitung" statt, müßte der Versuch im 4"-Rohr ange-  
schlossen werden, der seinerseits 0 oder 5 oder 10 Punkte liefern könnte. Da aber  
für den Versuch im 4"-Rohr ca. achtmal soviel Substanz wie für den Versuch im 2"-  
Rohr erforderlich ist und 10 Punkte für die sicherheitstechnische Beurteilung auf  
dem Gebiet der Pyrotechnik keinen großen Fehler darstellen, wird der Versuch im  
4"-Rohr meist nicht ausgeführt. Stattdessen wird die Wertung "10 Punkte" vorge-  
nommen, sofern der Stoff oder das Stoffgemisch - unter Ausschluß von Luftsauer-  
stoff - überhaupt exotherm reagieren kann.

1) Dabei zählt die möglicherweise zerlegte oder im ganzen abgesprengte Ver-  
schlußkappe ebensowenig wie der möglicherweise abgesprengte Boden.



#### 4. Untersuchungen an binären Mischungen

Während vieler Jahre wurde das in Abschnitt 3 beschriebene Verfahren in der BAM erprobt und als geeignet befunden, die Gefährlichkeit pyrotechnischer Sätze zu beschreiben. Die Untersuchungsergebnisse wurden zum Teil publiziert /17, 18/, zum Teil waren es Antragsarbeiten für die pyrotechnische Industrie oder für andere Industriezweige, in denen pyrotechnischen Sätzen entsprechende Mischungen auch wegen ihrer sonstigen, nicht pyrotechnischen Wirkung verwendet werden. In allen Fällen war entweder die Gesamtgefährlichkeit dieser Stoffe - beispielsweise durch Zuordnung zu einer Gefahrgruppe - oder die Gefährlichkeit gegenüber einer bestimmten Belastung oder die Gefährlichkeit eines bestimmten Verfahrens (der Herstellung, Bearbeitung oder Verarbeitung) zu beurteilen.

Neben diesen Untersuchungen an Einzelzusammensetzungen praktisch verwendeter Sätze wurde in der BAM bereits vor über 15 Jahren auch mit systematischen Untersuchungen an binären Mischungssystemen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen begonnen /17/ und diese - wie in der Einleitung bereits erwähnt - im Rahmen von Diplomarbeiten für die TFH Berlin weitergeführt. Ziel dieser Arbeiten war es, die Abhängigkeit der Gefährlichkeit vom Mischungsverhältnis zu studieren und daneben einen erweiterten Fundus an sicherheitstechnischen Kenndaten einfach zusammengesetzter pyrotechnischer Sätze zu erstellen. Letzteres ist hilfreich bei der schnellen Beantwortung von Anfragen zur Gefährlichkeit von ähnlichen Mischungen ohne langwierige experimentelle Untersuchungen.

Die bisher untersuchten binären Mischungssysteme sind in der Tabelle 10 zusammengestellt. Über die Herstellung der Mischungen wird noch im folgenden Abschnitt kurz berichtet. Der Massengehalt des Oxidationsmittels wurde in Schritten von jeweils 10 Prozent erhöht, beginnend mit 10 % Oxidationsmittel und 90 % verbrennlicher Substanz bis zu 90 % Oxidationsmittel und 10 % verbrennlicher Substanz. Darüberhinaus wurden auch die sicherheitstechnischen Kenndaten der reinen Mischungskomponenten soweit sinnvoll ermittelt, auch wenn sie selbst nicht explosionsgefährlich oder -fähig sind.

Zur Auswahl der untersuchten Systeme sei bemerkt, daß die Oxidationsmittel im wesentlichen nach der Häufigkeit ihrer Verwendung in der Pyrotechnik gewählt wurden. Lediglich einige Metalloxide wurden ausgenommen, da Untersuchungen mit diesen z. T. stark giftigen Substanzen für ungeübte Studenten zu gefährlich erschienen und auch eine übermäßige Belastung der Umwelt durch diese Reihenversuche vermieden werden sollte. Das Nitroguanidin ist in der Pyrotechnik nicht üblich und wurde nur wegen des Vergleichs mit dem Guanidinnitrat untersucht. Für die Auswahl der verbrennlichen Substanzen galten ähnliche Kriterien. Die Lactose (Milchzucker) wurde wegen ihrer Verwendung in Schwel- und Rauchsätzen, Aluminium wegen seines Gebrauches in Leucht- und Knallsätzen zu den Untersuchungen herangezogen. Magnesium, das gleichfalls für Leuchtsätze von Bedeutung ist, wird in naher Zukunft Thema weiterer Diplomarbeiten sein. Cellulose wird im allgemeinen nicht in reiner Form verwendet, die hier eingesetzte Cellulose ist aber als Standardreduktionsmittel bei der Prüfung gefährlicher Stoffe auf brandfördernde Eigenschaften /44/ eingeführt. Schwefel taucht in der Tabelle sowohl als Reduktions- als auch als Oxidationsmittel auf, und zwar deshalb, weil die binären Mischungssysteme Bariumnitrat-Schwefel und Schwefel-Aluminium zur Vervollständigung des ternären Systems Bariumnitrat-Schwefel-Aluminium, dessen sicherheitstechnische Kenndaten an anderer Stelle veröffentlicht werden /45/, untersucht wurden.

Tabelle 10: Übersicht über die untersuchten binären Mischungen aus festen Oxidations- und Reduktionsmitteln

Reduktionsmittel	$\alpha$ -Lactosemonohydrat	Cellulose	Aluminium	Magnesium	Schwefel
Oxidationsmittel	Experimentator laufende Nummern in Abschnitt 4.4.1 (Tabelle 12), Bild in Abschnitt 4.4.2 Bemerkungen, Zitat				
Kaliumchlorat	G. Krüger 0 - 9a, 12 0, R, /8, 17/	M. Muth 173 - 182, 13 R, /37/			
Natriumchlorat	W. Müller 49 - 58, 14 0, /24/				
Bariumchlorat	T. Hasse 79 - 88, 15 0, /27/				
Kaliumperchlorat	J. Purbs 10 - 18 a, 28 0, /8, 20/		G. Krüger 118 - 126, 29 /31/		
Ammoniumperchlorat	E. Bluhm 89 - 98, 30 0, /28/				
Kaliumnitrat	H. Haase 19 - 28, 16 0, /8, 21/		R. Nagel 99 - 108, 20 R, /29/		
Natriumnitrat	P. Niens 39 - 48, 17 0, /23/		G. Guhle 136 - 144, 21 /33/		
Bariumnitrat	E. Steuer 69 - 78, 18 0, /26/	J. Kerner 203 - 211, 31 /40/	J. Purbs 127 - 135, 22 /32/		J. Scholz 183 - 192, 32 R, /38/
Strontiumnitrat	W. Traut 59 - 68, 19 0, /25/		M. Rogall 145 - 153, 23 /34/		
Ammoniumnitrat	H. Jansen 29 - 38, 24 0, /22/		H. Hummel 109 - 117, 25 /30/		
Guanidinnitrat	P. Astfalk 164 - 172, 26 /36/		L. Finke 154 - 163, 27 0, /35/		
Nitroguanidin			H. Grünberg 193 - 202, 36 0, /39/		
Bariumperoxid			M. Morawietz 221 - 229, 34 /42/	R. Wilke 230 240, 35 0, R, /43/	
Schwefel			M. Schaup 212 - 220, 33 /41/		

O, R: die Buchstaben weisen auf die reinen Oxidations- und Reduktionsmittel hin.

#### 4.1 Herstellung der Mischungen

Der Reinheitsgrad der verwendeten Chemikalien entspricht im allgemeinen dem, der in der pyrotechnischen Industrie üblich ist. Es wurde bewußt auf die Verwendung besonders reiner Chemikalien zu Gunsten einer größeren Praxisnähe verzichtet.

Dieser Verzicht ist auch deshalb tragbar, weil der Fehler, der durch die Verwendung von Chemikalien geringerer Reinheit verursacht wird, sicherlich im Fehlerbereich der vergleichsweise "grobe" Prüfmethode liegt. Wirtschaftliche Gründe blieben nicht unbeachtet, waren aber von untergeordneter Bedeutung. Tabelle 11 gibt eine Übersicht über alle Mischungskomponenten.

Um bei den Untersuchungen brauchbare Ergebnisse zu erhalten, müssen Fehler bei der Herstellung der Mischungen vermieden werden. Mischfehler bei Gemischen aus festen Stoffen entstehen entweder durch falsche Einwaagen, oder sie sind durch mangelhafte Homogenität bedingt, z. B. durch zu kurze Mischzeiten und zu unterschiedliche Korngröße oder Dichte der Mischungskomponenten.

Wie derartige Fehler vermieden wurden, sei hier kurz skizziert:

Die Mischungskomponenten wurden zunächst gesondert in einer Mörsermühle zerkleinert und dann gesiebt. Die Korngröße war danach kleiner als 0,5 mm. Anschließend wurden die Mischungskomponenten gewogen und in den jeweiligen Mengen in den Mischer gegeben. Die Gesamtmasse einer Mischung betrug im allgemeinen 2 kg, es sei denn, die berufsgenossenschaftlichen Vorschriften sehen kleinere Mengen vor (1 kg für Sätze der Gruppe 1 der UVV 46 k /3/).

Tabelle 11: Ausgangsstoffe der untersuchten binären Mischungen

Reduktionsmittel	$\alpha$ -Lactose-monohydrat	Cellulose	Aluminium	Magnesium	Schwefel
Oxidationsmittel	Nrn. der nachfolgenden Chemikalienliste				
Kaliumchlorat	1, 2	1, 14			
Natriumchlorat	3, 2				
Bariumchlorat	4, 2				
Kaliumperchlorat	5, 2		5, 15		
Ammoniumperchlorat	6, 7				
Kaliumnitrat	8, 2		8, 15		
Natriumnitrat	9, 2		9, 15		
Bariumnitrat	10, 2	10, 14	10, 15		20, 19
Strontiumnitrat	11, 2		16, 15		
Ammoniumnitrat	12, 2		12, 15		
Guanidinnitrat	13, 7		13, 15		
Nitroguanidin			17, 15		
Bariumperoxid			18, 15	18, 21	
Schwefel			19, 15		

- 1)  $KClO_3$  : Riedel-de Haen, gereinigt, Pulver, Art-Nr. 12635
- 2)  $C_{12}H_{24}O_{12}$  : Riedel-de Haen, Pulver, Art.-Nr. 15745
- 3)  $NaClO_3$  : Riedel-de Haen, chem. rein, Art-Nr. 13420
- 4)  $Ba(ClO_3)_2 \cdot H_2O$  : E. Merck, gepulvert, Art.-Nr. 1721
- 5)  $KClO_4$  : Riedel-de Haen, rein, Pulver, Art.-Nr. 12614
- 6)  $NH_4ClO_4$  : Fluka AG, fein krist., Art-Nr. 09910
- 7)  $C_{12}H_{24}O_{12}$  : E. Merck, gepulvert, Art-Nr. 7656
- 8)  $KNO_3$  : Riedel-de Haen, chem. rein, Pulver, Art-Nr. 12651
- 9)  $NaNO_3$  : Riedel-de Haen, chem. rein, krist., Art-Nr. 13444
- 10)  $Ba(NO_3)_2$  : E. Merck, krist., gepulvert, reinst.
- 11)  $Sr(NO_3)_2$  : E. Merck, wasserfrei, rein, Art-Nr. 7873
- 12)  $NH_4NO_3$  : E. Merck, krist, rein
- 13)  $CH_6N_4O_3$  : E. Merck, zur Synthese, Art-Nr. 820612
- 14)  $(C_6H_{10}O_5)_n$  : Macherey Nagel & Co., Pulver, Art-Nr. 81507
- 15) Al : Schlenk, Th hell I
- 16)  $Sr(NO_3)_2$  : Riedel-de Haen, chem. rein, Art.-Nr. 13914
- 17)  $CH_4N_4O_2$  : NIGU Chemie GmbH, 20 % Wasser, Art.-Nr. 73350
- 18)  $BaO_2$  : Riedel-de Haen, Pulver, 95 %  $BaO_2$ , Art.-Nr. 11428
- 19) S : E. Merck, gereinigt, DAB6, Art.-Nr. 7983
- 20)  $Ba(NO_3)_2$  : Riedel-de Haen, rein, Pulver, Art.-Nr. 11422
- 21) Mg : Eckart-Werke, Metallgehalt mind. 98 %, Art.-Nr. Pk 51

Gemischt wurde in einer motorgetriebenen sechseckigen Mischtrommel mit 34 l Volumen und schräggestellter Achse (Bild 5, /46/). Analytische Untersuchungen zeigten, daß eine Mischdauer von 10 Minuten im allgemeinen ausreichend ist. Zur Kontrolle der Mischgüte wurde von allen binären Mischungen die Schüttdichte bestimmt (Schüttdichtemesser zur Ermittlung der kubischen Dichte, Modell BAM, Julius Peters K.G.). Die Schüttdichte hängt im starken Maße von der Zusammensetzung der Mischung ab. Sie ist eine stetige, aber meist nicht lineare Funktion des Mischungsverhältnisses. Bild 6 gibt dies am Beispiel des Systems Natriumchlorat-Lactose wieder. Mischfehler machen sich durch Unstetigkeiten im Verlauf der Schüttdichte bemerkbar und können so schnell erkannt und damit aufwendigere chemisch-analytische Verfahren vermieden werden.

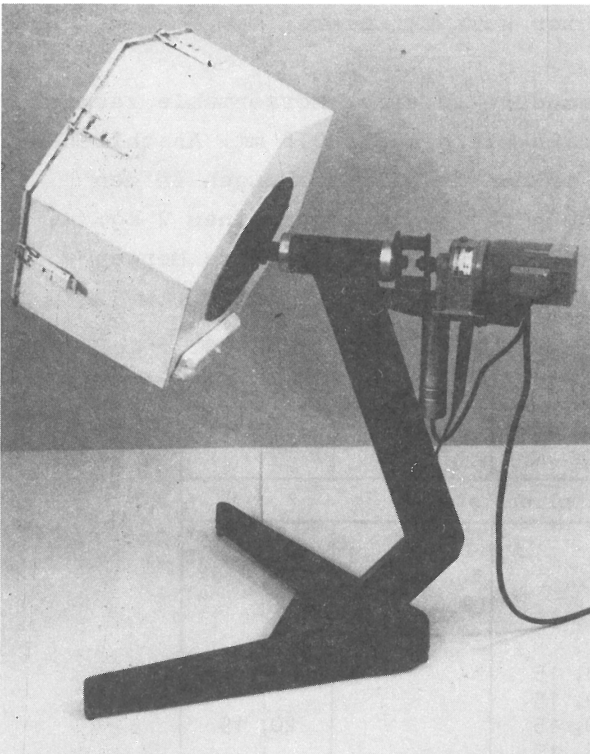


Bild 5: Mischvorrichtung

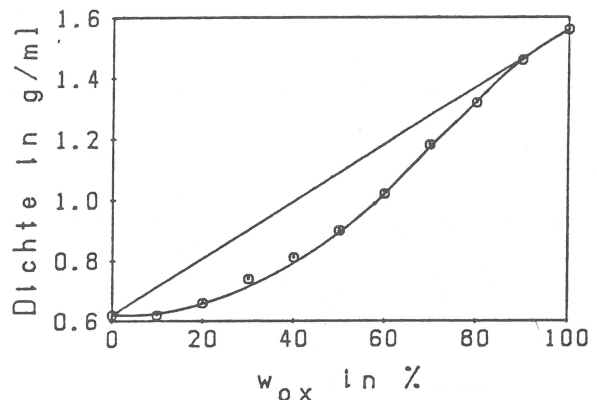


Bild 6: Schüttdichte im System Natriumchlorat-Lactose in Abhängigkeit vom Massegehalt des Oxidationsmittels

#### 4.2 Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrzahlen

Die sicherheitstechnischen Kenndaten der 25 in Tabelle 10 angegebenen binären Mischungssysteme sind in Tabelle 12 in Abschnitt 4.4.1 zusammengestellt. Die Systeme sind chronologisch, d. h. in der zeitlichen Reihenfolge der Ingenieur- bzw. Diplomarbeiten, geordnet, die einzelnen Mischungen fortlaufend nummeriert. Das Auffinden bestimmter Mischungen und der reinen Mischungskomponenten wird durch Tabelle 10 erleichtert. Die Tabelle 12 beginnt mit einem Falblatt mit dem Tabellenkopf und den verwendeten Kurzzeichen, herausgeklappt vervollständigt es jede einzelne Tabellenseite. Die letzten beiden Spalten enthalten für jede Mischung die Maßzahlen der thermischen, mechanischen und detonativen Sensibilität und die Gefahrzahl G (Kennzahl der Gefährlichkeit).

Die tabellarische Form ist gut für die Darstellung der Gefährlichkeit einzelner Mischungen geeignet, Informationen über den Verlauf der Gefährlichkeit in Abhängigkeit von der Zusammensetzung der Systeme sind aus ihr aber nur schwer zu gewinnen. In Abschnitt 4.4.2 sind deshalb für alle Systeme Diagramme mit dem Ver-

lauf der Gefahrzahl in Abhängigkeit von der Zusammensetzung zu finden, diesmal aber nach stofflichen Gesichtspunkten zusammengestellt; die Tabelle 10 enthält auch die Verweise auf die Bildnummern der Diagramme. Über die grafische Darstellung der Gefahrzahl wird im folgenden Abschnitt Näheres berichtet.

Zu Tabelle 12 sind noch einige Bemerkungen über die Zuverlässigkeit der einzelnen Angaben erforderlich. Obgleich die Prüfmethode, die den einzelnen sicherheitstechnischen Kenndaten zugrundeliegen, genau beschrieben sind, ist bei der Verschiedenheit der mit ihnen untersuchten Stoffe zur reproduzierbaren Untersuchung und Beurteilung ein Mindestmaß an Erfahrung erforderlich. Diese Erfahrung können Studenten während der experimentellen Arbeiten zu ihren Diplomarbeiten aber nur in begrenztem Umfang sammeln. Das hat zur Folge, daß die einzelnen in Tabelle 12 angegebenen Kenndaten mit einer größeren Unsicherheit behaftet sind, als wenn sie von eingearbeiteten Experimentatoren bestimmt worden wären, wobei der Einfluß dieser Unsicherheit auf die Maßzahlen der einzelnen Sensibilitäten und erst recht auf die Gefahrzahl gering ist. In einigen Fällen wurde versucht, Unstimmigkeiten durch eigene Untersuchungen zu bereinigen. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind unter derselben laufenden Nummer in einer weiteren Zeile den studentischen Untersuchungsergebnissen angefügt.

#### 4.3 Grafische Darstellung des Gefahrzahlverlaufes

Wie bereits erwähnt, ist die grafische Darstellung der Gefährlichkeit in Abhängigkeit von der Zusammensetzung eines binären Mischungssystems für die überschlägige Beurteilung des gesamten Systems besser geeignet als die Angabe der Gefahrzahlen oder der Kenndaten der einzelnen Mischungen. Aus diesem Grunde wurde schon frühzeitig versucht, einen funktionalen Ausdruck zur sowohl grafischen als auch parametrischen Beschreibung der Gefahrzahl  $G$  in Abhängigkeit vom Massengehalt  $w_{Ox}$  des Oxidationsmittels  $G = f(w_{Ox})$  zu finden.

Da Überlegungen hierzu schon früher und mit steigender Zahl untersuchter Systeme in abgewandelter Form mitgeteilt wurden /z. B. 8, 9/, werden in diesem Abschnitt die verschiedenen Möglichkeiten zusammenfassend dargestellt und diskutiert.

#### Handgezeichnete Kurven und Polynome

Eine beliebige Kurvenform läßt sich entweder nach Gutdünken durch Handzeichnung darstellen, mit Einschränkungen durch Polynome insbesondere höheren Grades oder besser durch eine Folge von mathematisch verknüpften Polynomen. Bild 7 zeigt ein Beispiel für das zuletzt genannte Verfahren, nämlich eine mit Hilfe eines Rechenprogrammes /47/ nach /48/ an die Meßwerte angepaßte kubische Splinefunktion (zweimal stetig differenzierbare, intervallweise durch kubische Parabeln definierte Kurve). Derartige Verfahren liefern eine genaue und stetige Darstellung der Meßwerte durch einen Kurvenzug - es ist auch eine Glättung (Ausgleichskurve) möglich -, interpretierbare Parameter werden aber nicht erhalten.

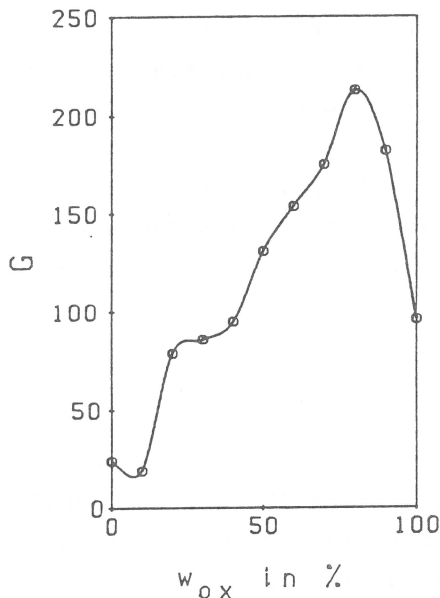
#### Symmetrische Glockenkurven

Einige binäre Mischungssysteme zeigen einen glockenkurvenähnlichen Gefahrzahlverlauf, Bild 8 gibt ein Beispiel. Die mathematische Funktion der symmetrischen

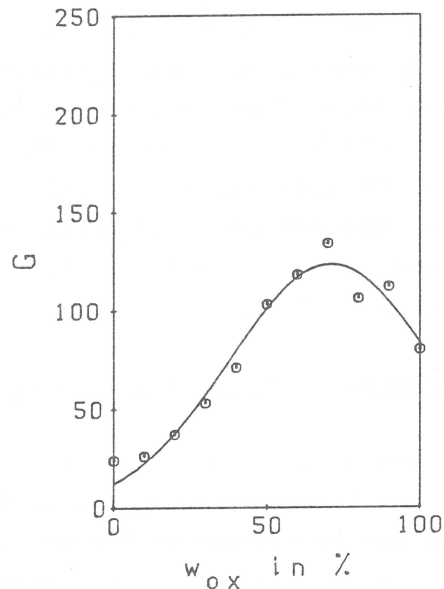
Glockenkurve - in anderer Schreibweise auch als Normalverteilung aus der Statistik bekannt - ist hier

$$G = G_{\max} \cdot e^{-\frac{(x-x_{\max})^2}{k}}$$

wobei aus Gründen der einfacheren Schreibweise  $x = w_{\text{Ox}}$  gesetzt wurde. Diese Funktion hat gegenüber anderen denkbaren Funktionen, z. B. den oben diskutierten Polynomen, den Vorteil, daß ihre Parameter anschauliche Bedeutungen haben, nämlich, daß  $x_{\max}$  und  $G_{\max}$  die Koordinaten des Kurvenmaximums sind und  $k$  die Breite der Glockenkurve bestimmt.



**Bild 7:** Darstellung der Abhängigkeit der Gefahrzahl  $G$  vom Massen- gehalt des Oxidationsmittels  $w_{\text{Ox}}$  durch eine Splinefunktion (System Ammoniumperchlorat- Lactose)



**Bild 8:** Darstellung des Gefahr- zahlverlaufes durch eine symmetrische Glockenkurve (System Nitroguanidin- Aluminium)

Der Parameter  $k$  kann noch durch eine direkt an der Glockenkurve ablesbare Größe ersetzt werden, der Halbwertsbreite  $\Gamma$ , also der Breite der Kurve in Höhe ihres halben Maximalwertes. Es ist dann  $\Gamma^2 = 2,77 k$  und

$$G = G_{\max} \cdot e^{-2,77 \left( \frac{x-x_{\max}}{\Gamma} \right)^2}$$

die Parameter dieser Funktion sind in Bild 9 nochmals verdeutlicht.

Viele binäre Mischungssysteme zeigen aber einen asymmetrischen Gefahrzahlverlauf, wodurch die Anpassung einer symmetrischen Glockenkurve mit der Methode der kleinsten Fehlerquadrate zu einer Funktion führt, die das tatsächliche Gefahrzahlmaximum nur schlecht wiedergibt, dem reinen Oxidationsmittel eine nicht vorhandene hohe Gefährlichkeit zuweist und eine halbwegs vernünftige grafische Darstellung nur unter Weglassung der Gefahrzahlen der reinen Komponenten ermöglicht (Bild 10).

#### Modifizierte Glockenkurven

Eine asymmetrische Glockenkurve läßt sich auf verschiedene Weisen mit mathematischen Funktionen beschreiben. Eine Möglichkeit ist die Modifikation der symmetrischen Glockenkurve durch quadratische Transformation der Abszisse - wie bei der

mathematischen Behandlung rechtsgipfliger Verteilungen -, die eine Funktion

$$G = G_{\max} \cdot e^{-\frac{(x^2 - x_{\max}^2)^2}{k}}$$

ergibt. Da diese Funktion symmetrisch zur Ordinate ist, hat sie bei  $x = 0$  die Steigung Null, was bei vielen binären Mischungssystemen zu einem falschen Bild bei kleinen  $x$ -Werten führt.

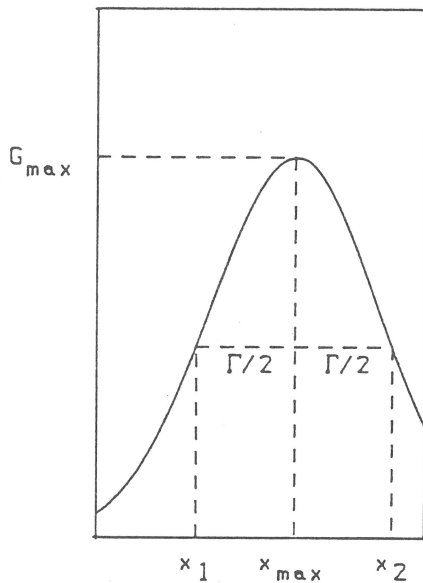


Bild 9: Parameter der Glockenkurve

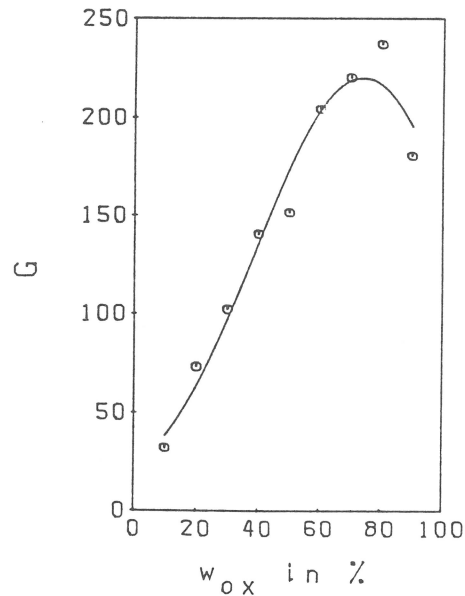


Bild 10: Anpassung einer Glockenkurve an einen asymmetrischen Gefahrzahlverlauf (System Natriumchlorat-Lactose)

Eine andere Möglichkeit ist die Darstellung des Gefahrzahlverlaufes durch zwei unterschiedliche Glockenkurvenäste mit einem gemeinsamen Maximum

$$G = \begin{cases} G_{\max} \cdot e^{-2,77 \left( \frac{x - x_{\max}}{\Gamma_1} \right)^2} & x < x_{\max} \\ G_{\max} \cdot e^{-2,77 \left( \frac{x - x_{\max}}{\Gamma_2} \right)^2} & x > x_{\max} \end{cases}$$

Der Nachteil dieses Verfahrens ist, daß der Kurvenzug nicht stetig ist, da im Maximum zwar die 1. Ableitungen beider Glockenkurven gleich Null, die 2. Ableitungen aber verschieden sind.

Eine dritte Methode liefert Funktionen, die dem tatsächlichen Gefahrzahlverlauf am nächsten kommen und daher für die grafische Darstellung der Gefahrzahlen in Anhang 2 gewählt wurde, obwohl das Anpassungsverfahren nicht frei von Willkür ist. Es wird nachstehend ausführlich beschrieben.

Zuerst werden die Koordinaten des Maximums willkürlich festgelegt, beispielsweise  $x_{\max} = 80 \%$  und  $G_{\max} = 237$  für das in Bild 10 gezeigte System. Anschließend wird eine symmetrische Glockenkurve (Schreibweise mit Halbwertsbreite) an die Punkte  $x \leq x_{\max}$  angepaßt, indem der Parameter  $\Gamma$  solange variiert wird, bis die Summe der quadratischen Abweichungen zwischen Meß- und Funktionswert (Fehlerquadrate) minimal ist. Dabei wird eine Genauigkeit von einer Stelle nach dem Komma bei den Prozentangaben als ausreichend angesehen. Bild 11 zeigt die Gefahrzahlen mit der an-

gepaßten Glockenkurve, die nun im Bereich  $x > x_{\max}$  stark von den experimentell ermittelten Werten abweicht.

Die horizontalen Abweichungen  $\Delta x$  in diesem Bereich zwischen den experimentell ermittelten Punkten  $x, G$  und dem abfallenden Ast der symmetrischen Glockenkurve ergeben sich aus

$$\Delta x = \Gamma \cdot \sqrt{-\frac{1}{2,77} \ln \frac{G}{G_{\max}}} + x_{\max} - x$$

und sind in Bild 11 gleichfalls über  $x$  eingetragen. Aus diesen Abweichungen läßt sich nun eine Korrekturfunktion berechnen; als geeignet hat sich die Ausgleichsfunktion  $\Delta x = u \cdot e^{v x}$  erwiesen. Da die Anpassung einer Exponentialfunktion Ordinatenwerte größer Null erfordert, wird bei horizontalen Abweichungen, die kleiner oder gleich Null sind, willkürlich  $\Delta x = 1$  gesetzt. Wird die Korrekturfunktion in die Gleichung für die symmetrische Glockenkurve eingefügt, erhält man die modifizierte Glockenkurve

$$G = G_{\max} \cdot e^{-2,77 \left( \frac{x - x_{\max} + u \cdot e^{v x}}{\Gamma} \right)^2},$$

deren Verlauf in Bild 11 gestrichelt eingetragen ist. Die einzelnen Verfahrensschritte zur Ermittlung der modifizierten Glockenkurve werden von einem Basic-Rechenprogramm in Verbindung mit einem Zeichenprogramm ausgeführt (Commodore CBM 8096 und CBM 8050, Watanabe-Plotter WX 4671), letzteres liefert abschließend die in Abschnitt 4.4.2 zusammengestellten Diagramme. Das Programm ermöglicht auch, einzelne Punkte bei der Anpassung unberücksichtigt zu lassen oder zu verändern, wenn offensichtlich unzutreffende Ergebnisse erhalten werden.

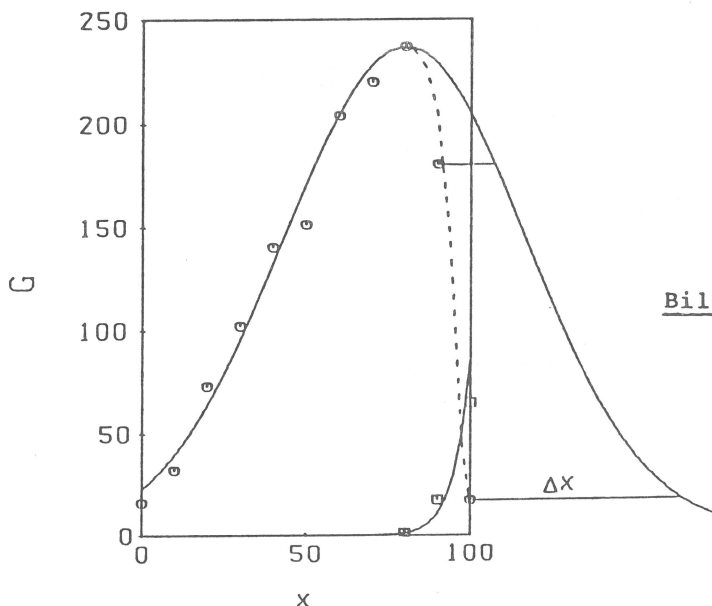


Bild 11: Verfahrensschritte zur Anpassung einer modifizierten Glockenkurve (O Gefahrzahlen  $G$ ,  $\square$  horizontale Abweichungen  $\Delta x$ )

#### 4.4 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Untersuchungen an 25 binären Mischungssystemen sind aus Gründen der Übersichtlichkeit in diesem Abschnitt zusammengefaßt und der Diskussion vorangestellt.



#### 4.4.1 Tabellarische Darstellung

Die sicherheitstechnischen Kenndaten und Gefahrzahlen der untersuchten Mischungen sind in der Tabelle 12 unter laufenden Nummern (vgl. Tabelle 10) zusammengefaßt. Die folgende Auflistung verweist auf die entsprechenden Seitenzahlen:

	Seite
Kaliumchlorat-Lactose	28
Kaliumperchlorat-Lactose	29
Kaliumnitrat-Lactose	30
Ammoniumnitrat-Lactose	30
Natriumnitrat-Lactose	32
Natriumchlorat-Lactose	32
Strontiumnitrat-Lactose	34
Bariumnitrat-Lactose	35
Bariumchlorat-Lactose	36
Ammoniumperchlorat-Lactose	37
Kaliumnitrat-Aluminium	38
Ammoniumnitrat-Aluminium	39
Kaliumperchlorat-Aluminium	40
Bariumnitrat-Aluminium	41
Natriumnitrat-Aluminium	42
Strontiumnitrat-Aluminium	43
Guanidinnitrat-Aluminium	44
Guanidinnitrat-Lactose	45
Kaliumchlorat-Cellulose	46
Bariumnitrat-Schwefel	47
Nitroguanidin-Aluminium	48
Bariumnitrat-Cellulose	49
Schwefel-Aluminium	50
Bariumperoxid-Aluminium	51
Bariumperoxid-Magnesium	52

Tabelle 12: Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrzahlen

**Bemerkungen:**  
 zur Entzündtemp. k.E. : Zersetzung oder keine {Entzündung oder Verpuffung oder Explosion}  
 zur Entzündl. u. Brenndauer - : Probe wird nicht entzündet  
 zu Entzündl. u. Brenndauer { (+) : Probe raucht flammenlos ab oder Probe wird entzündet und raucht ab oder verlischt nach Entfernen der Zündquelle  
 + : Probe wird entzündet und brennt oder glüht durch  
 Vp. : Probe wird entzündet und verpufft  
 Ex. : Probe wird entzündet und explodiert  
 zur Entzündl. u. Brenndauer { k.Ex. : Probe explodiert nicht  
 Fallhammer

**thermische Sensibilität**  
 zur Reibempf. k.R. : keine Reaktion (weder Knistern noch Verpuffung, noch Explosion)  
 zum Stahlrohr { k.W. : keine Weiterleitung  
 (W.) : teilweise Weiterleitung  
 H. : Weiterleitung  
 zu N u. J : Werte mit  $g = 10 \text{ m/s}^2$  berechnet  
 zu T, M, D als Indizes  
 zur Kennzahl G :  $k_{th}$  oder  $k_m$  oder  $k_d > 50$   
 : nicht geprüft

Lfd. Nr.	Bezeichnung	Zusammensetzung	Spez. Dichte [ $\frac{g}{ml}$ ]	Schüttdichte [ $\frac{g}{ml}$ ]	Entzündtemp. paratur [°C]	Gewichtsverlust bei 75 °C nach 48 Std. in Wägegläsern	thermische Sensibilität			mechanische Sensibilität		Sensibilität gegen Detonationsstoß		Gefährlichkeit	
							Entzündlichkeit durch	Brenndauer i.d. glüh. Stahlschale [s]	Erhitzen unter Einschluß i.d. Stahlhülse = Koenen-Test	Reibempfindl. mit Reibapparat d. B.A.M.	Schlagempfindl. mit Fallhammer d. B.A.M. Masse des Fallgewichts [kg]	Menge in 11 ml	Maßzahlen	Kennzahl	
		Bestandteile			offen	lose verschlossen [%]	Funken	Zundschnur	güß. Stahlstab	Düse [mm]	t <sub>1</sub> [s]	t <sub>2</sub> [s]	in 1" im 2"	Stahlrohr U.-Lad. 50 g Hexogen m. 5% Wachs	

0		Milchzucker	1,00	0,49	bis 360 k.E.	0,11	0,10	-	+	1 k.Ex.	93	114	bis 50 k.Ex.	9,7	0	16 0 26
0		Milchzucker	1,00	./.	bis 360 k.E.	0,11	0,10	-	(+)	1 k.Ex.	88	203	bis 50 k.Ex.	9,7	0	12 0 22
1		Kaliumchlorat Milchzucker	10 90	0,80	206	0,03	0,04	-	(+)	1 k.Ex.	./.	./.	(5;0,5) 25	10,0	3	12 26 10 48
2		Kaliumchlorat Milchzucker	20 80	0,85	202	0,04	0,03	-	(+)	1 k.Ex.	./.	./.	(5;0,5) 25	10,0	7	20 26 10 56
3		Kaliumchlorat Milchzucker	30 70	0,91	202	0,00	0,02	-	+	4	6	0	(5;0,4) 20	10,0	42	46 31 18 95
4		Kaliumchlorat Milchzucker	40 60	0,95	200	0,03	0,03	+	+	14	7	0	(5;0,2) 10	10,0	107	75 42 24 141 <sub>T</sub>
5		Kaliumchlorat Milchzucker	50 50	1,00	200	0,04	0,02	+	+	18	5	0	(5;0,15) 7,5	10,5	158	79 61 53 193 <sub>TMD</sub>
6		Kaliumchlorat Milchzucker	60 40	1,06	199	0,01	0,04	+	+	20	6	0	(5;0,15) 7,5	10,5	212	88 78 67 233 <sub>TMD</sub>
7		Kaliumchlorat Milchzucker	70 30	1,12	200	0,02	0,04	+	+	20	6	0	(5;0,15) 7,5	11	235	88 84 69 241 <sub>TMD</sub>
8		Kaliumchlorat Milchzucker	80 20	1,18	200	0,03	0,00	+	+	20	5	0	(1;0,5) 5	11,5	192	88 91 65 244 <sub>TMD</sub>
9		Kaliumchlorat Milchzucker	90 10	1,25	199	0,02	0,03	-	(+)	3	7	0	(5;0,3) 15	16	106	31 76 49 156 <sub>H</sub>
9	Punktzahl der Gefährlichkeit				8			0	0	18			36	9	40	31 76 49 156 <sub>H</sub>
9		Kaliumchlorat	100	0,96	bis 360 k.E.	0,03	0,03	-	-	1 k.Ex.	./.	./.	bis 50 k.Ex.	14,0	8	0 0 10

10	11	12	13	14	15	16	17	18	18#
System Kaliumperchlorat - α Lactosemonohydrat									
Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat Milchzucker	Kalium- perchlorat
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
0,65	0,70	0,75	0,80	0,87	0,98	1,09	1,16	1,27	1,04
bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.
0,04	0,02	0,04	0,01	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	-
125	136	45	27	14	5	2,5	5	14	-
1	1	3	16	18	20	24	10	4	1
k.Ex.	Vp.								k.Ex.
70	40	36	16	15	21	25	55	60	./.
170	15	0	0	0	0	0	0	0	./.
bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.
bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	(5;0,4) 20	(5;0,5) 25	(5;0,3) 15	(5;0,3) 15	(5;0,4) 20	(5;0,5) 25	bis 50 k.Ex.
10,5	13	13	11	11,5	13	15,5	16	17	15,0
7	3	3	3	45	110	193	123	45	10
k.W.	(W.)	k.W.	(W.)	(W.)	(W.)	(W.)	(W.)	(W.)	k.W.
k.W.									k.W.
4	8	26	44	45	59	67	52	30	0
0	0	0	31	26	36	37	32	26	0
10	48	10	40	44	49	56	50	44	10
14		36	115	115	144T	160TD	134TD	100	

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	29	30	30	31
System Kaliumnitrat - $\alpha$ - Lactosemonohydrat														
Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Kalium-nitrat Milchzucker	Ammonium-nitrat Milchzucker	Ammonium-nitrat Milchzucker	Ammonium-nitrat Milchzucker	Ammonium-nitrat Milchzucker	Ammonium-nitrat Milchzucker
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	10	10	20	20	30
0,61	0,66	0,70	0,74	0,80	0,87	0,94	1,01	1,04	0,93	0,52	./.	0,64	./.	0,62
bis 360 k.E.	343	bis 360 k.E.	355 Vp.	352	351	349	351	360 Vp.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	./.	bis 360 k.E.	./.	bis 360 k.E.
0,13	0,07	0,07	0,06	0,05	0,04	0,04	0,04	0,05	0,04	3,39	./.	4,0	./.	3,39
-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	./.	-	./.	-
-	-	-	+	+	+	+	-	-	-	+	./.	-	./.	-
(+)	(+)	(+)	+	+	+	+	-	-	-	(+)	./.	-	./.	-
147	66	37	9,3	4,3	2,5	1,6	4,5	21,2	-	140	./.	87	./.	46
1 k.Ex.	1 k.Ex.	1	3	5	4	2	1,5	1	1	1 k.Ex.	1 k.Ex.	1 k.Ex.	1 k.Ex.	1 k.Ex.
./.	./.	15	50	29	12	513	88	./.	./.	49	43	45	34	36
bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	./.	bis 360 k.R.	./.	bis 360 k.R.
bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	(10;0,4) 40	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	./.	bis 50 k.Ex.	./.	bis 50 k.Ex.
11,1	11,0	11,8	12,0	12,8	13,0	13,0	14,0	14,2	15,0	9,7	./.	11,0	./.	12,0
0	0	0	6	0	13	25	43	22	8	0	./.	0	./.	0
k.W.	k.W.	k.W.	k.W.	k.W.	k.W.	k.W.	(W.)	k.W.	k.W.	k.W.	./.	k.W.	./.	k.W.
8 0 10	13 0 10	15 0 10	44 0 10	50 0 10	58 0 11	52 0 17	13 11 43	1 0 2	0 0 0	8 0 10	./.	4 0 10	./.	4 0 10

31	30	Ammonium-nitrat Milchzucker	70	./.	0,67	./.	bis 360 k.E.	./.	3,0	0,13	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	31	31	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	0	10
32	40	Ammonium-nitrat Milchzucker	60	0,67	bis 360 k.E.	3,0	0,13	./.	./.	./.	13	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	25	15	bis 360 k.R.	11,7	0	./.	./.	./.	./.	./.	./.	0	10		
32	40	Ammonium-nitrat Milchzucker	60	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	22	31	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.
33	50	Ammonium-nitrat Milchzucker	50	0,76	bis 360 k.E.	2,58	0,24	./.	./.	./.	7,6	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	27	20	bis 360 k.R.	12,0	1	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1	12		
33	50	Ammonium-nitrat Milchzucker	50	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	25	90	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.
34	60	Ammonium-nitrat Milchzucker	60	0,85	bis 360 k.E.	2,09	0,25	./.	./.	./.	72	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1	28	6	bis 360 k.R.	12,6	6	./.	./.	./.	./.	./.	./.	7	17		
34	40	Ammonium-nitrat Milchzucker	40	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	22	53	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.
35	70	Ammonium-nitrat Milchzucker	70	0,90	bis 360 k.E.	1,66	0,09	./.	./.	./.	78	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	26	15	bis 360 k.R.	12,3	14	./.	./.	./.	./.	./.	./.	0	27		
35	30	Ammonium-nitrat Milchzucker	30	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	15	100	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	
36	80	Ammonium-nitrat Milchzucker	80	0,94	bis 360 k.E.	1,04	0,13	./.	./.	./.	70	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	35	8	bis 360 k.R.	13,0	116	./.	./.	./.	./.	./.	./.	0	65		
36	20	Ammonium-nitrat Milchzucker	20	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1,5	29	12	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	
37	90	Ammonium-nitrat Milchzucker	90	0,94	bis 360 k.E.	0,5	0,11	./.	./.	./.	53	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	46	44	bis 360 k.R.	12,8	212	./.	./.	./.	./.	./.	./.	0	57D		
37	10	Ammonium-nitrat Milchzucker	10	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1 k.Ex.	61	32	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	
38	100	Ammonium-nitrat	100	0,92	bis 360 k.E.	0,26	0,01	./.	./.	./.	12	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1	117	31	bis 360 k.R.	11,0	136	./.	./.	./.	./.	./.	./.	11	62D		
38	100	Ammonium-nitrat	100	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	1	94	88	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	

System Ammoniumnitrat -  $\alpha$  - Lactosemonohydrat



System Natriumchlorat - α - Lactosemonohydrat

52	Natrium- chlorat Milchzucker	40	0,81	168	0,06	0,05	-	(+)	+	+	3	10	6	0	240	(5;0,15) 7,5	13	29	k.W.	(W.)	62 61 17	140 <sup>TM</sup>	
52	Natrium- chlorat Milchzucker	60	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	5	11	0	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	151 <sup>TM</sup>
53	Natrium- chlorat Milchzucker	50	0,90	172	0,04	0,03	-	+	+	+	1,5	3,5	7	0	160	(5;0,15) 7,5	14,5	63	k.W.	(W.)	58 73 20	151 <sup>TM</sup>	
53	Natrium- chlorat Milchzucker	50	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	8	7	0	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	151 <sup>TM</sup>
54	Natrium- chlorat Milchzucker	60	1,02	166	0,04	0,03	-	+	+	+	0,6	14	7	0	120	(5;0,15) 7,5	15,2	107	(W.)	(W.)	77 78 49	204 <sup>TM</sup>	
54	Natrium- chlorat Milchzucker	40	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	8	7	0	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	204 <sup>TM</sup>
55	Natrium- chlorat Milchzucker	70	1,19	173	0,03	0,02	+	+	+	+	0,5	8	11	1	60	(1;0,5) 5	15,8	137	(W.)	(W.)	80 89 51	220 <sup>TM</sup>	
55	Natrium- chlorat Milchzucker	30	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	8	7	0	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	220 <sup>TM</sup>
56	Natrium- chlorat Milchzucker	80	1,32	169	0,02	0,01	+	+	+	+	<0,5	20	7	0	40	(5;0,2) 10	17,0	149	W.	./.	89 86 62	237 <sup>TM</sup>	
56	Natrium- chlorat Milchzucker	20	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	6	7	0	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	237 <sup>TM</sup>
57	Natrium- chlorat Milchzucker	90	1,46	170	0,01	0,01	-	-	+	+	2,4	4	11	3	80	(5;0,2) 10	18,0	86	W.	./.	42 81 57	180 <sup>MD</sup>	
58	Natrium- chlorat Milchzucker	10	1,56	bis 360 k.R.	0,01	0,01	-	-	-	-	18,8	1	75	160	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex. 1	18,5	10	k.W.	./.	7 0 10	17	
58	Natrium- chlorat	100	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	k.W.	k.W.	./.	17

59	Strontium-nitrat Milchzucker	10	0,55	bis 360 k.E.	0,06	0,05	-	-	(+)	97	1 k.Ex.	45	300	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,0	0	k.W.	k.W.	4	0	14
60	Strontium-nitrat Milchzucker	20	0,64	bis 360 k.E.	0,05	0,05	-	(+)	(+)	97	1 k.Ex.	40	140	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,0	0	k.W.	k.W.	8	0	18
61	Strontium-nitrat Milchzucker	30	0,69	bis 360 k.E.	0,05	0,04	-	(+)	(+)	95	1	37	98	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,5	0	k.W.	k.W.	8	0	18
62	Strontium-nitrat Milchzucker	40	0,80	bis 360 k.E.	0,04	0,03	-	(+)	(+)	94	1 k.Ex.	30	65	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	14,5	0	k.W.	k.W.	8	0	18
63	Strontium-nitrat Milchzucker	50	0,89	bis 360 k.E.	0,04	0,03	-	(+)	(+)	80	1 k.Ex.	25	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	14,0	0	k.W.	k.W.	8	0	18
64	Strontium-nitrat Milchzucker	60	1,04	bis 360 k.E.	0,03	0,03	-	(+)	(+)	46	1,5	45	5	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	15,5	0	k.W.	k.W.	19	0	29
65	Strontium-nitrat Milchzucker	70	1,24	bis 360 k.E.	0,03	0,02	-	(+)	(+)	50	1	67	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	17,5	0	k.W.	k.W.	15	0	25
66	Strontium-nitrat Milchzucker	80	1,44	bis 360 k.E.	0,02	0,01	-	(+)	(+)	52	1 k.Ex.	45	16	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	19,1	0	k.W.	(W.)	8	0	23
67	Strontium-nitrat Milchzucker	90	1,61	bis 360 k.E.	0,01	0,01	-	(+)	(+)	62	1 k.Ex.	110	80	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	18,7	11	k.W.	k.W.	8	0	18
68	Strontium-nitrat	100	1,74	bis 360 k.E.	0,01	0,01	-	-	-	-	1 k.Ex.	130	/.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	20,5	3	k.W.	k.W.	0	0	0

System Strontiumnitrat - α - Lactosemonohydrat



69	Barium-nitrat Milchzucker	10 90	0,90	bis 360 k.E.	0,17	0,04	-	-	(+)	(+)	148	1 k.Ex.	60	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,0	0	k.W.	k.W.	8 0 10	18
70	Barium-nitrat Milchzucker	20 80	0,96	bis 360 k.E.	0,14	0,03	-	-	(+)	(+)	135	1 k.Ex.	50	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13,0	0	k.W.	k.W.	8 0 10	18
71	Barium-nitrat Milchzucker	30 70	1,02	bis 360 k.E.	0,11	0,03	-	-	(+)	(+)	133	1 k.Ex.	45	100 Vp.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13,2	0	k.W.	k.W.	8 0 10	18
72	Barium-nitrat Milchzucker	40 60	1,11	bis 360 k.E.	0,05	0,04	-	-	(+)	(+)	109	1 k.Ex.	29	98 Vp.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13,6	0	k.W.	k.W.	8 0 10	18
73	Barium-nitrat Milchzucker	50 50	1,24	bis 360 k.E.	0,08	0,05	-	-	(+)	(+)	73	1 k.Ex.	62	27 Vp.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	14,5	0	k.W.	k.W.	8 0 10	18
74	Barium-nitrat Milchzucker	60 40	1,30	bis 360 k.E.	0,08	0,06	-	-	+	+	49	1 k.Ex.	47	36 Vp.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	17,2	4	k.W.	(W.)	12 0 15	27
75	Barium-nitrat Milchzucker	70 30	1,43	bis 360 k.E.	0,03	0,03	-	-	+	+	34	1 k.Ex.	56	5 Vp.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	18,0	11	k.W.	(W.)	16 0 15	31
76	Barium-nitrat Milchzucker	80 20	1,58	bis 360 k.E.	0,02	0,02	-	-	(+)	(+)	35	1 k.Ex.	239	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	18,6	16	k.W.	(W.)	15 0 16	31
77	Barium-nitrat Milchzucker	90 10	1,67	bis 360 k.E.	0,01	0,01	-	-	-	-	47	1 k.Ex.	106	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	20,0	28	k.W.	(W.)	0 0 17	17
78	Barium-nitrat	100	1,81	bis 360 k.E.	0,01	0,01	-	-	-	-	-	1 k.Ex.	./.	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	21,8	0	k.W.	k.W.	0 0 0	0

System Bariumnitrat -  $\alpha$  - Lactosemonohydrat

79	System Bariumchlorat - $\alpha$ - Lactosemonohydrat															10	0,86	bis 360 k.E.	0,37	0,07	-	-	(+)	(+)	116,6	1	15	97	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,0	1	k.W.	k.W.	8	0	18
80	Bariumchlorat Milchzucker	90	0,93	bis 360 k.E.	0,43	0,06	-	-	(+)	(+)	84	1	10	80	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,5	9	k.W.	k.W.	8	0	18														
81	Bariumchlorat Milchzucker	80	0,95	240	0,50	0,07	-	-	(+)	(+)	48	6	16	19	bis 360 k.R.	(5;0,6) 30	12,7	24	k.W.	k.W.	44	21	12	77													
82	Bariumchlorat Milchzucker	70	1,01	205	0,50	0,06	-	+	+	+	16,6	8	12	23	bis 360 k.R.	(5;0,3) 15	14,1	65	k.W.	(W.)	61	36	20	117T													
83	Bariumchlorat Milchzucker	60	1,08	190	0,36	0,06	-	+	+	+	4,6	10	13	18	240	(5;0,4) 20	14,9	106	(W.)	(W.)	65	48	49	162T													
84	Bariumchlorat Milchzucker	50	1,13	185	0,31	0,39	-	+	+	+	3,5	14	12	10	160	(5;0,4) 20	16,1	136	(W.)	(W.)	69	60	51	180TMD													
85	Bariumchlorat Milchzucker	40	1,20	180 Ex.	0,39	0,06	+	+	+	+	1	14	11	24	120	(5;0,15) 7,5	16,9	162	W.	./.	80	78	63	221TMD													
86	Bariumchlorat Milchzucker	30	1,29	193	0,45	0,07	+	+	+	+	<1	20	0	8	160	(5;0,2) 10	17,5	149	W.	./.	88	70	62	220TMD													
87	Bariumchlorat Milchzucker	20	1,38	200	0,26	0,06	-	+	+	+	1,7	14	6	11	bis 360 k.R.	(5;0,4) 20	18,3	97	W.	./.	71	31	58	160TD													
88	Bariumchlorat Milchzucker	10	1,47	bis 360 k.E.	0,52	0,08	-	-	-	-	-	1	36	133	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	./.	./.	k.W.	k.W.	0	0	10														
88	Bariumchlorat	100	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	21,0	7	./.	./.	./.	./.	./.														

89	Ammonium-perchlorat Milchzucker	10	0,84	bis 360 k.E.	0,04	0,02	-	-	(+)	(+)	92	1	25	60	360	bis 50 k.Ex.	11,8	0,9	k.W.	k.W.	8	19
90	Ammonium-perchlorat Milchzucker	20	0,88	bis 360 k.E.	0,02	0,02	-	-	+	+	37	1,5	70	0	360	(5;0,3) 15	12,0	10,8	(W.)	(W.)	27 37 15	79
91	Ammonium-perchlorat Milchzucker	30	0,91	360	0,02	0,01	-	-	+	+	22	2	8	0	360	(5;0,3) 15	12,3	33,3	(W.)	(W.)	31 37 18	86
92	Ammonium-perchlorat Milchzucker	40	0,95	360	0,01	0,01	-	-	+	+	17	2,5	16	0	360	(5;0,2) 10	12,4	63,7	(W.)	(W.)	33 42 20	95
93	Ammonium-perchlorat Milchzucker	50	0,98	358 Vp.	0,01	0,01	-	-	+	+	11	5	14	0	240	(5;0,2) 10	13,0	149	(W.)	(W.)	41 58 32	131 <sup>H</sup>
94	Ammonium-perchlorat Milchzucker	60	1,02	340 Vp.	0,01	0,01	-	-	+	+	9	5	25	0	240	(5;0,2) 10	13,5	170	(W.)	(W.)	42 58 54	154 <sup>MD</sup>
95	Ammonium-perchlorat Milchzucker	70	1,05	327 Vp.	0,01	0,01	-	-	+	+	5	20	14	0	240	(5;0,2) 10	12,8	243	(W.)	(W.)	57 58 60	175 <sup>TMD</sup>
96	Ammonium-perchlorat Milchzucker	80	1,09	308 Vp.	0,01	0,01	-	+	+	+	4	20	22	0	160	(5;0,2) 10	14,8	339	./.	./.	66 70 77	213 <sup>TMD</sup>
97	Ammonium-perchlorat Milchzucker	90	1,12	287 Vp.	0,01	0,01	-	-	(+)	(+)	8	24	37	0	240	(5;0,3) 15	13,3	318	(W.)	(W.)	53 53 76	182 <sup>TMD</sup>
98	Ammonium-perchlorat	100	1,16	bis 360 k.E.	0,01	0,01	-	-	-	-	25	6	29	0	bis 360 k.R.	(5;0,6) 30	14,0	108	(W.)	(W.)	26 21 49	96

System Ammoniumperchlorat - α - Lactosemonohydrat

99	Aluminium	100	0,51	bis 360 k.E.	./.	./.	+	+	+	+	78	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	./.	32
99	Aluminium	100	0,48	bis 360 k.E.	0,28	0,01	+	+	+	1 k.Ex.	55	./.	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	8,8	0	k.W.	./.	24
99	Aluminium	100	0,50	./.	0,02	0,00	+	-	+	./.	./.	./.	./.	./.	./.	8	0	./.	./.	16
100	Kalium- nitrat Aluminium	10	0,52	bis 360 k.E.	0,02	0,00	+	+	+	1 Vp.	4	./.	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,0	1	k.W.	k.W.	35
101	Kalium- nitrat Aluminium	20	0,59	bis 360 k.E.	0,02	0,00	+	+	+	1 Vp.	3	./.	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,6	5	k.W.	k.W.	44
102	Kalium- nitrat Aluminium	30	0,62	bis 360 k.E.	0,02	0,01	+	+	+	2	0,5	30	3	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,6	5	k.W.	k.W.	66T
103	Kalium- nitrat Aluminium	40	0,67	bis 360 k.E.	0,01	0,01	+	+	+	2,5	0,5	33	3	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,5	8	k.W.	k.W.	68T
104	Kalium- nitrat Aluminium	50	0,74	bis 360 k.E.	0,01	0,00	+	+	+	8	0,5	30	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,5	20	k.W.	k.W.	75T
105	Kalium- nitrat Aluminium	60	0,80	bis 360 k.E.	0,01	0,01	+	+	+	18	<0,5	35	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13,2	28	k.W.	k.W.	83T
106	Kalium- nitrat Aluminium	70	0,97	bis 360 k.E.	0,01	0,01	+	+	+	16	<0,5	100	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13,5	42	k.W.	k.W.	83T
107	Kalium- nitrat Aluminium	80	1,14	bis 360 k.E.	0,03	0,00	-	-	+	12	-	116	60	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	14,0	53	k.W.	k.W.	56
108	Kalium- nitrat Aluminium	90	1,19	bis 360 k.E.	0,01	0,01	-	-	-	1	-	260	0	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	15,0	39	k.W.	k.W.	21
		10																		13

System Kaliumnitrat - Aluminium

109	Ammonium-nitrat Aluminium	10	0,53	bis 360 k.E.	0,61	0,08	+	+	+	+	+	+	4	1	22	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,5	11	k.W.	k.W.	33 0 10	43
110	Ammonium-nitrat Aluminium	20	0,56	bis 360 k.E.	0,62	0,05	+	+	+	+	+	+	2	2	18	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,5	19	k.W.	k.W.	49 0 12	61
111	Ammonium-nitrat Aluminium	30	0,58	bis 360 k.E.	0,60	0,07	+	+	+	+	+	+	3,5	5	20	0	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	11,3	37	k.W.	k.W.	58 1 13	72T
112	Ammonium-nitrat Aluminium	40	0,61	bis 360 k.E.	0,59	0,06	+	+	+	+	+	+	2,8	8	19	0	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	12,5	47	k.W.	k.W.	64 1 14	79T
113	Ammonium-nitrat Aluminium	50	0,70	bis 360 k.E.	0,52	0,08	+	+	+	+	+	+	3	18	16	0	bis 360 k.R.	(5;0,3) 15	12,3	77	k.W.	(W.)	71 36 21	128T
114	Ammonium-nitrat Aluminium	60	0,74	bis 360 k.E.	0,44	0,07	-	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	3,5	18	34	0	bis 360 k.R.	(5;0,2) 10	12,3	195	(W.)	W.	51 41 56	148TD
115	Ammonium-nitrat Aluminium	70	0,79	bis 360 k.E.	0,36	0,06	-	(+)	(+)	(+)	(+)	(+)	3	14	43	19	bis 360 k.R.	(5;0,2) 10	12,2	324	(W.)	W.	48 41 66	155D
116	Ammonium-nitrat Aluminium	80	0,85	bis 360 k.E.	0,25	0,05	-	-	-	-	-	-	2,5	6	45	85	bis 360 k.R.	(5;0,2) 10	12,0	370	W.	./.	29 41 80	150D
117	Ammonium-nitrat Aluminium	90	0,92	bis 360 k.E.	0,15	0,04	-	-	-	-	-	-	11	1	20	15	bis 360 k.R.	(5;0,3) 15	11,8	362	W.	./.	7 36 79	122D

System Ammoniumnitrat - Aluminium

118	119	120	121	122	123	124	125	126
System Kaliumperchlorat - Aluminium								
Kalium- perchlorat Aluminium	Kalium- perchlorat Aluminium	Kalium- perchlorat Aluminium	Kalium- perchlorat Aluminium	Kalium- perchlorat Aluminium	Kalium- perchlorat Aluminium	Kalium- perchlorat Aluminium	Kalium- perchlorat Aluminium	Kalium- perchlorat Aluminium
10	20	30	40	50	60	70	80	90
0,51	0,54	0,60	0,64	0,70	0,76	0,83	0,89	0,92
bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.	bis 360 k.E.
0,24	0,20	0,21	0,24	0,12	0,09	0,07	0,05	0,05
0,13	0,14	0,06	0,21	0,07	0,06	0,05	0,03	0,01
+	+	+	+	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	+
+	+	+	+	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	-
+	+	+	+	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	-
1	1	<1 Vp.	<1 Vp.	<1 Vp.	<1 Vp.	<1 Vp.	<1 Vp.	40
1 k.Ex.	2	10	20	24	24	24	24	24
24	27	19	27	26	26	25	26	57
2	0	0	0	0	0	0	0	0
bis 360 k.R.	bis 360 k.R.	360	240	240	160	160	240	bis 360 k.R.
bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	bis 50 k.Ex.	(5;0,3) 15
7,0	10,1	10,0	11,0	12,5	13,0	14,0	15,0	16,2
4	6	16	25	48	84	115	122	95
k.W.	k.W.	k.W.	k.W.	k.W.	(W.)	(W.)	W.	W.
k.W.	k.W.	k.W.	k.W.	(W.)	W.	W.	./.	./.
37 0 10	51 0 10	75 1 11	82 17 12	90 17 19	90 29 47	90 29 49	90 17 60	56 36 58
47	61T	87T	111T	126T	166T	168T	167TD	150TD

127	Barium-nitrat Aluminium	10	0,48	bis 360 k.E.	0,20	0,09	+	+	-	-	8	1 k.Ex.	21	39	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,5	0	k.W.	k.W.	25 0 10	35
128	Barium-nitrat Aluminium	20 80	0,51	bis 360 k.E.	0,18	0,07	+	+	+	+	4	1 k.Ex.	23	48	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,5	6	k.W.	k.W.	33 0 10	43
129	Barium-nitrat Aluminium	30 70	0,60	bis 360 k.E.	0,13	0,07	+	+	+	+	3	1 k.Ex.	35	63	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,5	6	k.W.	k.W.	34 0 10	44
130	Barium-nitrat Aluminium	40 60	0,70	bis 360 k.E.	0,12	0,07	+	+	+	+	2	1 k.Ex.	54	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13	7	k.W.	k.W.	35 0 10	45
131	Barium-nitrat Aluminium	50 50	0,78	bis 360 k.E.	0,11	0,07	+	+	+	+	1	4	62	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	14,5	10	k.W.	k.W.	59 0 10	69T
132	Barium-nitrat Aluminium	60 40	0,96	bis 360 k.E.	0,08	0,07	+	+	+	+	1	18	41	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	15,4	16	k.W.	k.W.	74 0 11	85T
133	Barium-nitrat Aluminium	70 30	1,11	bis 360 k.E.	0,07	0,04	+	+	+	+	1	20	41	0	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	18	22	k.W.	k.W.	75 1 12	88T
134	Barium-nitrat Aluminium	80 20	1,41	bis 360 k.E.	0,05	0,02	+	+	+	+	0,5	20	57	0	bis 360 k.R.	(10;0,35) 35	20	27	(W.)	k.W.	80 16 42	138T
135	Barium-nitrat Aluminium	90 10	1,71	bis 360 k.E.	0,02	0,02 (+)	-	+	+	+	300	12	85	0	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	22	33	k.W.	(W.)	53 1 18	72T

System Bariumnitrat - Aluminium

136	Natrium-nitrat Aluminium	10	0,55	bis 360 k.E.	0,09	0,07	-	-	-	+	+	+	2	1 k.Ex.	./.	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,0	3	k.W.	k.W.	19 0 10	29
137	Natrium-nitrat Aluminium	20	0,60	bis 360 k.E.	0,08	0,02	+	+	+	+	+	+	1	1 k.Ex.	./.	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11	4	k.W.	k.W.	37 0 10	47
138	Natrium-nitrat Aluminium	30	0,65	bis 360 k.E.	0,06	0,02	+	+	+	+	+	+	<1 Vp.	8	40	21	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12	6	k.W.	k.W.	71 0 10	81T
139	Natrium-nitrat Aluminium	40	0,71	bis 360 k.E.	0,06	0,03	+	+	+	+	+	+	<1 Vp.	16	43	9	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13,2	11	k.W.	k.W.	78 0 10	88T
140	Natrium-nitrat Aluminium	50	0,79	bis 360 k.E.	0,13	0,09	+	+	+	+	+	+	<1 Vp.	18	58	10	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	13,8	20	k.W.	(W.)	79 1 17	97T
141	Natrium-nitrat Aluminium	60	0,88	bis 360 k.E.	0,11	0,09	+	+	+	-	-	-	<1 Vp.	20	62	5	bis 360 k.R.	(10;0,35) 35	14,5	39	k.W.	k.W.	72 16 13	101T
142	Natrium-nitrat Aluminium	70	0,98	bis 360 k.E.	0,05	0,04	+	+	+	-	-	-	-	14	83	0	bis 360 k.R.	(5;0,5) 25	15,3	49	(W.)	(W.)	50 26 44	120
143	Natrium-nitrat Aluminium	80	1,15	bis 360 k.E.	0,04	0,03	-	-	-	-	-	-	-	2,5	90	85	bis 360 k.R.	(10;0,4) 40	16	57	k.W.	(W.)	16 11 20	47
144	Natrium-nitrat Aluminium	90	1,26	bis 360 k.E.	0,05	0,04	-	-	-	-	-	-	-	1 k.Ex.	./.	./.	bis 360 k.R.	(10;0,4) 40	16,5	46	(W.)	(W.)	0 11 44	55

System Natriumnitrat - Aluminium



145	System Strontiumnitrat - Aluminium															42						
145	Strontium-nitrat Aluminium	10	0,47	bis 360 k.E.	0,19	0,13	+	+	+	+	+	+	1 k.Ex.	23	157	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,5	2,7	k.W.	k.W.	32 0 10
146	Strontium-nitrat Aluminium	20	0,50	bis 360 k.E.	0,19	0,12	+	+	+	+	+	+	1 k.Ex.	28	31	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,3	4,3	k.W.	k.W.	35 0 10
147	Strontium-nitrat Aluminium	30	0,60	bis 360 k.E.	0,16	0,11	+	+	+	+	+	+	1 Vp.	28	13	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,8	7,7	k.W.	k.W.	37 0 10
148	Strontium-nitrat Aluminium	40	0,70	bis 360 k.E.	0,13	0,08	+	+	+	+	+	+	1	39	5	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13,1	10,0	k.W.	k.W.	49 0 10
149	Strontium-nitrat Aluminium	50	0,77	bis 360 k.E.	0,14	0,11	+	+	+	+	+	+	3	37	11	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	14,2	13,0	k.W.	k.W.	60 0 11
150	Strontium-nitrat Aluminium	60	0,89	bis 360 k.E.	0,12	0,09	+	+	+	+	+	+	16	45	35	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	15,6	16,0	k.W.	k.W.	78 0 11
151	Strontium-nitrat Aluminium	70	1,0	bis 360 k.E.	0,09	0,06	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	18	48	4	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	18,8	23,2	k.W.	k.W.	87 0 12
152	Strontium-nitrat Aluminium	80	1,29	bis 360 k.E.	0,06	0,06	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	18	88	15	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	20,9	23,7	k.W.	W.	87 1 22
153	Strontium-nitrat Aluminium	90	1,63	bis 360 k.E.	0,06	0,04	-	(+)	+	+	+	1 k.Ex.	180	340	bis 360 k.R.	(5;0,3) 15	21,3	31,1	(W.)	W.	12 36 43	
		10																				91

154	10	0,47	bis 360 k.E.	0,19	0,13	+	+	+	+	53	1 k.Ex.	28	72	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,1	0	k.W.	k.W.	24 0 10	34
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
155	20	0,48	bis 360 k.E.	0,24	0,16	+	+	+	+	4	1 k.Ex.	21	31	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,3	6,5	k.W.	k.W.	25 0 10	35
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
156	30	0,51	bis 360 k.E.	0,20	0,16	-	+	+	+	3,4	1 k.Ex.	30	11	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	10,3	12,6	k.W.	k.W.	26 1 11	38
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
157	40	0,54	bis 360 k.E.	0,20	0,12	-	+	+	+	3,5	1,5	37	19	bis 360 k.R.	(5;0,6) 30	10,2	30,4	k.W.	(W.)	37 21 17	75
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
158	50	0,58	bis 360 k.E.	0,16	0,13	-	+	+	+	2,5	2,5	15	16	bis 360 k.R.	(5;0,5) 25	10,6	48	k.W.	W.	35 26 24	85
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
159	60	0,64	bis 360 k.E.	0,14	0,09	-	-	-	-	6,5	2,5	25	29	bis 360 k.R.	(5;0,3) 15	10,2	131	W.	./.	25 36 61	122D
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
160	70	0,69	bis 360 k.E.	0,13	0,10	-	-	-	-	8	1	43	50	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,0	260	W.	./.	12 0 71	83D
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
161	80	0,71	bis 360 k.E.	0,15	0,10	-	-	-	-	3,5	1,5	62	53	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,7	374	W.	./.	17 0 80	97D
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
162	90	0,78	bis 360 k.E.	0,11	0,06	-	-	-	-	3,5	1	64	56	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,0	311	W.	./.	13 0 75	88D
	Guanidin- nitrat Aluminium																				
163	100	0,73	bis 360 k.E.	0,06	0,04	-	-	-	-	3,5	1,5	21	41	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,5	157	W.	./.	17 0 63	80D
	Guanidin- nitrat																				

System Guanidinnitrat Aluminium

164	System Guanidin-nitrat + α - Lactosemonohydrat																				
164	Guanidin-nitrat Lactose	10 90	0,69	bis 360 k.E.	0,04	0,03	-	-	(+)	106	1 k.Ex.	42	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,0	0	k.W.	k.W.	4 0 10	14
165	Guanidin-nitrat Lactose	20 80	0,76	bis 360 k.E.	0,05	0,06	-	-	(+)	66	1 k.Ex.	37	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,0	0	k.W.	k.W.	4 0 10	14
166	Guanidin-nitrat Lactose	30 70	0,79	bis 360 k.E.	0,07	0,08	-	-	(+)	61	1 k.Ex.	31	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,6	0	k.W.	k.W.	4 0 10	14
167	Guanidin-nitrat Lactose	40 60	0,80	bis 360 k.E.	0,12	0,14	-	-	(+)	52	1 k.Ex.	30	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,0	0	k.W.	k.W.	4 0 10	14
168	Guanidin-nitrat Lactose	50 50	0,80	bis 360 k.E.	0,10	0,13	-	-	-	-	1 k.Ex.	27	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,7	0	k.W.	k.W.	0 0 10	10
169	Guanidin-nitrat Lactose	60 40	0,79	bis 360 k.E.	0,13	0,14	-	-	-	-	1 k.Ex.	28	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,5	5	k.W.	k.W.	0 0 10	10
170	Guanidin-nitrat Lactose	70 30	0,76	bis 360 k.E.	0,29	0,15	-	-	-	-	1 k.Ex.	20	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,5	6	k.W.	(W.)	0 0 15	15
171	Guanidin-nitrat Lactose	80 20	0,75	bis 360 k.E.	0,35	0,23	-	-	-	-	1 k.Ex.	30	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,5	14	k.W.	W.	0 0 21	21
172	Guanidin-nitrat Lactose	90 10	0,73	bis 360 k.E.	0,23	0,06	-	-	-	-	1 k.Ex.	22	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,7	39	k.W.	W.	0 0 23	23

173	100	0,18	bis 360 k.E.	0,37	0,10	-	-	-	(+)	(+)	28	1 k.Ex.	95	69	./.	./.	./.	./.	./.	./.	8 0 10	18
174	10 90	0,19	bis 360 k.E.	1,10	0,38	-	-	-	+	+	20	1 k.Ex.	40	66	360	bis 50 k.Ex.	4,5	18	k.W.	k.W.	16 1 11	28
175	20 80	0,21	bis 360 k.E.	0,95	0,31	-	-	-	+	+	10,6	2	10	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	4,4	27	k.W.	k.W.	30 0 12	42
176	30 70	0,23	252	0,97	0,32	-	-	-	+	+	3,2	5	7	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	4,5	72	k.W.	(W.)	47 0 21	68
177	40 60	0,27	250	1,07	0,49	+	+	+	+	+	1,4	10	8	0	bis 360 k.R.	(5;0,15) 7,5	4,9	129	k.W.	W.	74 44 30	148T
178	50 50	0,30	245	1,02	0,62	+	+	+	+	+	1,4	18	10	0	360	(1;0,4) 4	5,8	166	W.	./.	80 48 63	191TD
179	60 40	0,37	250	0,70	0,33	+	+	+	Vp.	Vp.	€1 Vp.	20	8	0	360	(1;0,4) 4	6,8	196	W.	./.	88 48 66	202TD
180	70 30	0,46	250	0,85	0,54	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	€1 Vp.	20	9	0	240	(1;0,5) 5	9,0	219	W.	./.	94 63 68	225TDM
181	80 20	0,56	253	0,80	0,49	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	€1 Vp.	12	7	0	240	(5;0,2) 10	10,4	187	W.	./.	88 58 65	211TDM
182	90 10	0,79	bis 360 k.E.	0,30	0,16	-	(+)	Vp.	Vp.	Vp.	1,3	8	10	0	360	(5;0,15) 7,5	11,0	114	W.	./.	58 45 59	162TDM

System Kaliumchlorat - Cellulose

183	System Bariumnitrat - Schwefel														16						
183	Schwefel	100	0,73	bis 360 k.E.	0,04	0,03	-	-	-	-	+	+	34	1 k.Ex.	101	244	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	./.	./.	16 0 0
184	Barium-nitrat Schwefel	10	0,61	bis 360 k.E.	0,06	0,05	-	-	-	-	+	+	34	1 k.Ex.	76	59	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	5	k.W.	16 0 10
185	Barium-nitrat Schwefel	20	0,81	bis 360 k.E.	0,05	0,04	-	-	-	-	+	+	33	1 k.Ex.	80	48	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	4	k.W.	16 0 10
186	Barium-nitrat Schwefel	30	0,87	bis 360 k.E.	0,04	0,02	-	-	-	-	+	+	32	1 k.Ex.	83	87	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	4	k.W.	16 0 10
187	Barium-nitrat Schwefel	40	1,04	bis 360 k.E.	0,03	0,02	-	-	-	-	+	+	34	1 k.Ex.	56	13	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	0	k.W.	16 0 10
188	Barium-nitrat Schwefel	50	1,15	bis 360 k.E.	0,02	0,02	-	-	-	-	+	+	33	1 k.Ex.	62	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	2	k.W.	16 0 10
189	Barium-nitrat Schwefel	60	1,30	bis 360 k.E.	0,03	0,03	-	-	-	-	+	+	33	1 k.Ex.	57	6	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	2	k.W.	16 0 10
190	Barium-nitrat Schwefel	70	1,57	bis 360 k.E.	0,02	0,02	-	-	-	-	+	+	36	1 k.Ex.	65	30	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	7	k.W.	16 1 10
191	Barium-nitrat Schwefel	80	1,79	bis 360 k.E.	0,05	0,02	-	-	-	-	(+)	(+)	29,5	1 k.Ex.	75	92	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	10	k.W.	8 1 10
192	Barium-nitrat Schwefel	90	1,96	bis 360 k.E.	0,03	0,02	-	-	-	-	(+)	(+)	65	1 k.Ex.	160	207	bis 360 k.R.	(10;0,5) 50	13	k.W.	8 1 11

193	System Nitroguanidin - Aluminium												16 0 10	26								
194	Nitroguanidin Aluminium	10	0,42	bis 360 k.E.	0,31	0,20	-	+	+	-	35	1 k.Ex.	17	58	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	8,2	8,5	k.W.	k.W.	24 0 13	37
195	Nitroguanidin Aluminium	20	0,37	bis 360 k.E.	0,28	0,22	+	+	+	-	45	1 k.Ex.	15	35	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	7,2	34,7	k.W.	k.W.	26 0 27	53
196	Nitroguanidin Aluminium	30	0,33	bis 360 k.E.	0,23	0,17	+	+	+	-	3	1 k.Ex.	16	19	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	6,5	84,6	W.	W.	27 11 33	71
197	Nitroguanidin Aluminium	40	0,30	bis 360 k.E.	0,18	0,24	+	+	+	-	2	1 k.Ex.	19	31	bis 360 k.R.	(10;0,4) 40	6,0	167	k.W.	k.W.	23 21 59	103D
198	Nitroguanidin Aluminium	50	0,26	bis 360 k.E.	0,24	0,20	-	+	+	-	11	1	11	27	bis 360 k.R.	( 5;0,6) 30	6,5	232	(W.)	(W.)	16 38 64	118D
199	Nitroguanidin Aluminium	60	0,23	bis 360 k.E.	0,17	0,28	-	-	+	-	5	1	32	38	bis 360 k.R.	( 5;0,6) 30	6,0	295	(W.)	(W.)	22 33 79	134D
200	Nitroguanidin Aluminium	70	0,18	bis 360 k.E.	0,14	0,20	-	-	(+)	+	2	1	29	30	bis 360 k.R.	(10;0,35) 35	5,8	360	W.	W.	9 17 80	106D
201	Nitroguanidin Aluminium	80	0,17	bis 360 k.E.	0,19	0,16	-	-	(+)	(+)	5	1 k.Ex.	22	37	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	5,6	370	W.	W.	16 17 79	112D
202	Nitroguanidin Aluminium	90	0,16	bis 360 k.E.	0,16	0,05	-	-	(+)	-	1,5	1	24	31	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	5,3	355	W.	W.	8 0 72	80D
202	Nitroguanidin Aluminium	100	0,21	bis 360 k.E.	0,13	0,15	-	-	-	-	4	1	25	28	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	5,0	276	W.	W.		

203	Barium-nitrat Cellulose	10 90	0,19	bis 360 k.E.	1,62 0,65	-	-	(+)	(+)	42	1 k.Ex.	70	173	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	4,0	2,5	k.W.	k.W.	8 0 10	18
204	Barium-nitrat Cellulose	20 80	0,21	bis 360 k.E.	1,37 0,87	-	-	(+)	(+)	39	1 k.Ex.	53	168	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	4,6	4,3	k.W.	k.W.	8 0 10	18
205	Barium-nitrat Cellulose	30 70	0,24	bis 360 k.E.	2,07 1,48	-	-	(+)	(+)	26	1 k.Ex.	25	163	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	5,0	8,0	k.W.	k.W.	8 0 10	18
206	Barium-nitrat Cellulose	40 60	0,30	bis 360 k.E.	1,40 0,68	-	-	(+)	(+)	42	1 k.Ex.	22	160	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	5,6	8,9	k.W.	k.W.	8 0 10	18
207	Barium-nitrat Cellulose	50 50	0,32	bis 360 k.E.	1,56 0,93	-	-	(+)	(+)	30	1	53	55	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	5,7	7,0	k.W.	k.W.	15 0 10	25
208	Barium-nitrat Cellulose	60 40	0,35	bis 360 k.E.	0,59 0,36	-	-	(+)	(+)	15	1 k.Ex.	32	36	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	8,0	21,2	(W.)	(W.)	8 0 17	25
209	Barium-nitrat Cellulose	70 30	0,53	bis 360 k.E.	0,60 0,39	-	-	(+)	(+)	15	1 k.Ex.	21	23	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,0	38,0	(W.)	(W.)	8 0 18	26
210	Barium-nitrat Cellulose	80 20	0,70	bis 360 k.E.	0,90 0,59	-	-	(+)	(+)	15	1,5	32	34	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,8	63,6	W.	W.	19 0 25	44
211	Barium-nitrat Cellulose	90 10	1,06	bis 360 k.E.	0,45 0,45	-	-	(+)	(+)	38	1 k.Ex.	39	50	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	16,5	30,9	(W.)	(W.)	4 0 17	21

System Bariumnitrat - Cellulose

212	System Schwefel - Aluminium														26							
212	Schwefel	10	0,50	bis 360 k.E.	0,16	0,08	-	+	+	-	28	1	120	50	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	8,8	0	k.W.	k.W.	16 0 10	
213	Aluminium	90																				
213	Schwefel	20	0,51	bis 360 k.E.	0,13	0,05	-	+	-	-	18	1	45	45	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,5	0	k.W.	k.W.	8 0 10	
213	Aluminium	80																				
214	Schwefel	30	0,53	bis 360 k.E.	0,15	0,07	-	+	-	-	30	1	45	45	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,2	0	k.W.	k.W.	8 0 10	
214	Aluminium	70																				
215	Schwefel	40	0,57	bis 360 k.E.	0,10	0,06	(+)	(+)	(+)	(+)	30	1	55	20	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,7	1	k.W.	k.W.	12 0 10	
215	Aluminium	60																				
216	Schwefel	50	0,62	bis 360 k.E.	0,14	0,04	+	+	+	+	18	1	34	11	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,0	6,4	k.W.	k.W.	32 0 10	
216	Aluminium	50																				
217	Schwefel	60	0,64	bis 360 k.E.	0,09	0,06	+	+	+	+	24	1	35	2	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,8	8,4	k.W.	k.W.	32 0 10	
217	Aluminium	40																				
218	Schwefel	70	0,69	bis 360 k.E.	0,08	0,03	-	+	-	(+)	31	1	28	7	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,5	12,2	k.W.	k.W.	12 0 11	
218	Aluminium	30																				
219	Schwefel	80	0,72	bis 360 k.E.	0,06	0,04	-	(+)	-	-	33	1	33	17	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,8	14,4	k.W.	k.W.	4 0 11	
219	Aluminium	20																				
220	Schwefel	90	0,73	bis 360 k.E.	0,04	0,03	-	(+)	-	-	40	1	35	30	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,0	10,0	k.W.	k.W.	4 0 10	
220	Aluminium	10																				



221	10	0,44	bis 360 k.E.	0,14	0,05	+	+	+	+	+	+	15	1 k.Ex.	/.	/.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	7,7	0	k.W.	/.	32 0 10	42
222	20	0,47	bis 360 k.E.	0,16	0,04	+	+	+	+	+	+	8	1 k.Ex.	/.	/.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	9,3	1	k.W.	/.	33 0 10	43
223	30	0,50	bis 360 k.E.	0,26	0,06	+	+	+	+	+	+	8	1 k.Ex.	/.	/.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,9	4	k.W.	/.	33 0 10	43
224	40	0,53	bis 360 k.E.	0,30	0,07	+	+	+	+	+	+	5	1 k.Ex.	12	/.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,2	5	k.W.	/.	33 0 10	43
225	50	0,57	bis 360 k.E.	0,33	0,11	+	+	+	+	+	+	4	1 k.Ex.	12	/.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	13,0	5	k.W.	/.	42 0 10	52
226	60	0,61	bis 360 k.E.	0,34	0,12	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	4	1 k.Ex.	11	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	14,0	6	k.W.	k.W.	50 0 10	60
227	70	0,64	bis 360 k.E.	0,35	0,14	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	4	1 k.Ex.	18	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	15,0	6	k.W.	k.W.	50 0 10	60
228	80	0,70	bis 360 k.E.	0,35	0,14	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	4	1 k.Ex.	18	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	16,1	4	k.W.	k.W.	50 0 10	60
229	90	0,83	bis 360 k.E.	0,35	0,14	+	+	+	+	+	+	4	1 k.Ex.	10	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	17,0	2	k.W.	k.W.	42 0 10	52

System Bariumperoxid - Aluminium

230	Magnesium	100	0,64	bis 360 k.R.	-0,07	-0,02	+	+	+	+	+	+	1 k.Ex.	./.	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	18,2	0	k.W.	k.W.	32 0 0	32
231	Barium- peroxid Magnesium	10 90	0,73	bis 360 k.R.	0,00	0,00	+	+	+	+	+	+	1 k.Ex.	180	360	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	10,6	0	k.W.	k.W.	33 0 10	43
232	Barium- peroxid Magnesium	20 80	0,83	bis 360 k.R.	0,00	0,00	+	+	+	+	+	+	1 k.Ex.	90	120	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	11,6	0	k.W.	k.W.	33 0 10	43
233	Barium- peroxid Magnesium	30 70	0,88	bis 360 k.R.	0,00	-0,01	+	+	+	+	+	+	1 k.Ex.	55	70	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	12,4	0	k.W.	./.	34 0 10	44
234	Barium- peroxid Magnesium	40 60	0,89	bis 360 k.R.	0,12	0,08	+	+	+	+	+	+	1 k.Ex.	34	37	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	14,0	4	k.W.	./.	37 0 10	47
235	Barium- peroxid Magnesium	50 50	0,90	bis 360 k.R.	0,08	0,04	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	1 k.Ex.	36	38	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	15,1	2	k.W.	./.	50 0 10	60
236	Barium- peroxid Magnesium	60 40	0,91	bis 360 k.R.	0,15	0,09	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	5	29	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	16,0	4	k.W.	./.	74 0 10	84T
237	Barium- peroxid Magnesium	70 30	0,91	bis 360 k.R.	0,18	0,14	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	8	27	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	18,0	4	k.W.	./.	79 0 10	89T
238	Barium- peroxid Magnesium	80 20	0,94	bis 360 k.R.	0,55	0,15	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	5	24	0	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	17,3	3	k.W.	./.	74 0 10	84T
239	Barium- peroxid Magnesium	90 10	0,96	bis 360 k.R.	0,2	0,2	+	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	Vp.	1 k.Ex.	24	25	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	19,2	3	k.W.	k.W.	48 0 10	58
240	Barium- peroxid	100	0,96	bis 360 k.R.	0,33	0,41	-	-	-	-	-	-	1 k.Ex.	./.	./.	bis 360 k.R.	bis 50 k.Ex.	19,0	1	k.W.	k.W.	0 0 0	0

System Bariumperoxid - Magnesium

#### 4.4.2 Diagramme

Der Verlauf der Gefahrzahl in den untersuchten binären Mischungssystemen ist in den Bildern 12 - 36 dargestellt, die Kurvenzüge sind modifizierte Glockenkurven nach Abschnitt 4.3. Die eingezeichneten Linien geben die jeweilige Zusammensetzung mit ausgeglichener Sauerstoffbilanz an. Eine Übersicht über die zu Gruppen zusammengefaßten Diagramme gibt die folgende Zusammenstellung.

Bilder 12 - 36: Abhängigkeit der Gefahrzahl  $G$  vom Massengehalt des Oxidationsmittels  $w_{Ox}$

Seite 53, unten:	Kaliumchlorat-Lactose Natriumchlorat-Lactose	Kaliumchlorat-Cellulose Bariumchlorat-Lactose
Seite 54, oben:	Kaliumnitrat-Lactose Bariumnitrat-Lactose	Natriumnitrat-Lactose Strontiumnitrat-Lactose
Seite 54, Mitte:	Kaliumnitrat-Aluminium Bariumnitrat-Aluminium	Natriumnitrat-Aluminium Strontiumnitrat-Aluminium
Seite 54, unten:	Ammoniumnitrat-Lactose Guanidinnitrat-Lactose	Ammoniumnitrat-Aluminium Guanidinnitrat-Aluminium
Seite 55, oben:	Kaliumperchlorat-Lactose Ammoniumperchlorat-Lactose	Kaliumperchlorat-Aluminium
Seite 55, Mitte :	Bariumnitrat-Cellulose Schwefel-Aluminium	Bariumnitrat-Schwefel
Seite 55, unten :	Bariumperoxid-Aluminium Nitroguanidin-Aluminium	Bariumperoxid-Magnesium

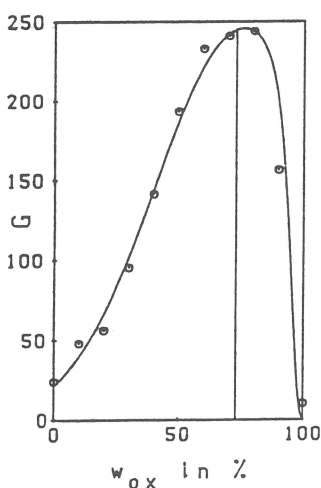


Bild 12:  
Kaliumchlorat-Lactose

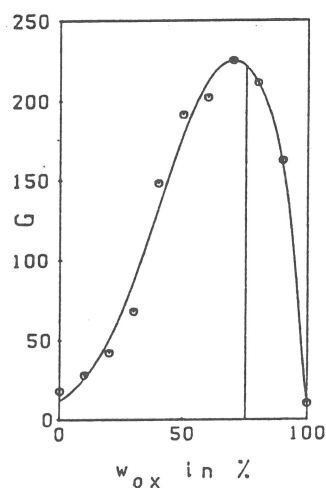


Bild 13:  
Kaliumchlorat-Cellulose

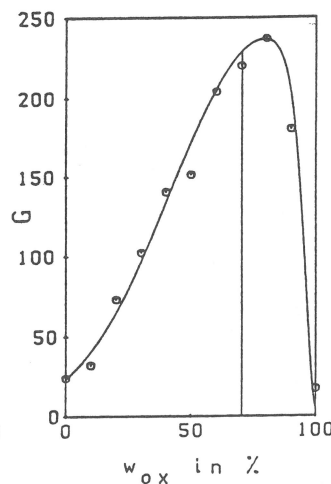


Bild 14:  
Natriumchlorat-Lactose

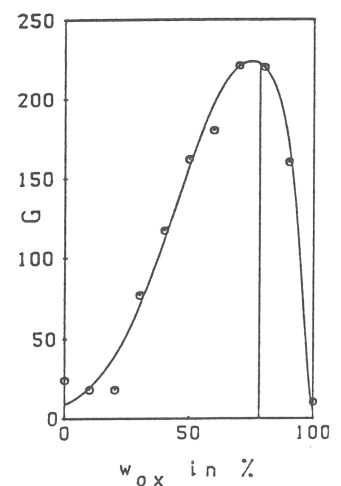


Bild 15:  
Bariumchlorat-Lactose

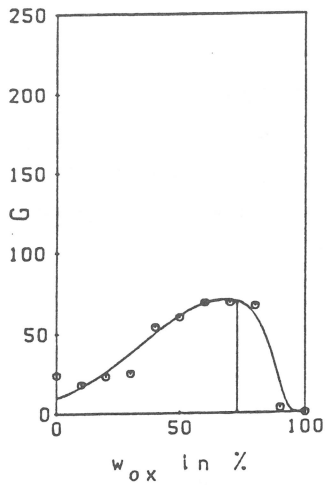


Bild 16:  
Kaliumnitrat-Lactose

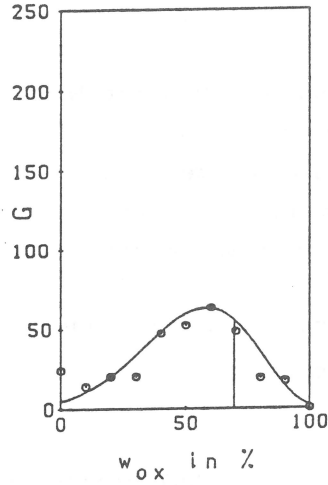


Bild 17:  
Natriumnitrat-Lactose

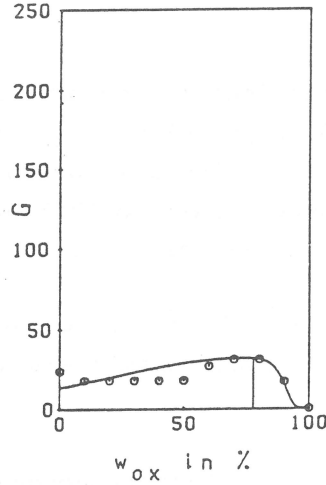


Bild 18:  
Bariumnitrat-Lactose

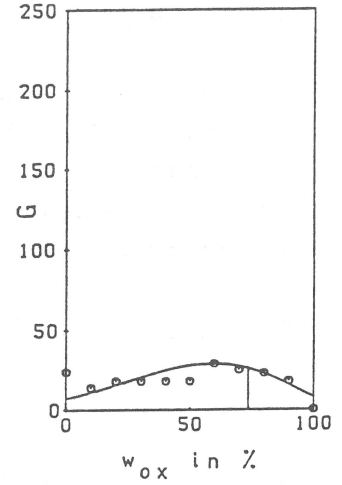


Bild 19:  
Strontiumnitrat-Lactose

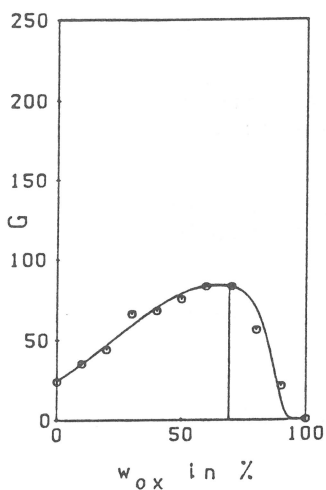


Bild 20:  
Kaliumnitrat-Aluminium

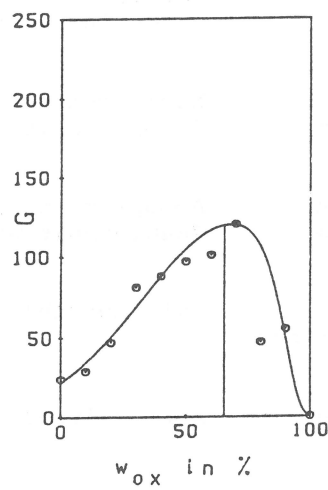


Bild 21:  
Natriumnitrat-Aluminium

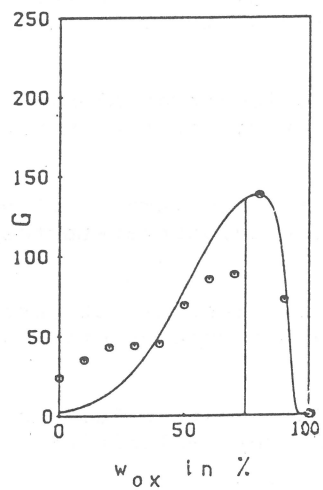


Bild 22:  
Bariumnitrat-Aluminium

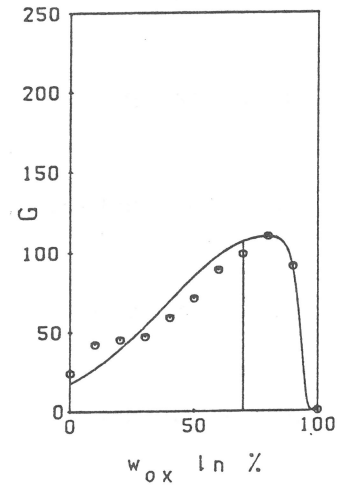


Bild 23:  
Strontiumnitrat-Aluminium

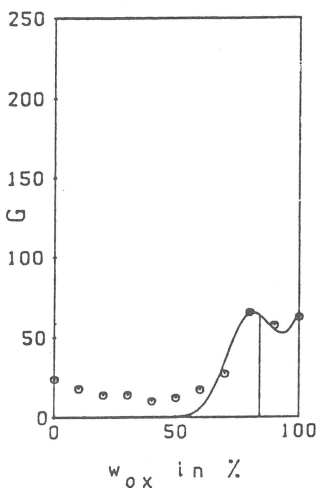


Bild 24:  
Ammoniumnitrat-Lactose

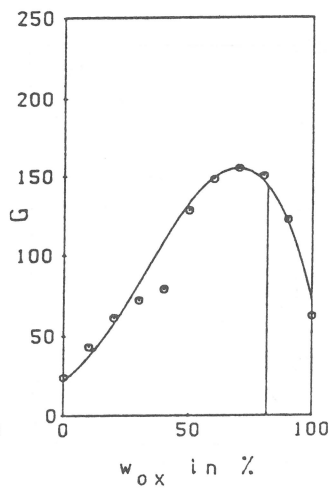


Bild 25:  
Ammoniumnitrat-Aluminium

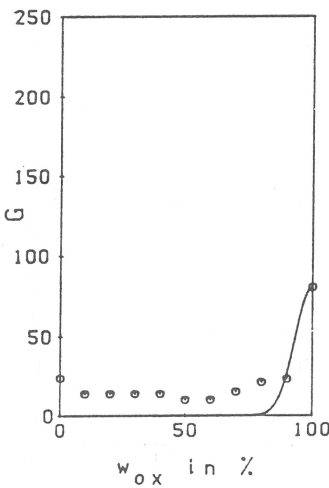


Bild 26:  
Guanidinnitrat-Lactose

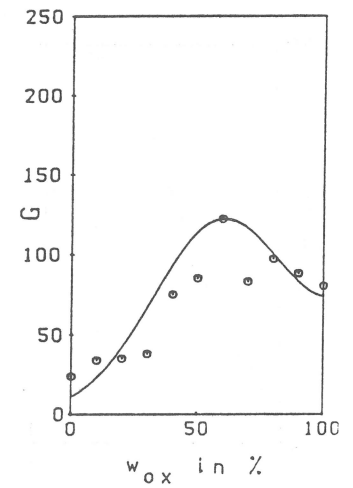


Bild 27:  
Guanidinnitrat-Aluminium

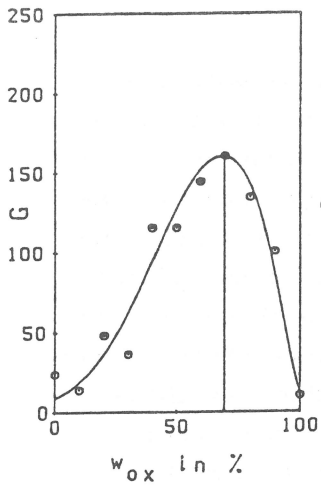


Bild 28:

Kaliumperchlorat-Lactose

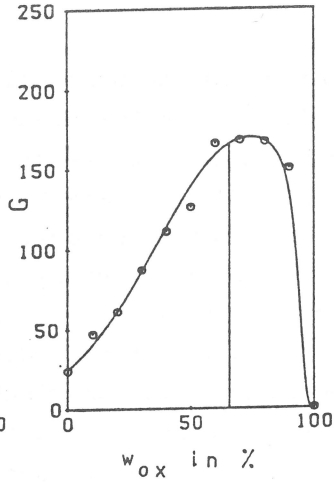


Bild 29:

Kaliumperchlorat-Aluminium

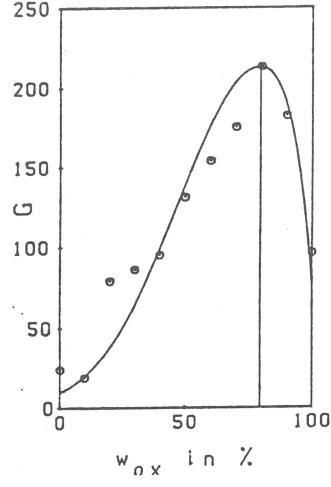


Bild 30:

Ammoniumperchlorat-Lactose

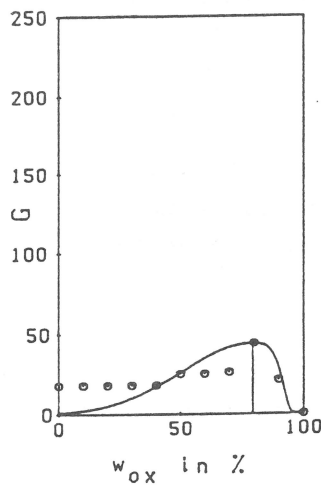


Bild 31:

Bariumnitrat-Cellulose

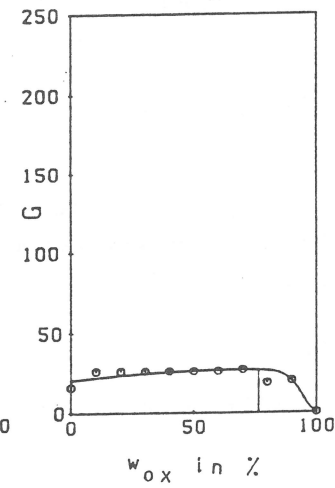


Bild 32:

Bariumnitrat-Schwefel

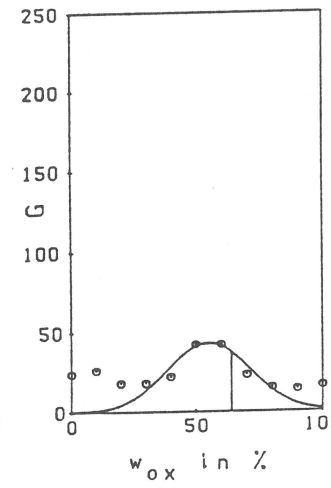


Bild 33:

Schwefel-Aluminium

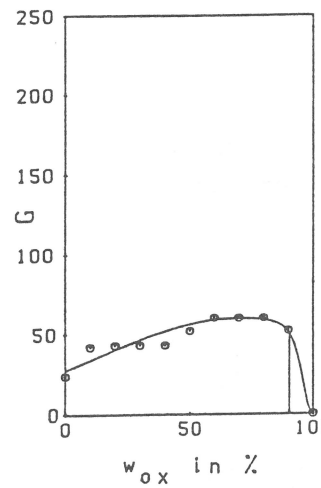


Bild 34:

Bariumperoxid-Aluminium

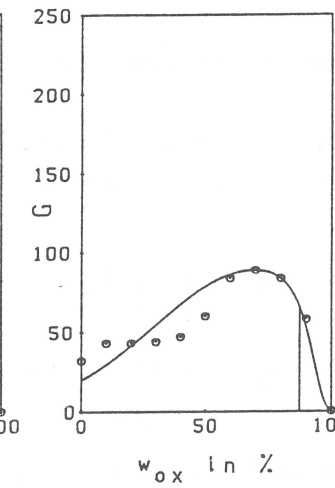


Bild 35:

Bariumperoxid-Magnesium

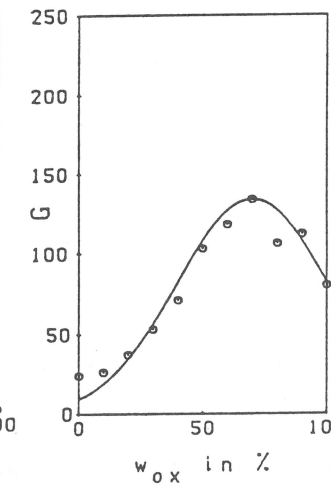


Bild 36:

Nitroguanidin-Aluminium

## 4.5 Diskussion

Der vorliegende Bericht ist primär eine zusammenfassende Darstellung umfangreichen experimentellen Materials, die erläuternden Abschnitte dienen im wesentlichen dem Verständnis der in Abschnitt 4.4 in komprimierter Weise wiedergegebenen sicherheitstechnischen Kenndaten und Gefahrzahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen. Es soll aber nicht unversucht bleiben, anhand dieses Materials Zusammenhänge zu erkennen und damit erweiterte Anwendungsmöglichkeiten zu schaffen. Für einen besseren Vergleich der untersuchten binären Systeme sind in der Tabelle 14 die Parameter der modifizierten Glockenkurven und einige zusätzliche Größen angegeben. Die Tabelle ist nach chemischen Gesichtspunkten ähnlich wie die Diagramme in Abschnitt 4.4.2 strukturiert. Die zusätzlichen Größen sind ein Symmetrieparameter  $S$ , die Fläche unter den Gefahrzahlen des Systems  $G_S$ , der Massengehalt des Oxidationsmittels bei ausgeglichener Sauerstoffbilanz  $w_{\text{Ox}}(B=0)$ , die maximale Standardreaktionsenthalpie  $\Delta H_{\text{max}}$  und der dazugehörige Massengehalt des Oxidationsmittels  $w_{\text{Ox}}(\Delta H_{\text{max}})$ ; sie werden nachfolgend kurz erläutert.

### 4.5.1 Vorbemerkungen zur tabellarischen Übersicht

Mit dem Symmetrieparameter  $S$  kann aus der Halbwertsbreite  $\Gamma$  der symmetrischen Glockenkurve die tatsächliche Halbwertsbreite  $\Gamma_{\text{mod}} = \Gamma \cdot S$  der modifizierten Glockenkurve berechnet werden.  $\Gamma_{\text{mod}}$  setzt sich aus den entsprechenden Anteilen des linken und des rechten Kurvenastes zusammen und ist

$$\Gamma_{\text{mod}} = \Gamma_{\text{links}} + \Gamma_{\text{rechts}} = \Gamma/2 + x_{r,1/2} - x_{\text{max}},$$

wobei  $x_{r,1/2}$  den Abszissenwert des rechten, modifizierten Kurvenastes an der Stelle  $G = G_{\text{max}}/2$  angibt. Ferner gilt

$$\Gamma_{\text{mod}} = \Gamma - u \cdot e^{v \cdot x_{r,1/2}} \quad \text{und somit}$$
$$x_{r,1/2} + u \cdot e^{v \cdot x_{r,1/2}} = \Gamma/2 + x_{\text{max}}, \quad \text{woraus}$$

sich  $x_{r,1/2}$  iterativ und anschließend  $\Gamma_{\text{mod}}$  bzw.  $S$  bestimmen läßt.

Die Fläche unter den Gefahrzahlen  $G_S$  (Systemgefährlichkeit) wird am einfachsten und wirklichkeitsgetreu durch Summation der experimentell ermittelten Gefahrzahlen nach

$$G_S = \frac{1}{10} \left( \frac{G(0\%)}{2} + G(10\%) + G(20\%) + \dots + G(90\%) + \frac{G(100\%)}{2} \right)$$

bestimmt (Trapezregel), wobei der Massengehalt bei der Flächenberechnung nicht mehr in % eingesetzt ist.

Der Massengehalt des Oxidationsmittels bei ausgeglichener Sauerstoffbilanz  $w_{\text{Ox}}(B=0)$  bezieht sich auf die gedachte (nicht untersuchte) Mischung, bei der das Oxidationsmittel gerade soviel Sauerstoff liefert, wie das Reduktionsmittel für die vollständige Verbrennung benötigt, beispielsweise nach der Reaktion



für die Umsetzung zwischen Kaliumchlorat und Lactose (Sauerstoffbilanz vgl. /49/)

Die Standardreaktionsenthalpie  $\Delta H_{298}^{\circ}$  wird anhand der jeweiligen Reaktionsgleichung für die vollständige Umsetzung berechnet. Die Reaktionsprodukte, für die  $\Delta H_{298}^{\circ}$  bei gegebener Zusammensetzung maximal<sup>1)</sup> ist, sind im einzelnen in Tabelle 13 angegeben. Auf die für Explosivstoffe übliche Angabe der Standardreaktionsenergie oder Explosionswärme (Reaktion unter konstantem Volumen statt unter konstantem Druck) wird hier verzichtet, da sich Energie und Enthalpie in den betrachteten Fällen nur geringfügig unterscheiden und je nach Prüfmethode entweder die Bedingungen konstanten Volumens oder die konstanten Druckes überwiegen können.

**Tabelle 13:** Für die Berechnung der maximalen Standardreaktionsenthalpie angenommenen Reaktionsprodukte

Mischungen aus	Reaktionsprodukte
Metallchloraten } und { Lactose Metallperchloraten } und { Cellulose	$MeCl_n, CO_2, H_2O$
Ammoniumperchlorat und Lactose	$N_2, Cl_2, CO_2, H_2O$
Kaliumperchlorat und Aluminium	$KCl, Al_2O_3$
Metallnitraten und { Lactose Cellulose	$Me_{2/n}CO_3, N_2, CO_2, H_2O$
Ammoniumnitrat und Lactose	$N_2, CO_2, H_2O$
Kaliumnitrat und Aluminium	$K, N_2, Al_2O_3$
andere } und Aluminium Metallnitrats }	$Me_{2/n}O, N_2, Al_2O_3$
Ammoniumnitrat und Aluminium	$NH_3, N_2, Al_2O_3$
Guanidinnitrat (und Lactose)	$N_2, C, H_2O$
Guanidinnitrat und Aluminium	$N_2, NH_3, CH_4, Al_2O_3$
Nitroguanidin und Aluminium	$N_2, CH_4, Al_2O_3$
Bariumperoxid und Metalle	$BaO, Me_{2/n}O$
Bariumnitrat und Schwefel	$BaSO_4, N_2, SO_2$
Schwefel und Aluminium	$Al_2S_3$

- 1) Me steht für Metalle in der Oxidationsstufe +n
- 2)  $H_2O$  ist gasförmig

Die verwendeten Standardbildungsenthalpien der anorganischen Verbindungen sind /50/ entnommen, aus anderen Quellen stammen die des Guanidinnitrates und des Nitroguanidins /49/, der Lactose und des Methans /51/ und der Cellulose /52/.

Die maximalen Standardreaktionsenthalpien der Mischungssysteme  $\Delta H_{max}$  sind meist bei ausgeglichener Sauerstoffbilanz gegeben. Abweichungen davon sind entweder darin begründet, daß die Sauerstoffbilanz im gesamten System negativ ist oder daß  $\Delta H_{max}$  durch verstärkte Bildung von Reaktionsprodukten mit stark negativer Standardbildungsenthalpie ( $Al_2O_3, BaSO_4$ ) bei nicht ausgeglichener Sauerstoffbilanz erreicht wird; der dazugehörige Massenanteil des Oxidationsmittels ist in Tabelle 14 unter  $w_{Ox}(\Delta H_{max})$  angegeben, sofern er von  $w_{Ox}(B=0)$  abweicht.

1) Wegen der Konvention, daß vom System abgegebene (freiwerdende) Wärme ein negatives Vorzeichen erhält, bezieht sich "maximal" hier auf den Betrag der Enthalpie, d. h. auf die negativsten Werte, desgleichen bei  $\Delta H_{max}$ .

#### 4.5.2 Diskussion der Ergebnisse

In der Tabelle 14 sind alle Ergebnisse, die für eine vergleichende Betrachtung der untersuchten binären Mischungssysteme benötigt werden, zusammengestellt. Die ersten sechs Parameter  $x_{\max}$ ,  $G_{\max}$ ,  $\Gamma$ ,  $S$ ,  $u$  und  $v$  sind Parameter der modifizierten Glockenkurven. Für die Diskussion der Ergebnisse kann auf  $u$  und  $v$ , die Parameter der Korrekturfunktion, verzichtet werden, da diese in dem anschaulicheren Symmetrieparameter  $S$  enthalten sind.

Bevor die für die Beschreibung der Systeme relevanten Parameter im einzelnen betrachtet werden, seien einige Bemerkungen zu den Parametern  $G_S$  und  $\Delta H_{\max}$  vorangestellt, um zu zeigen, warum diese Parameter für den Vergleich der untersuchten Mischungssysteme hier nicht herangezogen werden.

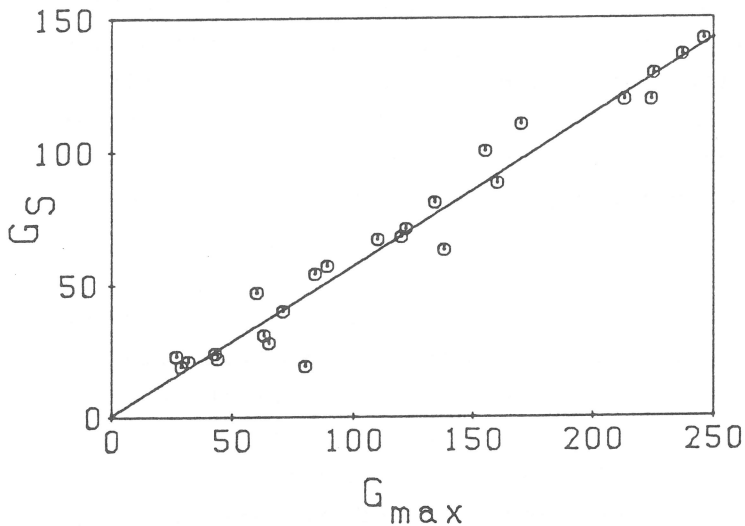
Der Parameter  $G_S$  wurde eingeführt, da angenommen werden konnte, daß die Fläche, die man bei der Auftragung der Gefahrzahlen über dem Massegehalt einer der Mischungskomponenten erhält, die Gefährlichkeit des gesamten Systems charakterisiert. Nun zeigt das Bild 37, daß im Rahmen der zugrundezulegenden Fehlergrenzen ein linearer Zusammenhang zwischen  $G_{\max}$  und  $G_S$  besteht.  $G_{\max}$  kann also ebensogut wie  $G_S$  als Systemgefährlichkeit angesehen werden, mit dem Vorteil, daß  $G_{\max}$  eben explizit - als maximale Gefahrzahl des Systems - die höchste Gefährlichkeit charakterisiert, die in einem Mischungssystem auftreten kann, z. B. beim Mischvorgang selbst, bei dem Teilmengen des Mischgutes alle Mischungsverhältnisse durchlaufen können.

Tabelle 14: Parameter der untersuchten binären Mischungssysteme (vgl. Abschnitte 4.3.3 und 4.4.1)

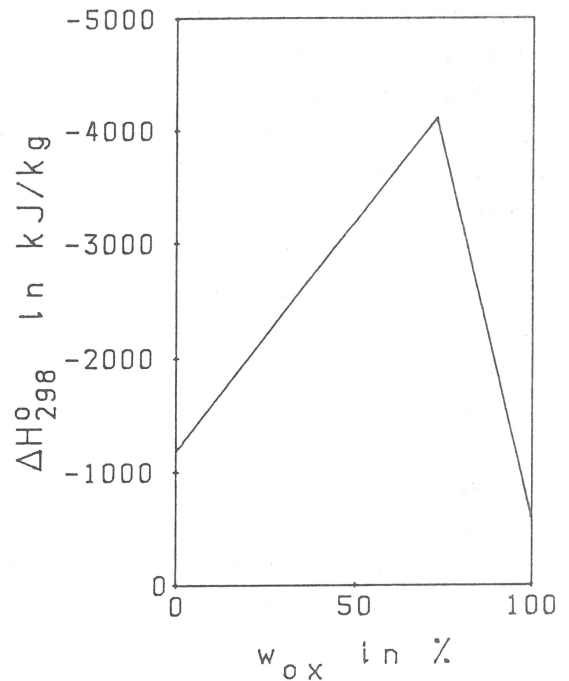
System	$x_{\max}$ in %	$G_{\max}$	$\Gamma$ in %	$S$	$u$	$v$	$G_S$	$w_{ox}(B=0)$ in %	$\Delta H_{\max}$ in kJ/kg	$w_{ox}(\Delta H_{\max})$ in % 2)
Kaliumchlorat-Lactose	76	246	81	0,72	$1,03 \cdot 10^{-9}$	0,253	142	73,1	-4109	
Kaliumchlorat-Cellulose	70	225	68	0,86	$1,15 \cdot 10^{-9}$	0,243	129	75,2	-4261	
Natriumchlorat-Lactose	80	237	88	0,67	$7,11 \cdot 10^{-8}$	0,209	136	70,3	-4591	
Bariumchlorat-Lactose	75	224	69	0,76	$1,46 \cdot 10^{-8}$	0,221	119	78,2	-3206	
Kaliumnitrat-Lactose	69	71	81	0,72	$6,07 \cdot 10^{-5}$	0,147	40	72,9	-3028	
Natriumnitrat-Lactose	60	63	62	0,85	$5,99 \cdot 10^{-2}$	0,0621	31	69,4	-3917	
Bariumnitrat-Lactose	75	32	134	0,61	$5,70 \cdot 10^{-6}$	0,178	21	77,7	-2690	
Bariumnitrat-Cellulose	80	44	69	0,66	$1,35 \cdot 10^{-9}$	0,258	22	79,5	-2789	
Strontiumnitrat-Lactose	60	29	85	0,87	$4,72 \cdot 10^{-2}$	0,0599	19	73,8	-3212	
Kaliumnitrat-Aluminium	65	84	98	0,71	$2,43 \cdot 10^{-5}$	0,163	54	69,2	-7592	65,2
Natriumnitrat-Aluminium	70	120	89	0,71	$5,53 \cdot 10^{-4}$	0,121	68	65,4	-9034	
Bariumnitrat-Aluminium	80	138	66	0,67	$1,08 \cdot 10^{-9}$	0,260	63	74,4	-6688	
Strontiumnitrat-Aluminium	80	110	98	0,63	$1,65 \cdot 10^{-10}$	0,281	67	70,2	-7951	
Kaliumperchlorat-Lactose	70	160	68	0,81	$5,79 \cdot 10^{-4}$	0,110	88	69,8	-4331	
Kaliumperchlorat-Aluminium	74	170	89	0,72	$1,86 \cdot 10^{-10}$	0,274	110	65,8	-10588	
Ammoniumperchlorat-Lactose	80	213	76	0,74	$6,71 \cdot 10^{-6}$	0,151	119	79,6	-4217	
Ammoniumnitrat-Lactose	80	65	21	-	$-1,23 \cdot 10^{-5}$	0,142	28	84,2	-3503	
Ammoniumnitrat-Aluminium	70	155	83	0,85	$5,27 \cdot 10^{-4}$	0,102	100	81,7	-10195	59,7
Guanidinnitrat-Lactose	100	80	16	-	-	-	19	-	-2755	100,0
Guanidinnitrat-Aluminium	60	122	64	-	$-7,15 \cdot 10^{-3}$	0,0746	71	-	-7874	69,3
Nitroguanidin-Aluminium	70	134	71	1,02	$-6,84 \cdot 10^{-1}$	0,00633	81	-	-7819	74,3
Bariumperoxid-Aluminium	70	60	132	0,69	$1,08 \cdot 10^{-9}$	0,257	47	90,4	-2588	
Bariumperoxid-Magnesium	70	89	95	0,72	$1,30 \cdot 10^{-5}$	0,159	57	87,4	-2738	
Bariumnitrat-Schwefel	70	27	228	0,60	$1,01 \cdot 10^{-4}$	0,147	23	76,5	-2366	80,3
Schwefel-Aluminium	55	43	39	1,00 <sup>1)</sup>	-	-	24	-	-3389	64,1

1) definiert 2) sofern abweichend von  $w_{ox}(B=0)$





**Bild 37:** Fläche  $G_S$  unter den Gefahrzahlen eines binären Systems versus maximale Gefahrzahl  $G_{\max}$



**Bild 38:** Standardreaktionsenthalpie  $\Delta H_{298}^0$  in Abhängigkeit vom Massegehalt  $w_{Ox}$  des Oxidationsmittels (System Kaliumchlorat-Lactose)

Da die Explosionswärme einer der Faktoren ist, die für das Arbeitsvermögen von Sprengstoffen maßgeblich sind, lag es nahe, auch nach Zusammenhängen zwischen der Enthalpie und der Gefahrzahl zu suchen. Es war allerdings von vornherein zu erwarten, daß beim Vergleich sehr verschiedenartiger Systeme sich neben den Einflüssen der Thermodynamik (Energiebilanz) auf die Gefahrzahl auch die der Kinetik (Reaktionsgeschwindigkeit) bemerkbar machen. Innerhalb eines Mischungssystems ist der Verlauf der Standardreaktionsenthalpie durchaus dem Verlauf der Gefahrzahl ähnlich; Bild 38 zeigt ein Beispiel.

Nun ergibt aber die Gegenüberstellung von  $G_{\max}$  und  $\Delta H_{\max}$  in Tabelle 14, daß noch nicht einmal innerhalb der Gruppen chemisch verwandter Mischungssysteme ein systematischer Zusammenhang zwischen diesen Parametern zu erkennen ist. Möglicherweise ändert sich dies, wenn nicht die Gefahrzahlen, in denen Wirkung und Empfindlichkeit untereinander verknüpft sind, betrachtet werden, sondern einzelne sicherheitstechnische Kenndaten und neben der Enthalpie auch die freigesetzte Gasmenge berücksichtigt wird. Im Gegensatz zur Größe der maximalen Standardreaktionsenthalpie ist jedoch der dazugehörige Massegehalt des Oxidationsmittels eine für die vorliegende Betrachtung nützliche Größe.

Es bestätigt sich nämlich die Erfahrung, daß innerhalb eines binären Mischungssystems die maximale Gefahrzahl in der Nähe dieser Zusammensetzung  $w_{Ox}(\Delta H_{\max})$  zu finden ist, die nicht unbedingt mit der Zusammensetzung mit ausgeglichener Sauerstoffbilanz  $w_{Ox}(B=0)$  zusammenfallen muß. Über alle untersuchten Mischungssysteme gemittelt ergibt sich die Differenz  $x_{\max} - w_{Ox}(\Delta H_{\max}) = (-2,4 \pm 8,3) \%$ ; d. h., daß auch ohne experimentelle Untersuchung die gefährlichste Mischung eines binären Systems recht zuverlässig bestimmt werden kann, zumal die experimentelle Bestimmung wegen der 10-%-Schritte auch nicht viel genauer ist.

Nun zu dem Vergleich der untersuchten Systeme mittels der Parameter der modifizierten Glockenkurven. Auffällig ist die Ähnlichkeit aller Systeme aus Chloraten und Kohlenhydraten.  $x_{\max}$  und  $w_{\text{Ox}}(B=0)$  variieren zwischen 70 % und 80 %,  $G_{\max}$  liegt im Bereich von 224 bis 246 und  $\Gamma_{\text{mod}} = \Gamma \cdot S$  von 52 % bis 59 %. Mit Einschränkungen läßt sich diese Ähnlichkeit auch auf die entsprechenden Perchlorat-Systeme übertragen, nur daß  $G_{\max}$  im System Kaliumperchlorat-Lactose deutlich niedriger ist und im System Ammoniumperchlorat-Lactose die Tatsache berücksichtigt werden muß, daß das Oxidationsmittel selbst explosionsgefährlich ist. Hier bietet sich also die Möglichkeit, den Gefahrzahlverlauf bisher noch nicht untersuchter ähnlicher Mischungssysteme ohne oder mit nur geringem experimentellen Aufwand abzuschätzen.

Die vorliegenden systematischen Untersuchungen an Chlorat-Kohlenhydrat-Mischungen stimmen auch gut mit früher veröffentlichten sicherheitstechnischen Kenndaten von praktisch verwendeten Pfeif- und Sternsätzen /17/ überein. Die Gefahrzahlen dieser Sätze mit 67 % bis 84 % Kalium- bzw. Bariumchlorat und unterschiedlichen verbrennlichen Substanzen (Akaroidharz, Dextrin, Gallussäure, Grießmehl, Holzkohle, Schellack, Stearin) reichen von  $G = 221$  bis 260, wobei die höchsten Gefahrzahlen auf die Pfeifsätze (Kaliumchlorat-Gallussäure,  $G \geq 250$ ) entfallen, die zu den gefährlichsten pyrotechnischen Sätzen überhaupt gehören.

Weniger gut stimmen die Parameter des einzigen untersuchten Chlorat- bzw. Perchlorat-Metall-Systems (Kaliumperchlorat-Aluminium) mit den in /17/ angegebenen Kenndaten von Kaliumperchlorat-Aluminium-Mischungen ( $w_{\text{Ox}} = 70; 75; 80$  % und  $G = 215_{\text{TM}}; 218_{\text{TMD}}; 206_{\text{TM}}$ ) überein. Hier zeigt sich offensichtlich der gegenüber organischen verbrennlichen Substanzen größere Einfluß der Beschaffenheit von metallischen verbrennlichen Substanzen (Korngröße, Größe und Beschaffenheit der Oberfläche, Reinheit).

Die Alkali- und Erdalkalinitrat-Kohlenhydrat-Systeme zeichnen sich durch generell kleine Werte für  $G_{\max}$  aus, wodurch sich Fehler bei der Bestimmung der Gefahrzahlen stärker auswirken und innerhalb dieser Gruppe stärkere Schwankungen aller Parameter der modifizierten Glockenkurven auftreten.

Die geringere Gefährlichkeit dieser Systeme beruht zwangsläufig auf sowohl geringerer Empfindlichkeit als auch geringerer Wirkung. Deshalb enthalten praktisch verwendete Nitratsätze meist Zusätze wie Schwefel oder Metalle, um Empfindlichkeit oder Wirkung zu erhöhen.

Ein Vergleich mit den Alkali- und Erdalkalinitrat-Aluminium-Systemen verdeutlicht dies, obgleich die maximalen Gefahrzahlen immer noch niedriger sind, als die vieler komplizierter zusammengesetzter Nitrat-Metall-Sätze, beispielsweise Knallsätze aus Bariumnitrat, Schwefel und Aluminium /17/ mit  $G = 200_{\text{TM}}$ . Im übrigen ist der Gefahrzahlverlauf im System Bariumnitrat-Aluminium auch durch die modifizierte Glockenkurve nur unzulänglich darzustellen, bedingt durch ein aus den sonstigen Werten herausragendes, relativ großes  $G_{\max}$ .

In der Tabelle 13 sind vier Nitratsysteme zu einer Gruppe zusammengefaßt, bei denen die Oxidationsmittel Ammoniumnitrat bzw. Guanidinnitrat selbst explosionsfähig bzw. -gefährlich sind. Die Unterschiede im Gefahrzahlverlauf (Bilder 24 bis

27) sind dadurch zu erklären, daß das eine Oxidationsmittel eine positive Sauerstoffbilanz hat (Ammoniumnitrat) und das andere eine negative (Guanidinnitrat) und daß Lactose und Aluminium unterschiedlich starke Reduktionsmittel sind. So wirkt gegenüber Guanidinnitrat die Lactose praktisch nur noch inertisierend, das Aluminium jedoch noch deutlich reduzierend. Anders im System Ammoniumnitrat-Lactose, in dem  $w_{\text{Ox}}(\Delta H_{\text{max}}) = w_{\text{Ox}}(B=0)$  ist und  $G_{\text{max}}$  in der Nähe dieses Wertes liegt.

Die Systeme Guanidinnitrat-Aluminium und Nitroguanidin-Aluminium (Bilder 27 und 36) zeigen in der grafischen Darstellung einen recht ähnlichen Gefahrzahlverlauf, entsprechend den ähnlichen Werten für  $\Delta H_{\text{max}}$  und  $w_{\text{Ox}}(\Delta H_{\text{max}})$ .

Die beiden untersuchten Bariumperoxid-Metall-Systeme zeigen im Vergleich zu den jeweiligen Werten für  $G_{\text{max}}$  relativ hohe Gefahrzahlen bei kleinen Oxidationsmittelgehalten, bedingt durch die Eigenschaften der Reduktionsmittel. Daher ist der Gefahrzahlverlauf in diesem Bereich durch die Glockenkurve nur unbefriedigend wiedergegeben. Auf die Aussagekraft der Gefahrzahlen speziell bei diesen Systemen wird noch gesondert eingegangen.

Die Systeme Bariumnitrat-Schwefel und Schwefel-Aluminium sind zwei der drei binären Mischungssysteme des ternären Systems Bariumnitrat-Schwefel-Aluminium, von praktischer Bedeutung sind sie nur als Vormischungen komplizierter zusammengesetzter Sätze. Interessant ist aber, daß das sauerstofffreie System Schwefel-Aluminium höhere Gefahrzahlen erreicht, als einige untersuchte Nitratsysteme, wobei sich G ausschließlich aus den Punkten für die Entzündlichkeiten und das nicht geprüfte 4"-Stahlrohr zusammensetzt.

Abschließend sollen die Ergebnisse des vorliegenden Berichtes zu einer kritischen Betrachtung der in Abschnitt 2.2 angegebenen Beispiele für die Gruppeneinteilung nach der UVV 46 k herangezogen werden.

Aus diesen Beispielen seien einige herausgegriffen und mit den Bewertungen nach Abschnitt 4.4.1 verglichen. Dazu bedarf es allerdings einer Zuordnung von Gefahrzahlbereichen zu den Gruppen der UVV 46 k. Mit einer derartigen Zuordnung wurden bereits seit Jahren Erfahrungen gesammelt, ohne daß diese Zuordnung bisher veröffentlicht wurde, weil es in der Natur der pyrotechnischen Sätze und ihrer Herstellungs- und Verarbeitungsbedingungen liegt, daß die einzelnen Gefahrgruppen keine scharfen Grenzen haben können. Berücksichtigt man dies und unterzieht man die Gruppenzuordnung mittels einer Gefahrzahl einer kritischen Prüfung und gegebenenfalls einer Korrektur durch einen Sachverständigen, dann ist die folgende Zuordnung als nützlich und bewährt anzusehen:

Gruppe	G
1	$\geq 200$
2	150 - 199
3	100 - 149
4	50 - 99
5	$\leq 50$

Mit dieser Zuordnung von Gefahrzahlbereichen zu Gefahrgruppen stimmen die als Beispiele für die Gruppe 1 genannten chlorat- bzw. perchlorathaltigen Knall- und Pfeifsätze überein, da diese Zusammensetzungen in der Nähe der ausgeglichenen

Sauerstoffbilanz haben. Berücksichtigt man noch die weiter oben erwähnten älteren Untersuchungen an Kaliumperchlorat-Aluminium-Mischungen, so werden für diese Sätze im allgemeinen Gefahrzahlen über 200 gefunden.

Der Gruppe 2 werden die Nitrat-Metall-Schwefel-Sätze, der Gruppe 3 die Nitrat-Metall-Sätze ohne Schwefel zugeordnet; auch dies stimmt mit den vorliegenden Untersuchungen grundsätzlich überein, wenn auch einzelne schwefelfreie Sätze durchaus Gefahrzahlen über 150 erreichen können, z. B. Nitrat-Magnesium-Sätze mit  $G = 153$  bzw.  $164 /17/$ . In dem ternären System Bariumnitrat-Schwefel-Aluminium wurde  $G_{\max} = 173$  gefunden /45/.

In der Gruppe 3 sind ferner Perchlorat-Metall-Sätze, aber andere als Knallsätze, erwähnt. Hier kann die Aussage der UVV mit Hilfe der Parameter der modifizierten Glockenkurve des Systems Kaliumperchlorat-Aluminium quantifiziert werden, wobei die in Tabelle 14 angegebene maximale Gefahrzahl durch  $G_{\max} = 218$  nach /17/ ersetzt wird. Für den linken Ast der Glockenkurve ergibt sich dann  $G \geq 150$  für  $w_{\text{Ox}} \geq 41,3 \%$ , so daß die Perchlorat-Metall-Sätze der Gruppe 3 nicht mehr als 40 % Perchlorat<sup>1)</sup> enthalten sollten, es sei denn, deren Gefährlichkeit wird im einzelnen experimentell untersucht.

Ähnliche Betrachtungen sind auch hinsichtlich der bereits festgelegten Grenzhaltigkeit bei den Chloratsätzen der Gruppe 2, 3 und 4 möglich<sup>1)</sup>. Stellt man für jeden Massengehalt des Oxidationsmittels jeweils die höchste Gefahrzahl der vier untersuchten Chlorat-Kohlenhydrat-Systeme zusammen, so ergeben sich von  $w_{\text{Ox}} = 10 \%$  bis 80 % die Gefahrzahlen  $G = 48; 73; 102; 148; 193; 233; 241; 244$ . Hieraus ließe sich folgende Zuordnung ableiten:

Gruppe 4 bis 30 % Chlorat,  
Gruppe 3 bis 40 % Chlorat,  
Gruppe 2 bis 50 % Chlorat,

die auch mit den in /17/ beschriebenen Chloratsätzen besser übereinstimmt. Dort haben alle Chloratsätze mit  $w_{\text{Ox}} \geq 55 \%$  Gefahrzahlen über 200. Ein Satz mit nur 33 % Kaliumchlorat erreicht allerdings sogar  $G = 198$ , einer mit 29,5 % Kaliumchlorat  $G = 126$ .

Es muß allerdings auch auf die Fälle hingewiesen werden, in denen umgekehrt die Gefahrzahlen eine gegenüber dem allgemein akzeptierten Gefährlichkeitsgrad zu geringe Gefährlichkeit wiedergeben. Hier sind die Bariumperoxid-Metall-Sätze mit  $G_{\max} = 60$  (Aluminium) und  $G_{\max} = 89$  (Magnesium) zu nennen, die danach nicht über die Gruppe 4 hinauskämen. Zum Vergleich sei erwähnt, daß ein Bariumperoxid-Zirkonium-Satz mit sicherheitstechnischen Kenndaten, die denen der entsprechenden Bariumperoxid-Magnesium-Sätze sehr ähnlich sind, in der Beispielsammlung zur Gruppeneinteilung der UVV 46 k in der Gruppe 1 aufgeführt ist. Hier machen sich offensichtlich die besonderen Eigenschaften gasloser Sätze (mit bei Umgebungstemperatur ausschließlich festen Reaktionsprodukten) in Kombination mit relativ kleinen Reaktionsenthalpien und hohen Siedepunkten der Reaktionsprodukte bemerkbar.

1) Die Prozentangaben beziehen sich jeweils auf die Masse des Salzes (z. B.  $\text{KClO}_3$ ,  $\text{KClO}_4$ ) und nicht des Säureanions ( $\text{ClO}_3^-$ ,  $\text{ClO}_4^-$ ), wobei der unterschiedliche, durch verschiedene Metalle bedingte Chlorat- oder Perchloratgehalt der Salze unberücksichtigt bleibt.

## 5. Zusammenfassung

Fünfundzwanzig binäre Mischungssysteme aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen wurden im Rahmen von Ingenieur- und Diplomarbeiten der Technischen Fachhochschule Berlin in der BAM untersucht, die sicherheitstechnischen Kenndaten und Gefahrzahlen der insgesamt 240 Einzelzusammensetzungen sind in dem vorliegenden Bericht mitgeteilt. Mittels dieser Kenndaten und Gefahrzahlen kann die Gefährlichkeit der explosionsfähigen bzw. -gefährlichen Mischungen, die nichts anderes als einfach aufgebaute pyrotechnische Sätze sind, charakterisiert werden. Das Verfahren zur Ermittlung der Gefahrzahlen, das in deutscher Sprache bisher noch nicht veröffentlicht wurde, ist ausführlich beschrieben.

Neben der tabellarischen Zusammenstellung der Ergebnisse ist der Gefahrzahlverlauf jedes Systems grafisch dargestellt, den dazugehörigen Überlegungen und der mathematischen Anpassung einer modifizierten Glockenkurve ist ein eigener Abschnitt des Berichtes gewidmet.

Die Parameter der angepaßten Funktionen sind ein nützliches Hilfsmittel bei der vergleichenden Betrachtung von Systemen, mit deren Hilfe in der Diskussion der Ergebnisse einige allgemeine Zusammenhänge - beispielweise Ähnlichkeiten bestimmter Systeme - aufgezeigt beziehungsweise Abweichungen erläutert sind, aber auch auf die Grenzen bestimmter Betrachtungsweisen - insbesondere energetischer - hingewiesen wird.

Abschließend werden einige Beispiele für die Zuordnung von pyrotechnischen Sätzen zu Gefahrgruppen der Unfallverhütungsvorschrift "Herstellen pyrotechnischer Gegenstände" mit der Gefährlichkeit der entsprechenden binären Mischungen verglichen. Dabei erweist sich die seit Jahren BAM-intern verwendete Zuordnung von Gefahrzahlenbereichen zu Satzgruppen als vernünftig und die Beispielsammlung der Unfallverhütungsvorschrift als teilweise korrekturbedürftig.

Den Autoren ist die Verbreitung dieses Berichtes in der pyrotechnischen Industrie und in den zuständigen Aufsichtsbehörden - beispielsweise Gewerbeaufsichtsämter und Berufsgenossenschaften - der Bundesrepublik Deutschland, aber auch über die Landesgrenzen hinaus, ein Bedürfnis. Sie sind der Hoffnung, daß die Umsetzung der erweiterten Kenntnisse über die Gefährlichkeit binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen in die Praxis zu einer Erhöhung der Sicherheit bei der Herstellung und Verarbeitung pyrotechnischer Sätze und verwandter Stoffmischungen führt. Aus diesem Grunde sind weitere Untersuchungen von binären Mischungssystemen vorgesehen, deren Ergebnisse zu gegebener Zeit als Nachtrag veröffentlicht werden sollen. Die systematische Untersuchung von ternären Mischungssystemen, die für die Praxis von noch größerer Bedeutung sind, ist mit derart hohem experimentellen Aufwand verbunden, daß sie nicht in dem wünschenswerten Umfang durchgeführt werden kann; noch kompliziertere Systeme können deshalb ausschließlich in wenigen, bestimmten Zusammensetzungen untersucht werden.

Darüberhinaus sind die Ergebnisse dieses Berichtes ein erster Schritt zur Untersuchung der Frage, wieweit sich Modellsubstanzen, die durch ihre sicherheitstechnischen Kenndaten charakterisiert sind, zur Simulation von bestimmten Gefahrenmomenten eignen.

Abschließend danken die Autoren den beteiligten Institutionen für die Förderung der Arbeiten, den Studenten für die sorgfältige Durchführung der experimentellen Untersuchungen sowie all denen, die bei der Fertigstellung des Forschungsberichtes mitgewirkt haben.

## Literaturverzeichnis

- /1/ Gesetz über explosionsgefährliche Stoffe (Sprengstoffgesetz - SprengG) vom 17. April 1986 (BGBl. I, S. 577).
- /2/ Unfallverhütungsvorschrift Abschnitt 46 a. Explosivstoffe und Gegenstände mit Explosivstoff - Allgemeine Vorschrift - vom 1. August 1978. Jedermann-Verlag Dr. Otto Pfeffer oHG, Heidelberg
- /3/ Unfallverhütungsvorschrift Abschnitt 46 k. Herstellen pyrotechnischer Gegenstände vom 1. April 1981. Jedermann-Verlag Dr. Otto Pfeffer oHG, Heidelberg
- /4/ Heinrich, H.-J.: Kriterien für die Bewertung gefährlicher Stoffe. Schadensprisma 4 (1985) S. 75 - 78
- /5/ Koenen, H.; Ide, K.H.; Swart, K.-H.: Sicherheitstechnische Kenndaten explosionsfähiger Stoffe. I. Mitteilung. Explosivstoffe 9 (1961) S. 4 -13 und 30 - 42
- /6/ Treumann, H.: Die explosiven Eigenschaften pyrotechnischer Sätze. Amts- und Mitteilungsblatt BAM 1 (1970/71) Nr. 7, S. 103 - 106
- /7/ Treumann, H.: The characterization of the degree of hazard of pyrotechnic compositions by a single value. Kogyo Kayaku (Explosion and Explosives, Journal of the Industrial Explosives Society, Japan) 39 (1978) Nr. 3, S. 149 - 150 (in Japanisch)
- /8/ Treumann, H.: Quantification of the degree of hazard of pyrotechnic compositions. Proceedings of the Seventh International Pyrotechnic Seminar, Vail/Colorado 1980, S. 878 - 897
- /9/ Treumann, H.: Systematische Untersuchung der explosiven Eigenschaften von Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen. Proceedings 16. Internationale ICT-Jahrestagung 1985 combined with 10th International Pyrotechnics Seminar, Karlsruhe, S. 47-1 bis 47-15
- /10/ Ogawa, T.; Fukuyama, I.; Ohtani, N.Y.; Yagi, N.; Shimizu, S.: Evaluation of safety characteristics of nonsensitive explosive substances. J. Industrial Explosives Society, Japan, 41 (1980) S. 142 - 155
- /11/ Feng, K.K.; Vandebek, R.R.: Hazardous characteristics of pyrotechnic, propellant and explosive dusts. 1st Int. Colloq. Explosibil. Dusts, Baranow (Pl) 1984, S. 93 - 102
- /12/ Mäki, A.; Kariniemi, A.: Testing and hazard classification of pyrotechnic compositions in Finland. Proceedings 16. Internationale ICT-Jahrestagung 1985 combined with 10th International Pyrotechnics Seminar, Karlsruhe, S. 66-1 bis 66-13
- /13/ Waffengesetz (WaffG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 8. März 1976 (BGBl. I, S. 432); geändert durch das Gesetz zur Änderung des Waffenrechts vom 31. Mai 1978 (BGBl. I, S. 641) und das Zweite Gesetz zur Änderung des Waffengesetzes vom 14. Juli 1980 (BGBl. I, S. 956).
- /14/ Koenen, H.; Freytag, H.: Begriffsbestimmungen für Sprengstoffe und ähnliche Stoffe. Arbeitsschutz (1959) H. 9, S. 204 - 205
- /15/ Ide, K.H.; Haeuseler, E.; Swart, K.-H.: Sicherheitstechnische Kenndaten explosionsfähiger Stoffe. II. Mitteilung. Explosivstoffe 9 (1961) S. 195 - 197
- /16/ Swart, K.-H.; Wandrey, P.-A.; Ide, K.H.; Haeuseler, E.: Sicherheitstechnische Kenndaten explosionsfähiger Stoffe. III. Mitteilung. Explosivstoffe 13 (1965) S. 339 - 342
- /17/ Ide, K.H.; Koch, H.W.; Swart, K.-H.; Treumann, H.: Sicherheitstechnische Kenndaten explosionsfähiger Stoffe. IV. Mitteilung. Explosivstoffe 18 (1970) S. 56 - 65
- /18/ Hahn, H.; Hintze, W.; Treumann, H.: Safety and technological aspects of black powder. Propellants and Explosives 5 (1980) S. 129 - 134
- /19/ Koenen, H.; Ide, K.H.; Haupt, W.: Über die Prüfung explosiver Stoffe, IV. Mitteilung. Explosivstoffe 6 (1958) S. 178 - 189, 202 - 214 u. 223 - 235

- /20/ Purbs, J.: Ermittlung der sicherheitstechnischen Kenndaten des Systems Kaliumperchlorat-Lactose. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1976
- /21/ Haase, H.: dito, Kaliumnitrat-Lactose. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1978
- /22/ Jansen, H.: dito, Ammoniumnitrat-Lactose. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1977
- /23/ Niens, P.: dito, Natriumnitrat-Milchzucker. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1978
- /24/ Müller, W.: dito, Natriumchlorat-Milchzucker. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1978
- /25/ Traut, W.: dito, Strontiumnitrat-Milchzucker. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1979
- /26/ Steuer, E.: dito, Bariumnitrat-Lactose. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1979
- /27/ Hasse, T.: dito, Bariumchlorat-Lactose. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1979
- /28/ Bluhm, E.: dito, Ammoniumperchlorat-Lactose. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1980
- /29/ Nagel, R.: dito, Kaliumnitrat-Aluminium. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1981
- /30/ Hummel, H.: dito, Ammoniumnitrat-Aluminium. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1982
- /31/ Krüger, G.: dito, Kaliumperchlorat-Aluminium. Studienarbeit, TFH Berlin 1983
- /32/ Purbs, J.: dito, Bariumnitrat-Aluminium. Studienarbeit, TFH Berlin 1983
- /33/ Guhle, G.: dito, Natriumnitrat-Aluminium. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1984
- /34/ Rogall, M.: dito, Strontiumnitrat-Aluminium. Ingenieurarbeit, TFH Berlin 1984
- /35/ Finke, L.: dito, Guanidinnitrat-Aluminium. Diplomarbeit, TFH Berlin 1984
- /36/ Astfalk, P.: dito, Guanidinnitrat-Lactose. Diplomarbeit, TFH Berlin 1985
- /37/ Muth, M.: dito, Kaliumchlorat-Cellulose. Diplomarbeit, TFH Berlin 1985
- /38/ Scholz, J.: dito, Bariumnitrat-Schwefel. Diplomarbeit, TFH Berlin 1985
- /39/ Grünberg, H.: dito, Nitroguanidin-Aluminium. Diplomarbeit, TFH Berlin 1985
- /40/ Kerner, J.: dito, Bariumnitrat-Cellulose. Diplomarbeit, TFH Berlin 1985
- /41/ Schaup, M.: dito, Aluminium-Schwefel. Diplomarbeit, TFH Berlin 1985
- /42/ Morawietz, M.: dito, Bariumperoxid-Aluminium. Diplomarbeit, TFH Berlin 1986
- /43/ Wilke, R.: dito, Bariumperoxid-Magnesium. Diplomarbeit, TFH Berlin 1987
- /44/ Methode A.17. Brandfördernde Eigenschaften. Richtlinie Nr. 84/449/EWG "Richtlinie der Kommission vom 25. August 1984 zur 6. Anpassung der Richtlinie 67/548/EWG des Rates zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften für die Einstufung, Verpackung und Kennzeichnung gefährlicher Stoffe an den technischen Fortschritt". ABLEG Nr. L 251 vom 19. September 1984
- /45/ Treumann, H.: Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrzahlen in pyrotechnischen Dreistoffsystemen. In Vorbereitung
- /46/ Swart, K.-H.; Treumann, H.; Krüger, G.: Über Versuche zur Ermittlung des Verhaltens größerer Mengen pyrotechnischer Sätze nach thermischer Zündung. Die Berufsgenossenschaft (1969) H. 5/6, S. 163 u. S. 203
- /47/ Fabel, O.: Private Mitteilung, Berlin 1986
- /48/ Smith, A.R.: Digital Filmmaking. Abacus 1 (1983) S. 28-45
- /49/ Meyer, R.: Explosivstoffe. Verlag Chemie, Weinheim
- /50/ Handbook of chemistry and physics. CRC Press, Cleveland, Ohio

- /51/ Landolt-Börnstein: Zahlenwerte und Funktionen. Kalorische Zustandsgrößen. II. Band, 4. Teil, 6. Auflage, Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg, 1961
- /52/ Médard, M.L.: Tables thermochimiques à l'usage de techniciens des substances explosives. Imprimerie Nationale, Paris, 1954
- /53/ Petersen, R.: Estimating Explosive Sensitivity. 11. Internationale Jahrestagung des Instituts für Chemie der Treib- und Explosivstoffe (ICT), Karlsruhe 1980, S. 451 - 460



## Bisher erschienene Forschungsberichte der BAM

Nr. 1/September 1968

### **Forschung und Entwicklung in der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM)**

Rechenschaftsbericht für den Bundesminister für Bildung und Wissenschaft

Nr. 2/Juli 1970 (vergriffen)

### **Zum Problem des Feuchtigkeitsschutzes von Dehnungsmeßstreifen und Halbleitergebern**

von Dr.-Ing. Götz Andreae

Nr. 3/September 1970 (vergriffen)

### **Über das mechanische Verhalten von Aluminium-Stahl-Freileitungsseilen als Beispiel für Verbundbauteile**

von Dr.-Ing. Josef Ziebs

Nr. 4/Dezember 1970 (vergriffen)

### **Formbeständigkeit von Holz gegenüber Feuchtigkeit — Grundlagen und Vergütungsverfahren**

von Dr. rer. nat. Arno Burmester

Nr. 5/März 1971

### **Die Bedeutung der Netzstellenart und der Netzwerkkettendichte für die Beschreibung der elastischen Eigenschaften und des Abbaus von elastomeren Netzwerken**

von Dr. rer. nat. Norbert Steiner

Nr. 6/April 1971

### **Zur Problematik der Prüfung und Beurteilung des Luftschallschutzes von Bauelementen bei unterschiedlichen Einbaubedingungen**

von Prof. Dr.-Ing. Paul Schneider

Nr. 7/Juli 1971

### **Chromatographie und chemische Konstitution — Untersuchungen über den Einfluß der Struktur organischer Verbindungen auf das Verhalten bei der Dünnschicht-Chromatographie**

von Dr.-Ing. Hans-Joachim Petrowitz

Nr. 8/November 1971

### **Zum Spannungs-Dehnungs-Verhalten von Baustählen bei Wechselbeanspruchung**

von Dr.-Ing. Helmut Veith

Nr. 9/November 1971

### **Untersuchung über die sichernde Wirkung poröser Massen in Acetylenflaschen**

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Möller

Nr. 10/Januar 1972 (vergriffen)

### **Untersuchungen über die Korngrößenbestimmung mit Ultraschall zur Entwicklung einer für die Praxis geeigneten zerstörungsfreien Meßmethode**

von Dr.-Ing. Dietmar Aurich und Prof. Dr. phil. Erich Martin

Nr. 11/Februar 1972

### **Beitrag zur Kenntnis der Schnittriefenbildung und Schnittgütwerte beim Brennschneiden**

von Dr.-Ing. Hans-Joachim Krause

Nr. 12/Mai 1972

### **Über Veränderungen von Nylon-6-Fasern beim Texturieren**

von Dir. u. Prof. Dr. rer. nat. Hubert Feuerberg

Nr. 13/Juni 1972

### **Festkörpergleitreibung und Verschleiß von Eisen, Kobalt, Kupfer, Silber, Magnesium und Aluminium in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch zwischen 760 und $2 \cdot 10^{-7}$ Torr**

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig (Berichter), Prof. Dr.-Ing. Kurt Kirschke, Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig und Dipl.-Phys. Harald Tischer

Nr. 14/Juli 1972

### **Untersuchungen zur Amplitudenabhängigkeit der Ultraschalldämpfung in Metallen bei 20 kHz**

von Eberhard Fischer

Nr. 15/August 1972

### **Studie und Probleme der chemischen Edelmetall-Analyse**

von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Heinz Pohl

Nr. 16/August 1972

### **Über Ausführung und Aussagefähigkeit des Normbrandversuches nach DIN 4102, Blatt 2, im Hinblick auf die Nachbildung natürlicher Schadensfeuer**

von Dr.-Ing. Erwin Knublauch

Nr. 17/August 1972

### **Aktivierungsanalyse mit schnellen Neutronen, Photonen und geladenen Teilchen**

von Dr.-Ing. Peter Reimers

Nr. 18/Januar 1973

### **Das Sprödbruchverhalten des Baustahles R St 37-2 N in geschweißten Konstruktionen, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 19/Januar 1973

### **Die Bestimmung von Grenzflächentemperaturen bei tribologischen Vorgängen**

Literaturrecherche von Dipl.-Phys. K. Kaffanke und Dr.-Ing. H. Czichos

Nr. 20/April 1973

### **Brandrisiko elektrischer Leitungen und Installationen in Wänden**

von Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 21/Juli 1973

### **Die kontinuumsmechanische Erfassung des zeitlichen Ablaufs der elastisch-plastischen Dehnungen bei der Zerrüttung**

Literaturrecherche von Dipl.-Phys. D. Klaffke und Dr.-Ing. W. Maennig

Nr. 22/Juli 1973

### **Untersuchungen für ein Prüfverfahren zur Bemessung der Brandschutzbekleidung von Stahlstützen**

von Dipl.-Ing. R. Rudolphi und Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 23/November 1973

### **Reichs- und preußische Landesanstalten in Berlin Ihre Entstehung und Entwicklung als außeruniversitäre Forschungsanstalten und Beratungsorgane der politischen Instanzen**

von Prof. Dr. rer. nat. habil. Walter Ruske

Nr. 24/November 1973

### **Das Brandverhalten von Holzstützen unter Druckbeanspruchung**

von Dipl.-Ing. J. Stanke, Ing. grad. E. Klement und Dipl.-Ing. R. Rudolphi

Nr. 25/Dezember 1973

### **Über das Brandgeschehen vor der Fassade eines brennenden Gebäudes unter besonderer Berücksichtigung der Feuerbeanspruchung von Außenstützen**

von Dr.-Ing. E. Knublauch

Nr. 26/August 1974

### **Der Elektronen-Linearbeschleuniger der BAM — Eigenschaften und erste Anwendungen —**

von Dipl.-Ing. P. Jost, Dr.-Ing. P. Reimers und Dr.-Ing. P. Weise

Nr. 27/August 1974

### **Untersuchungen zum Schallfeld von Winkelprüfköpfen für die Materialprüfung mit Ultraschall**

von Dr.-Ing. Hermann Wüstenberg

Nr. 28/August 1974

### **Zum Ablauf von Gasexplosionen in mit Rohrleitungen verbundenen Behältern**

von Prof. Dr. rer. nat. Hans-Jürgen Heinrich

Nr. 29/August 1974

### **Theorie der dissipativen Luftschalldämmung bei einem idealisotropen porösen Material mit starrem Skelett für senkrechten, schrägen und allseitigen Schalleinfall**

von Prof. Dr.-Ing. P. Schneider

Nr. 30/September 1974 (vergriffen)

### **The Application of Systems Thinking and Systems Analysis to Tribology**

von Dr. Horst Czichos und Dr. Geert Salomon

Nr. 31/August 1975

### **Untersuchungen zur Klärung des Verhaltens thermoplastischer Kunststoffe bei Wechseldehnungsbeanspruchung**

von Dr.-Ing. Gerhard Fuhrmann

Nr. 32/September 1975

### **Ein thermo-elektrisches Netzwerkverfahren zur Berechnung stationärer Temperatur- und Wärmestromverteilungen mit Anwendungsbeispielen**

von Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Bernhard Böttcher

Nr. 33/November 1975

### **Die Bestimmung der Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen mit Hilfe eines nichtstationären Meßverfahrens**

von Dipl.-Ing. Armin Wagner, Dipl.-Phys. Gerhard Kieper und Dipl.-Ing. Reinald Rudolphi

Nr. 34/Januar 1976 (vergriffen)

### **Untersuchungen zur Vergütung von Holzwerkstoffen**

von Dipl.-Forsting. Dr. rer. sylv. Hans-Joachim Deppe

Nr. 35/Januar 1976

### **Der Widerstand von Platten, die als Beplankungsmaterial leichter Wände verwendet werden, gegenüber dem Aufprall harter Körper — Vorschlag für ein Prüfverfahren —**

von Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 36/Januar 1976 (vergriffen)

### **Wärme- und Feuchtigkeitsleitung in Beton unter Einwirkung eines Temperaturgefälles**

von Dipl.-Ing. Jürgen Hundt

Nr. 37/Februar 1976

### **Die stoßartige Beanspruchung leichter, nichttragender Bauteile durch einen mit der Schulter gegenprallenden Menschen — Vorschlag für ein Prüfverfahren —**

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 38/Juni 1976

### **Verschleißuntersuchungen an gas-, bad- und ionisiertem Stahl 42 CrMo 4**

von Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 39/Juni 1976

### **Untersuchung der viskoelastischen Eigenschaften von Flüssigkeiten (mit nicht-Newton'schem Fließverhalten) insbesondere bei höherer Scherbeanspruchung**

von Prof. Dr.-Ing. K. Kirschke und Dipl.-Phys. G. Kempf

- Nr. 40/Juni 1976  
**Zum Untergrundabzug bei energiedispersiven Spektren nach verschiedenen Verfahren**  
von Dr. rer. nat. H. Hantscher
- Nr. 41/Okttober 1976  
**Optische Eigenschaften cholesterinischer Flüssigkeiten**  
von Dr. rer. nat. Bernhard Böttcher
- Nr. 42/Okttober 1976  
**Ermittlung der Mindestzündenergie brennbarer Gase in Mischung mit Luft**  
von Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 43/Okttober 1976  
**Das Spröbruchverhalten geschweißter Bauteile aus Stahl mit zäh-sprödem Übergang im Bruchverhalten, dargestellt mit Hilfe der Methode des Temperaturvergleiches**  
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 44/November 1976  
**Berechnung von räumlichen, linear elastischen Systemen, die aus finiten Stab- und Balkenelementen zusammengesetzt sind, unter Verwendung des Programms „Stab-Werk“**  
von Dipl.-Ing. W. Matthees
- Nr. 45/Dezember 1976  
**Untersuchung des Elektrodenverhaltens im Vakuum aufgedampfter Metallschichten**  
von Dr.-Ing. W. Paatsch
- Nr. 46/Mai 1977 (vergriffen)  
**Versuchsergebnisse zur Festigkeit und Verformung von Beton bei mehraxialer Druckbeanspruchung**  
**Results of Test Concerning Strength and Strain of Concrete Subjected to Multiaxial Compressive Stresses**  
von Dipl.-Ing. Gerald Schickert und Dipl.-Ing. Helmut Winkler
- Nr. 47/Juni 1977  
**Bautechnische Einflüsse auf die Tragfähigkeit von Kunststoffdübeln für Fassadenbekleidungen**  
von Dr.-Ing. Arno Plank
- Nr. 48/Okttober 1977  
**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last, angewendet auf die Fundamente einer geplanten Schnellbahn**  
von Dr.-Ing. U. Holzöhner
- Nr. 49/Dezember 1977  
**Untersuchungen zur Anwendung von Mikrowellen in der zerstörungsfreien Prüfung**  
von Dr.-Ing. Günther Wittig
- Nr. 50/Juni 1978 (vergriffen)  
**Zur Meßtechnik für die Sicherheitsbeurteilung und -überwachung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern**  
von Prof. Dipl.-Phys. Norbert Czaika, Dipl.-Phys. Norbert Mayer, Dipl.-Ing. Claus Amberg, Dipl.-Ing. Götz Magiera, Dr.-Ing. Götz Andreae und Dipl.-Ing. Winfried Markowski
- Nr. 51/Juni 1978  
**Auswirkung von chemischen und physikalisch-technologischen Einflußfaktoren auf das Beständigkeitsverhalten von Oberflächenbeschichtungen auf der Basis von Reaktionsbeschichtungsstoffen**  
von Dr. rer. nat. J. Sickfeld
- Nr. 52/August 1978  
**Zum Einfluß der Gleitgeschwindigkeit auf das tribologische Verhalten von Werkstoffen hoher Härte bei reiner Festkörperreibung**  
von Dr.-Ing. Aleksandar Tomov
- Nr. 53/Okttober 1978  
**Bemessung und Optimierung beheizbarer Straßen- und Brückenbeläge**  
von Rolf Günter Rohrmann und Reinald Rudolphi
- Nr. 54/Okttober 1978  
**Magnetisches Verhalten dünner Eisenschichten bei mechanischer Wechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Harro Sander
- Nr. 55/November 1978  
**Beobachtung und Orientierungsbestimmung der Oberflächenkristallite polykristalliner 99,999 %-Al-Proben bei Biegewechselbeanspruchung**  
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke
- Nr. 56/Januar 1979  
**Stabilität von Sandwichbauteilen**  
von Dipl.-Ing. W. Brünner und Prof. Dr.-Ing. C. Langlie
- Nr. 57/März 1979  
**Untersuchungen an Prüfmitteln für die Magnetpulverprüfung**  
**Investigations on Inspection-Media for Magnetic-Particle-Testing**  
von Dipl.-Ing. Meinhard Stadthaus
- Nr. 58/März 1979  
**Ermittlung des Bauteilwiderstandes aus Versuchsergebnissen bei vereinbartem Sicherheitsniveau**  
von Dr.-Ing. Werner Struck
- Nr. 59/Juli 1979  
**Ermittlung der Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken mit der Methode der Finiten Elemente unter besonderer Berücksichtigung des Verbundes zwischen Beton und Stahl**  
von Dr.-Ing. Günther Plauk
- Nr. 60/August 1979  
**Untersuchungen zur Erfassung der Kaltformbarkeit von Feinblechen beim Strecken**  
von Dr.-Ing. H. Spreckelmeyer, Dr.-Ing. R. Helms und Dr.-Ing. J. Ziebs
- Nr. 61/Dezember 1979  
**Beschreibung von Problemen der höheren Farbmeterik mit Hilfe des Gegenfarbensystems**  
von Dr. Klaus Richter
- Nr. 62/Dezember 1979  
**Geomagnetobiologisch bedingter Zusammenhang zwischen der Fraßaktivität von Termiten und der Zahl der Sterbefälle**  
von Dir. u. Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Gerisch und Prof. Dr. habil. Dr. h. c. Günther Becker
- Nr. 63/Dezember 1979  
**Untersuchungen an Stopfbuchsen von Ventilen und Schiebern für Gase**  
von Dipl.-Ing. E. Behrend und Dipl.-Ing. J. Ludwig
- Nr. 64/Februar 1980  
**Ermittlung der Schwingungserregung beim Betrieb schienengebundener Fahrzeuge in Tunneln sowie Untersuchung des Einflusses einzelner Parameter auf die Ausbreitung von Erschütterungen im Tunnel und dessen Umgebung**  
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 65/Februar 1980  
**Untersuchungen über den Einfluß des Spannungszustandes auf bruchmechanische Kennwerte**  
von Dr.-Ing. Peter Schmidt, Dr.-Ing. Dietmar Aurich, Dr.-Ing. Rolf Helms, Dr.-Ing. Helmut Veith und Dr.-Ing. Josef Ziebs
- Nr. 66/Mai 1980  
**Auswirkung von Druckentlastungsvorgängen auf die Umgebung**  
von Dr. rer. nat. Martin Hattwig
- Nr. 67/Mai 1980  
**Beitrag zur dynamischen Analyse von vorgespannten und vorbelasteten Feder-Masse-Systemen mit veränderlicher Gliederung unter stoßartiger Beanspruchung**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees
- Nr. 68/Mai 1980  
**Oberflächenmeßverfahren unter besonderer Berücksichtigung der Stereomeßtechnik.**  
**Entwicklung eines volleuzentrischen Präzisions-Goniometers**  
von Dr. rer. nat. Dieter Petersohn
- Nr. 69/Juni 1980  
**Untersuchungen zur Integrität des Liners von Reaktorsicherheitschillen (Containments) in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise**  
von Dr.-Ing. Frank Buchhardt und Dipl.-Ing. Peter Brandl
- Nr. 70/August 1980 (vergriffen)  
**Schwellenwerte beim Betondruckversuch**  
von Dr.-Ing. Gerald Schickert
- Nr. 71/August 1980  
**Untersuchungen über durch den Boden gekoppelte dynamische Wechselwirkungen benachbarter Kernkraftwerksbauten großer Masse unter seismischen Einwirkungen**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Matthees und Dipl.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 72/September 1980  
**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen am Beispiel von Stahl- und Holzstützen**  
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 73/November 1980  
**Vergleichende Untersuchungen zum Tragverhalten von Klemmkupplungen für Stahlrohrgerüste nach bestehenden deutschen Prüfvorschriften und geplanten europäischen bzw. internationalen Prüfnormen**  
von Dipl.-Ing. Peter Wegener
- Nr. 74/November 1980  
**ALGOL-Computerprogramm zur Berechnung zweidimensionaler instationärer Temperaturverteilungen mit Anwendungen aus dem Brand- und Wärmeschutz**  
von Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dipl.-Inform. Renate Müller
- Nr. 75/November 1980  
**Beitrag zur Kenntnis des zeitlichen und örtlichen Druckverlaufs bei der plötzlichen Entlastung unter Druck stehender Behälter und Behälterkombinationen**  
von Dir. u. Prof. Dr. Hans-Jürgen Heinrich
- Nr. 76/November 1980  
**Deformationsverhalten von Rein- und Reinstaluminium sowie Cu 99,9 und St 37 bei Biegewechselbeanspruchung im Rasterelektronenmikroskop**  
von Dr.-Ing. Dieter Klaffke und Prof. Dr.-Ing. Wolfgang-Werner Maennig
- Nr. 77/April 1981  
**Untersuchung des Verhaltens von Lagerzementen**  
von Dipl.-Ing. Michael Gierloff und Dr.-Ing. Matthias Maultzsch
- Nr. 78/September 1981  
**Dynamische Wechselwirkung eines Schienen-Schwellensystems mit dem Untergrund**  
von Dr.-Ing. Werner Rücker
- Nr. 79/Dezember 1981  
**Ein Beitrag zur Untersuchung der wasserstoffbeeinflussten Kalttriäneigung höherfester niedriglegierter Feinkornbaustähle mit dem Implantversuch**  
von Dr.-Ing. Volker Neumann

- Nr. 80/Dezember 1981  
**Ursachen des Teileinsturzes der Kongreßhalle in Berlin-Tiergarten**  
von Dr.-Ing. Arno Plank, Dr.-Ing. Werner Struck und Dr.-Ing. Manfred Tzschätzsch
- Nr. 81/Dezember 1981  
**Graphisch-rechnerisches Verfahren zum Erfassen der Zündhäufigkeit zündbarer Stoffe; Anwendung auf Datenmaterial aus dem Bereich der Statistik**  
von Dipl.-Ing. Jürgen Schmidt
- Nr. 82/April 1982  
**Zur werkstoffmechanischen Beurteilung des Kerbschlagbiegeversuches**  
**Assessment of the mechanical behaviour of materials in the notched bar impact test**  
von Rolf Helms, Hans-Joachim Kühn und Siegmund Ledworuski
- Nr. 83/Juli 1982  
**Tribologisches Verhalten von thermoplastischen Kunststoffen — Kontaktdeformation, Reibung und Verschleiß, Oberflächenuntersuchungen —**  
von Prof. Dr.-Ing. Horst Czichos und Dr.-Ing. Paul Feinle
- Nr. 84/Juli 1982  
**Übertragbarkeit der Ergebnisse von Brandprüfungen im Kleinprüfstand (Vergleichsversuche)**  
von Dipl.-Inform. Renate Müller und Dr.-Ing. Reinald Rudolphi
- Nr. 85/ISBN 3-88314-231-X/Oktober 1982  
**Technische Materialforschung und -prüfung — Entwicklungstendenzen und Rahmenvorschläge für ein EG-Programm „Basic Technological Research“ — Materials Research and Testing — Development Trends and Outline Proposals for a Community Programme “Basic Technological Research” —**  
von Prof. Dr. Horst Czichos
- Nr. 86/ISBN 3-88314-232-8/November 1982  
**Zur quantitativen Kennzeichnung des Verwitterungsverhaltens von Naturwerksteinen anhand ihrer Gefügemerkmale**  
von Dr.-Ing. Konrad Niesel und Dr. rer. nat. Peter Schimmelwitz
- Nr. 87/ISBN 3-88314-240-9/Dezember 1982  
**Einfluß baupraktischer Umgebungsbedingungen auf das Korrosionsverhalten von Spannstählen vor dem Injizieren**  
von Dr.-Ing. Bernd Isecke und Dr.-Ing. Wolfgang Stichel
- Nr. 88/ISBN 3-88314-254-9/Februar 1983  
**Untersuchungen zur Ausbreitung von Longitudinalwellen an Oberflächen bei der Materialprüfung mit Ultraschall**  
von Dr.-Ing. Anton Erhard
- Nr. 89/ISBN 3-88314-263-8/April 1983  
**Untersuchungen zur Zerfallsfähigkeit von Distickstoffoxid**  
von Dr. rer. nat. Dietrich Conrad und Dr.-Ing. Siegmund Dietlen
- Nr. 90/ISBN 3-88314-264-6/April 1983  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Konzeption für geregelte Versuche**  
**Versuchseinrichtung**  
**Vorversuche an Stahlbetonbalken**  
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 91/ISBN 3-88314-265-4/April 1983  
**Dreidimensionale Analyse von unbewehrtem Beton mit nichtlinear-elastischem Materialgesetz**  
von Dr.-Ing. Michael Weber
- Nr. 92/ISBN 3-88314-266-2/August 1983  
**Ausbreitung von Erschütterungen durch den Boden**  
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 93/ISBN 3-88314-283-2/August 1983  
**Unterdrückung stick-slip-induzierter Kurvengeräusche schienengebundener Fahrzeuge durch eine physikalisch-chemische Oberflächenbehandlung der Schienen**  
von Dr. rer. nat. Peter Studt
- Nr. 94/ISBN 3-88314-284-0/August 1983  
**Untersuchungen der Störerschwingungen beim Kerbschlagbiegeversuch und deren Abschwächungen**  
von Dr.-Ing. Xian-Quan Dong
- Nr. 95/ISBN 3-88314-289-1/August 1983  
**Über die Fokussierung des Schallfeldes von Ultraschall-Prüfköpfen mit Fresnelschen Zonenplatten**  
von Dr.-Ing. Manfred Römer
- Nr. 96/ISBN 3-88314-296-4/Oktober 1983  
**Verbundverhalten zwischen Beton und geripptem Betonstahl sowie sein Einfluß auf inelastische Verformungen biegebeanspruchter Stahlbetonbalken**  
von Dr.-Ing. Heinz Eifler
- Nr. 97/ISBN 3-88314-297-2/November 1983  
**Typische Bruchflächenausbildung thermoplastischer Kunststoffe nach wechselnder mechanischer Beanspruchung**  
von Dipl.-Ing. Gerhard Fuhrmann und Prof. Dr. rer. nat. Wolfram Schwarz
- Nr. 98/ISBN 3-88314-312-X/Dezember 1983  
**Bestimmung des elastischen Verhaltens von Maschenwaren — Stretch- und Erholungsvermögen —**  
von Dr. rer. nat. Edmund Schnabel
- Nr. 99/ISBN 3-88314-317-0/Dezember 1983  
**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**  
**Versuche an Stahlbetonbalken mit Biegebewehrung aus Betonstahl BSt 420/500 RK und BSt 1080/1320**  
von Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter
- Nr. 100/ISBN 3-88314-298-0/Januar 1984  
**Untersuchungen zur Prüfung von Beton auf Frostwiderstand**  
von Günter Klamrowski und Paul Neustupny
- Nr. 101/ISBN 3-88314-327-8/Februar 1984  
**Röntgen- und Gammastrahlen Computer-Tomographie**  
von Dr.-Ing. Peter Reimers, Dr. rer. nat. Jürgen Goebels, Dr.-Ing. Heinrich Heidt, Dr.-Ing. Hans-Peter Weise und Dipl.-Phys. Kay Wilding
- Nr. 102/ISBN 3-88314-335-9/März 1984  
**Weiterentwicklung des hydraulischen Kompensationsverfahrens zur Druckspannungsmessung in Beton**  
von Dr.-Ing. Götz Magiera
- Nr. 103/ISBN 3-88314-328-6/März 1984  
**Radiographie mit Elektronen aus Metallverstärkerfolien**  
von Dr.-Ing. Dierk Schnitger
- Nr. 104/ISBN 3-88314-339-1/April 1984  
**Beeinflussung von Betoneigenschaften durch Zusatz von Kunststoffdispersionen**  
von Dr.-Ing. Michael Gierloff
- Nr. 105/ISBN 3-88314-345-6/Juni 1984  
**Beitrag zum Bremsverhalten energieumwandelnder Aufsetzpuffer in Aufzugsanlagen**  
von Dr.-Ing. Bernd Schulz-Forberg
- Nr. 106/ISBN 3-88314-360-X/Oktober 1984  
**Setzung von Fundamenten infolge dynamischer Last**  
von Dr.-Ing. Jan Lehnert
- Nr. 107/ISBN 3-88314-361-8/Oktober 1984  
**Korrosion von Stahlradiatoren**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel und Jörg Ehreke
- Nr. 108/ISBN 3-88314-363-4/Oktober 1984  
**Durch Bodenerschütterungen angeregte Gebäudeschwingungen — Ergebnisse von Modellrechnungen**  
von Dipl.-Ing. Lutz Auersch
- Nr. 109/ISBN 3-88314-381-2/Februar 1985  
**Zur Wirkung der Schrumpfbegrenzung auf den Schweißspannungszustand und das Spröbruchverhalten von unterpulvergeschweißten Blechen aus St E 460 N**  
von Dr.-Ing. Mohamed Omar
- Nr. 110/ISBN 3-88314-382-0/Februar 1985  
**Wasserstoff als Energieträger**  
von Dr. Hermann Walde (Mitglied des Kuratoriums der BAM i. R.) und Dr. Bernhard Kropp
- Nr. 111/ISBN 3-88314-383-9/Februar 1985  
**Über den Einfluß der Initiierung auf die detonative Umsetzung von Analex-Sprengstoffen unter Berücksichtigung sicherheitstechnischer Gesichtspunkte**  
von Dr.-Ing. Kurt Ziegler
- Nr. 112/ISBN 3-88314-409-6/Juli 1985  
**Zeitstandverhalten und strukturelle Veränderungen von vielfach wiederverarbeiteten Polyethylenen**  
von Dr.-Ing. Wolfgang Lützw
- Nr. 113/ISBN 3-88314-410-X/Juli 1985  
**Untersuchungen zum Frequenzeinfluß auf die Schwingungsrißkorrosion von Offshore-Konstruktionen**  
von Rolf Helms, Horst Henke, Gerhard Oelrich (BAM, Berlin) und Tetsuya Saito (NRIM, Japan)
- Nr. 114/ISBN 3-88314-419-3/Juli 1985  
**Neue Verfahren für die Prüfung von Reaktorkomponenten mittels Röntgen- und Gammastrahlen**  
von Dipl.-Ing. Peter Rose, Dipl.-Ing. Peter Raabe, Dipl.-Ing. Werner Daum und Andreas Szameit
- Nr. 115/ISBN 3-88314-420-7/Juli 1985  
**Farbempfindungsmerkmal Elementaruntun und Buntheitsabstände als Funktion von Farbart und Leuchtdichte von In- und Umfeld**  
von Privatdozent Dr. Klaus Richter
- Nr. 116/ISBN 3-88314-460-6/Oktober 1985  
**Theoretische Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Fensterkonstruktionen unter besonderer Berücksichtigung der Rahmenproblematik**  
von Dr. rer. nat. Franz-Josef Kasper, Dipl.-Inform. Renate Müller, Dr.-Ing. Reinald Rudolphi und Dr.-Ing. Armin Wagner
- Nr. 117/ISBN 3-88314-468-1/Oktober 1985  
**Materials Technologies and Techno-Economic Development**  
**A study for the German Foundation for International Development (Deutsche Stiftung für Internationale Entwicklung)**  
by Prof. Dr. H. Czichos in cooperation with Dr. G. Sievers, Bundesministerium für Forschung und Technologie (BMFT), Bonn

Nr. 118/ISBN 3-88314-469-X/Oktober 1985

**Brand- und Explosionsgefahren explosionsgefährlicher Stoffe bei Herstellung und Lagerung**

**Modellversuche mit pyrotechnischen Sätzen und Gegenständen**

von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Dipl.-Ing. Hilmar Andre, Dr. rer. nat. Eduard Blossfeld, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Ing. grad. Matthias-Michael Zindler

Nr. 119/ISBN 3-88314-472-X/November 1985

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**

**Versuche an Stahlbetonplatten, Teil I**

**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**

**Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part I**

von Dipl.-Ing. Jürgen Herter, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Ernst Limberger

Nr. 120/ISBN 3-88314-514-9/April 1986

**Zerstörungsfreie Korngrößenbestimmung an austenitischen Feinblechen mit Hilfe der Ultraschallrückstreuung**

von Dr.-Ing. Andreas Hecht

Nr. 121/ISBN 3-88 314-530-0/Juni 1986

**Versagenskriterien von Stahlleitpaarungen unter Mischreibungsbedingungen: Einflüsse von Stahlzusammensetzung und Wärmebehandlung**

von Dr.-Ing. Paul Feinle und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 122/ISBN 3-88 314-521-1/Juli 1986

**Entsorgung kerntechnischer Anlagen**

von J. Mischke

Sonderkolloquium der Bundesanstalt für Materialprüfung (BAM) am 10. 12. 1985 mit Beiträgen von B. Schulz-Forberg, K. E. Wieser und B. Droste

Nr. 123/ISBN 3-88 314-531-9/Juli 1986

**Physikalisch-chemische Analyse sowie toxische Beurteilung der beim thermischen Zerfall organisch-chemischer Baustoffe entstehenden Brandgase**

von Dr. rer. nat. Detlef Rennoch

Nr. 124/ISBN 3-88 314-538-6/Juli 1986

**Zur Anwendung des Impuls-Wirbelstromverfahrens in der zerstörungsfreien Materialprüfung**

von Dr.-Ing. Hans-Martin Thomas

Nr. 125/ISBN 3-88 314-540-8/Juli 1986

**Untersuchungen zur Wirksamkeit der Brandschutzisolierung von Flüssig-gas-Lagertanks**

von Dr.-Ing. Bernhard Droste und Dipl.-Ing. Ulrich Probst

Nr. 126/ISBN 3-88 314-547-5/August 1986

**Korrosion und Korrosionsschutz von Metallen in Schwimmhallen**

von Dr.-Ing. Wolfgang Stichel

Nr. 127/ISBN 3-88 314-564-5/November 1986

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**

**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**

**Versuche an Stahlbetonbalken, Teil I**

**Tests on Reinforced Concrete Beams, Part I**

von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 128/ISBN 3-88 314-568-8/November 1986

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**

**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**

**Versuche an Stahlbetonbalken, Teil II**

**Tests on Reinforced Concrete Beams, Part II**

von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 129/ISBN 3-88 314-569-6/November 1986

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**

**Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load**

**Zugversuche an Betonstahl mit erhöhter Dehngeschwindigkeit**

**Reinforcing Steel Tension Tests with high strain rates**

von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dipl.-Ing. Jürgen Herter und Dipl.-Ing. Klaus Berner

Nr. 130/ISBN 3-88 314-570-X /November 1986

**Einfache Abschätzung der Durchbiegung und der Energieaufnahme von Trägern aus duktilem Material bei Belastung durch eine Einzelkraft**

von Dr.-Ing. Werner Struck

Nr. 131/ISBN 3-88-314-585-8/November 1986

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**

**Kinetic Load Bearing Capacity of Reinforced Concrete Members under Impact Load**

**Versuche an Stahlbetonplatten, Teil II**

**Tests on Reinforced Concrete Slabs, Part II**

von / by Dipl.-Ing. Ernst Limberger, Dr.-Ing. Klaus Brandes und Dipl.-Ing. Jürgen Herter

Nr. 132/ISBN 3-88-314-595-5/Januar 1987

**Ermittlung der Ursachen von Schäden an bituminösen Dachabdichtungen**

**unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Beanspruchungen**

von Dipl.-Ing. Christian Herold und Dipl.-Ing. Frank-Ulrich Vogdt

Nr. 133/ISBN 3-88 314-609-9/Januar 1987

**Technisch-physikalische Grundlagen zum tribologischen Verhalten keramischer Werkstoffe**

von Dipl.-Ing. Mathias Woydt und Prof. Dr.-Ing. Karl-Heinz Habig

Nr. 134/ISBN 3-88 314-615-3/Februar 1987

**Über den Kernstrahlungseinfluß auf Dehnungsmeßstreifen**

von Dr. Götz Andreae und Gottfried Niessen

Nr. 135/ISBN 3-88 314-618-8/Februar 1987

**Untersuchungen über das Verhalten von Tankcontainern für unter Druck verflüssigte Gase bei Fallbeanspruchungen**

von Dipl.-Ing. Jörg Ludwig, Dipl.-Ing. Wolf-Dietrich Mischke und Dipl.-Ing. Armin Ulrich

Nr. 136/ISBN 3-88314-636-6/April 1987

**Untersuchung zur Beurteilung von Brettschichtverleimungen für den Holzbau**

von Prof. Dr. rer. silv. Hans-Joachim Deppe und Klaus Schmidt

Nr. 137/ISBN 3-88314-637-4/Mai 1987

**Analyse und Weiterentwicklung bruchmechanischer Versagenskonzepte auf der Grundlage von Forschungsergebnissen auf dem Gebiet der Komponentensicherheit**

Projektleiter: Dr. Dietmar Aurich

Nr. 138/ISBN 3-88314-635-8/Mai 1987

**Zur geowissenschaftlichen Einordnung des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland und einer sicheren Auslegung technischer Systeme gegen den Lastfall Erdbeben.**

von Dipl.-Geol. Michael Dogunke und Dr.-Ing. Frank Buchhardt

Nr. 139/ISBN 3-88314-658-7/Juni 1987

**Numerische Untersuchung zum Verhalten des Hochtemperaturwerkstoffes Nimonic PE 16 unter monotoner und zyklischer Belastung bei Verwendung verschiedener plastischer und viskoplastischer Materialmodelle.**

von Dipl.-Ing. Jürgen Olschewski und Sven-Peter Scholz

Nr. 140/ISBN 3-88314-643-9/Juni 1987

**Kinetische Grenztragfähigkeit von stoßartig belasteten Stahlbetonbauteilen**

**Kinetic Load Bearing Capacity of Impulsively Loaded Reinforced Concrete Members**

von / by Dr.-Ing. Klaus Brandes, Dipl.-Ing. Ernst Limberger und Dipl.-Ing. Jürgen Herter

Nr. 141/ISBN 3-88314-694-3/Okttober 1987

**Zum Einfluß des Sicherheits- und Auslegungserdbebens auf die Bemessung von Kernkraftwerken**

von Dr.-Ing. Frank Buchhardt, Dr.-Ing. Wolfgang Matthees, Dr.-Ing. Götz Magiera und Dr.-Ing. Friedrich Mathiak

Nr. 142/ISBN 3-88314-695-1/Okttober 1987

**Sicherheitstechnische Kenndaten und Gefahrzahlen binärer Mischungen aus oxidierenden und verbrennlichen Substanzen**

von Dr. rer. nat. Hartwig Treumann, Ing. Günter Krüger, Dr. rer. nat. Norbert Pfeil und Dr. rer. nat. Sigrid von Zahn-Ullmann