

ISSA Prevention Series No. 2018 (G)



Internationale Sektion  
Maschinensicherheit der IVSS

# ***Bestimmen der Brenn- und Explosionskenn- größen von Stäuben***





## Die INTERNATIONALE VEREINIGUNG FÜR SOZIALE SICHERHEIT (IVSS)

hat über 300 Mitglieder (Regierungsbehörden und Anstalten) in mehr als 120 Staaten, von denen sich die Hälfte mit der Arbeitssicherheit befassen. Sitz der IVSS ist Genf, beim Internationalen Arbeitsamt. Ihr Hauptziel ist die Förderung und der Ausbau der SOZIALEN SICHERHEIT in allen Teilen der Welt.

Zur Verbesserung der Arbeitssicherheit und des Gesundheitsschutzes in den Betrieben wurde 1975 die



## INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS FÜR MASCHINENSICHERHEIT

gegründet. Sie behandelt Fragen zur Sicherheit von Maschinen, Anlagen und Systemen. Vorsitz und Sekretariat: Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten, D-68165 Mannheim.

Zur Intensivierung der Arbeitssicherheit in den Betrieben ist seit 1970 für den Bereich der chemischen Industrie einschließlich der Kunststoff-, Sprengstoff-, Mineralöl- und Gummiindustrie die



## INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS FÜR DIE VERHÜTUNG VON ARBEITSUNFÄLLEN UND BERUFSSKRANKHEITEN IN DER CHEMISCHEN INDUSTRIE

gebildet worden. Vorsitz und Sekretariat liegen bei der Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, D-69115 HEIDELBERG

# **Bestimmen der Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben**

**Herausgeber**

Internationale Sektion der IVSS für Maschinensicherheit  
Dynamostr. 7-11  
D-68165 Mannheim



## Vorwort

Die Sektion „Maschinensicherheit“ im „Ständigen Fachausschuß zur Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten der Internationalen Vereinigung für Soziale Sicherheit (IVSS)“ befaßt sich in mehreren Arbeitskreisen mit der Frage der Sicherheit von Maschinen, Anlagen und Systemen. Ihre Mitglieder sind internationale Experten, die sowohl aus Universitäten und Forschungseinrichtungen als auch aus Betrieben und den Präventionsbereichen von Unfallversicherungsträgern kommen. Damit ist sichergestellt, daß praxisorientierte Lösungsvorschläge auch zu komplexen, sicherheitsrelevanten Fragestellungen erarbeitet werden.

Eine spezifische Aufgabe, die der Arbeitskreis „Staubexplosionen“ der Sektion übernimmt, ist der Explosionsschutz. Die vorliegende Broschüre - die in enger Zusammenarbeit mit der Sektion „Chemie“ der IVSS erarbeitet wurde - beschreibt Verfahren zum Bestimmen der Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben. Brenn- und Explosionskenngrößen bilden eine wichtige Grundlage für das Erarbeiten von Schutzkonzepten in der Praxis.

Die Sektion „Maschinensicherheit“ leistet so einen Beitrag zur Erhaltung und Weiterentwicklung eines hohen und - über die aktive Mitarbeit von Mitgliedern ihrer Arbeitskreise in Ausschüssen der EG - unter Industrieländern vergleichbaren Standes der Technik. Aus ihrem Verständnis der umfassenden, weltweiten Bedeutung einer wirksamen Prävention bietet die Sektion auch den sich in Entwicklung befindlichen Ländern Unterstützung und Beratung an.

Sektion „Maschinensicherheit“



.....  
Vorsitzender des Vorstands  
(Dr. G. Schork)



.....  
Generalsekretär  
(Dr. H.-J. Bischoff)

## Vorsitz

Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN),  
Prof. Dr. S. Radandt

## Unter Mitwirkung von

Allgemeine Unfallversicherungsanstalt (AUVA), Wien (A)  
Berufsgenossenschaft der chemischen Industrie, Heidelberg (D)  
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und Gaststätten (BGN), Mannheim (D)  
Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitssicherheit (BIA), Sankt Augustin (D)  
Ciba-Geigy AG, Basel/Toms River (CH/USA)  
Christian Michelsen Research AS, Fantoft (N)  
DMT-Fachstelle für Brand- und Explosionsschutz, Dortmund (D)  
Health and Safety Executive, Explosion and Flame Laboratory, Buxton (GB)  
Heineken Technical Services, Zoeterwoude (NL)  
Inburex GmbH, Hamm (D)  
Pellmont Explosionsschutz, Binningen (CH)  
Schweizerische Unfallversicherungsanstalt (SUVA), Luzern (CH)  
Stuvex N. V., Kontich (B)

## Mitarbeiter und Autoren

Dr.-Ing. F. Alfert, Hamm (D)  
Dr. W. Bartknecht, Weil/Rhein (D)  
Dipl.-Ing. **H. Beck**, Sankt Augustin (D)  
Dipl.-Ing. K. Isselhard, Heidelberg (D)  
Dipl.-Ing. N. Jaeger, Toms River (USA)  
Ing. H. B. Janssens, Kontich (B)  
Dr. G. A. Lunn, Buxton (GB)  
Dr. **R. J. Ott**, Luzern (CH)  
Dr. **G. Pellmont**, Binningen (CH)

Dr. H. Rainbauer, Wien (A)  
Dr. **E. W. Scholl**, Dortmund (D)  
Dipl.-Ing. **R. Siwek**, Basel (CH)  
Ir. **G. van Laar**, Kontich (B)  
Ir. **K. van Wingerden**, Fantoft (N)  
Ing. H. Voorschuur, Zoeterwoude (NL)  
Dipl.-Phys. **W. Wiemann**, Dortmund (D)  
Dipl.-Ing. **C. Zockoll**, Dortmund (D)

## Gestaltung und Grafik

Dr. R. J. Ott, Luzern (CH)  
Dipl.-Designer **D. Settele** (Computergrafik), Mannheim (D)

Diese Broschüre ist Teil einer umfassenderen Darstellung des Staubexplosionsschutzes an Maschinen und Apparaten, die von der IVSS Sektion Maschinensicherheit herausgegeben wird. Die Basis dieser Publikationsreihe bildet die IVSS-Broschüre „Grundlagen für das Verhüten von Staubexplosionen an Maschinen und Apparaten“ [1], in der die wesentlichen Zusammenhänge, einschließlich Definitionen enthalten sind.

Das Abschätzen der Brand- und Explosionsgefahren beim Umgang mit brennbaren Stäuben sowie das Planen und Dimensionieren von Schutzmaßnahmen erfordern Kenntnisse über die Brenn- und Explosionskenngrossen von Stäuben [2], [3]. Für die richtige Anwendung von Kenngrößen ist es wichtig zu wissen, wie sie bestimmt werden. In dieser Schrift werden daher die gängigen Prüfapparaturen und Prüfmethode kurz beschrieben. Keinesfalls ist dies im Sinne einer Gebrauchsanweisung oder Prüfvorschrift zu verstehen. Weitere Einzelheiten sind gegebenenfalls der Literatur zu entnehmen.

Sofern nicht anders vermerkt, werden die Prüfungen jeweils unter atmosphärischen Bedingungen durchgeführt.



	Seite
1. Probenvorbereitung .....	8
2. Sicherheitstechnische Kenngrößen von abgelagertem Staub .....	8
2.1 Entzündbarkeit .....	8
2.2 Brennverhalten .....	9
2.3 Mindestzündtemperatur einer Staubschicht (Glimmtemperatur) .....	11
2.4 Selbstentzündung .....	12
2.4.1 Schnelltest nach Grewer („screening test“) .....	12
2.4.2 Warmlagerversuche .....	12
2.5 Exotherme Zersetzung .....	14
2.5.1 Differenzthermoanalyse .....	14
2.5.2 Prüfung auf Lagerfähigkeit unter adiabatischen Bedingungen (Wärmestauversuche) .....	15
2.5.3 Prüfung auf spontane Zersetzung („Deflagration“) .....	16
2.6 Schlagempfindlichkeit .....	18
3. Sicherheitstechnische Kenngrößen von aufgewirbeltem Staub .....	20
3.1 Explosionsfähigkeit .....	20
3.1.1 Modifizierte Hartmann-Apparatur (offenes Glasrohr) .....	20
3.1.2 Prüfung im geschlossenen Behälter .....	22
3.2 Maximaler Explosionsüberdruck, maximaler zeitlicher Druckanstieg, $K_{\max}$ ( $K_{St}$ -Wert) .....	23
3.3 Explosionsgrenzen .....	25
3.4 Sauerstoffgrenzkonzentration .....	26
3.5 Mindestzündenergie .....	26
3.6 Mindestzündtemperatur einer Staubwolke .....	28
4. Literatur .....	31
5. Schriftenreihe der IVSS (Explosionsschutz) .....	32

## 1. Probenvorbereitung

Brenn- und Explosionskenngrößen von Stäuben hängen von der Beschaffenheit der jeweiligen Staubprobe ab. Einige wichtige, das Brenn- und Explosionsverhalten beeinflussende Parameter sind Korngröße, Kornform, Wassergehalt, Reinheit und gegebenenfalls der Gehalt an brennbaren Lösemitteln. Für die Prüfungen sind daher repräsentative Muster unerlässlich. Sicherheitstechnische Unterlagen sollten so viele brenn- und explosionstechnische Kenngrößen wie möglich enthalten; darüber hinaus sollten zumindest die Korngrößenverteilung und der Medianwert des Prüfmusters bekannt sein. Wird die Staubprobe vor der Prüfung z.B. durch Sieben, Trocknen oder Zerkleinern vorbereitet, so ist dies im Zusammenhang mit den Prüfergebnissen mitzuteilen.

## 2. Sicherheitstechnische Kenngrößen von abgelagertem Staub

Verfahren zum Bestimmen folgender Kenngrößen werden behandelt:

- **Entzündbarkeit**
- **Brennverhalten**
- **Mindestzündtemperatur einer Staubschicht (Glimmtemperatur)**
- **Selbstentzündung**
- **Exotherme Zersetzung**
- **Spontane Zersetzung („Deflagration“)**
- **Schlagempfindlichkeit**

### 2.1 Entzündbarkeit

Die Entzündbarkeit eines abgelagerten Staubes gibt an, wie leicht sich der Staub durch eine oder verschiedene Zündquellen entzünden lässt. Wenn der abgelagerte Staub in den Prüfungen entzündet werden kann, spricht man von einem brennbaren Staub.

#### **Prüfapparatur**

Für die Prüfung werden eine keramische Platte und verschiedene Zündquellen, wie Gasflamme, brennende Zigarette, Streichholz oder Cereisenfunken verwendet (Abbildung 1).

#### **Prüfung**

Auf die keramische Platte wird ein Produktsteg von 2 cm Breite und 4 cm Länge aufgebracht. Man verwendet unterschiedliche Zündquellen, um festzustellen, ob der abgelagerte Staub entzündet werden kann.



## Bewertung

Wenn der abgelagerte Staub entzündet werden kann, wird der Staub als brennbar betrachtet. Einzelheiten über die jeweils verwendete Zündquelle sind anzugeben.

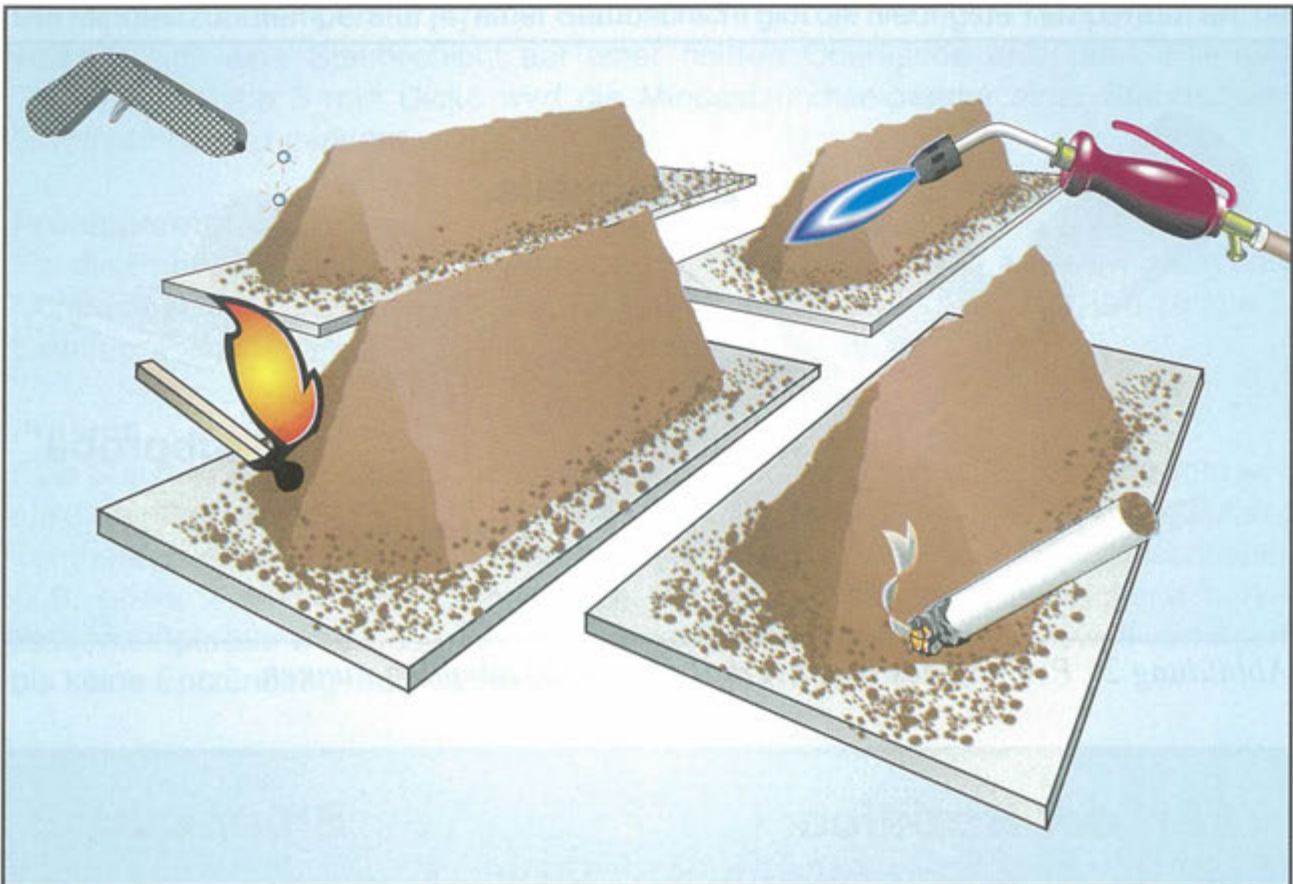


Abbildung 1: Prüfung der Entzündbarkeit von Staubablagerungen mit verschiedenen Zündquellen

## 2.2 Brennverhalten

Mit dem Brennverhalten wird das Erscheinungsbild des Brandes in einer Staubablagerung beschrieben.

### Prüfapparatur

Für die Prüfung werden eine keramische Platte und in der Regel ein glühender Platindraht verwendet. Im Einzelfall kommt als Zündquelle auch eine Gasflamme zur Anwendung (Abbildung 2).

### Prüfung

Auf die keramische Platte wird ein Produktsteg von 2 cm Breite und 4 cm Länge aufgebracht. Durch Eintauchen des glühenden Platindrahtes in den Produktsteg wird versucht, den Staub zu entzünden. Nach erfolgter Entzündung wird die Heftigkeit des anschließenden Brennens beobachtet. Die Prüfung kann bei Raumtemperatur oder bei erhöhter Temperatur (in der Regel 100° C) erfolgen.

## Bewertung

Das Brennverhalten der Staubprobe wird bewertet und der Staub mittels einer Brennzahl gemäß der Unterteilung in Tabelle 1 klassifiziert.

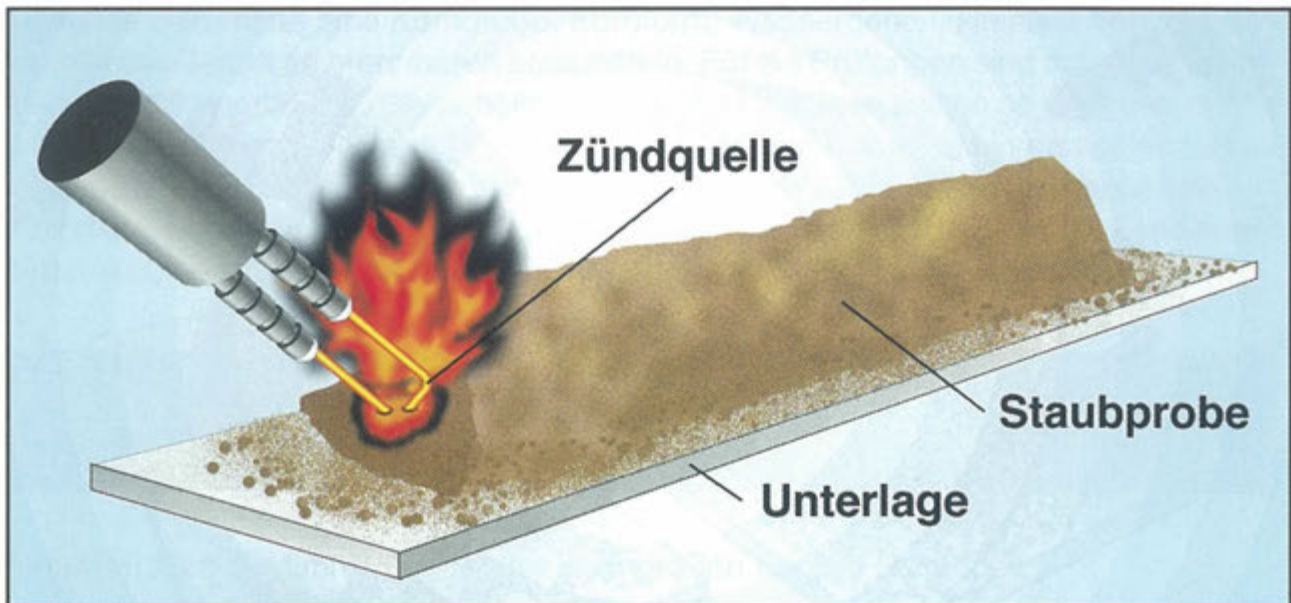


Abbildung 2: Prüfung des Brennverhaltens von Staubablagerungen

Art der Reaktion	Brennzahl
Kein Anbrennen, kein Entzünden	BZ 1
Kurzes Anbrennen, rasches Auslöschten	BZ 2
Örtliches Brennen oder Glimmen (kein oder sehr geringes Ausbreiten)	BZ 3
Ausbreiten eines Glimmbrandes oder langsames, flammenloses Zersetzen	BZ 4
Ausbreiten eines offenen Brandes (Brennen unter Flammeneerscheinung)	BZ 5
Sehr rasches Durchbrennen unter Flammeneerscheinung oder rasches, flammenloses Zersetzen	BZ 6

Tabelle 1: Brennverhalten von Staubablagerungen



## 2.3 Mindestzündtemperatur einer Staubschicht (Glimmtemperatur)

Die Mindestzündtemperatur [4] einer Staubschicht gibt die niedrigste Temperatur an, bei welcher sich eine Staubschicht auf einer heißen Oberfläche entzündet. Für eine Staubschicht von 5 mm Dicke wird die Mindestzündtemperatur einer Staubschicht Glimmtemperatur genannt.

### Prüfapparatur

Für die Prüfung wird eine elektrisch beheizte, kreisförmige Platte aus Aluminium oder nichtrostendem Stahl (Durchmesser 200 mm, Dicke 20 mm) verwendet. Die Temperaturen der Platte und der Probe werden gemessen (Abbildung 3).

### Prüfung

Eine Staubschicht mit einem Durchmesser von 100 mm und einer Dicke von 5 mm wird auf die heiße Platte aufgebracht. Die Platte wird während 2 Stunden auf einer konstanten Temperatur gehalten, und das Entzündungs- und Brennverhalten wird beschrieben (z.B. offene Flamme oder Glimmbrand). Ausgehend von einer hinreichend hohen Plattentemperatur wird diese - im allgemeinen in Schritten von 10 K - soweit verringert, bis keine Entzündung mehr stattfindet.

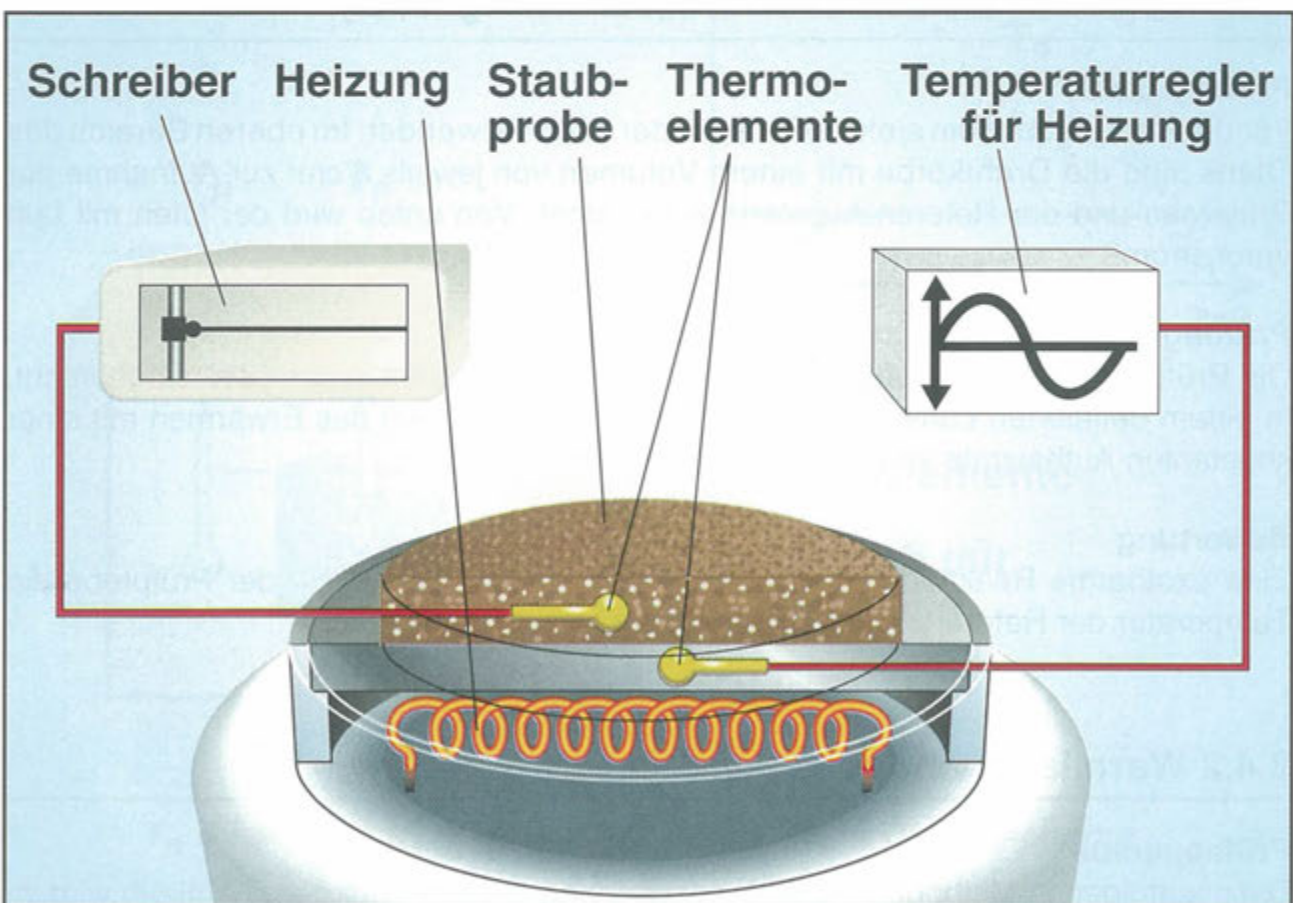


Abbildung 3: Prüfapparatur zum Bestimmen der Mindestzündtemperatur einer Staubschicht



## **Bewertung**

Als Mindestzündtemperatur einer Staubschicht von 5 mm Dicke (Glimmtemperatur) wird die niedrigste Temperatur angegeben, bei der es gerade noch zur Entzündung gekommen ist [5].

## **2.4 Selbstentzündung**

Im Selbstentzündungsverhalten zeigt sich, wie gut eine Staubschüttung mit Luftsauerstoff unter Wärmeentwicklung bis zur Entzündung oxidierbar ist. Selbsterwärmung und gegebenenfalls Selbstentzündung finden nur statt, wenn die Wärmeentwicklung in der Staubschüttung größer ist als die Wärmeabfuhr. Für das experimentelle Bestimmen des Selbstentzündungsverhaltens können die nachfolgend aufgeführten Verfahren eingesetzt werden:

- Schnelltest nach Grewer
- Warmlagerversuche

### **2.4.1 Schnelltest nach Grewer („screening test“)**

#### **Prüfapparatur**

Für die Prüfung wird ein elektrisch beheizter Ofen verwendet. Im oberen Bereich des Ofens sind die Drahtkörbe mit einem Volumen von jeweils  $8 \text{ cm}^3$  zur Aufnahme der Prüfprobe und der Referenzsubstanz angeordnet. Von unten wird der Ofen mit Luft durchströmt.

#### **Prüfung**

Die Prüfprobe und die Referenzsubstanz (Graphit) werden in den Ofen eingebracht. In einem definierten Luftvolumenstrom von  $2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$  erfolgt das Erwärmen mit einer konstanten Aufheizrate von  $1 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$  bis  $2 \text{ K} \cdot \text{min}^{-1}$ .

#### **Bewertung**

Eine exotherme Reaktion liegt vor, wenn im Test die Temperatur der Prüfprobe die Temperatur der Referenzsubstanz übersteigt.

### **2.4.2 Warmlagerversuche**

#### **Prüfapparatur**

Die nachfolgende Methode wird in [6] beschrieben. Ein zylindrischer Drahtkorb wird im Zentrum eines temperaturgeregelten Laborofens mit Luftzirkulation angeordnet. Es werden Drahtkörbe mit unterschiedlichen Formen und Volumina verwendet (Abbildung 4).

## Prüfung

Der Drahtkorb wird mit dem zu untersuchenden Staub gefüllt und im Ofen bei konstanter Temperatur gelagert. Die Temperaturen der Probe und des Ofens werden kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet, während der Ofen mit erhitzter Frischluft durchströmt wird. Ausgehend von einem hinreichend hohen Wert (z.B. Ergebnis des Tests nach 2.4.1) wird die Ofentemperatur in Schritten von in der Regel 10 K solange reduziert (jeweils mit frischer Prüfsubstanz), bis keine Entzündung mehr beobachtet wird.

## Bewertung

Eine Selbsterwärmung liegt vor, wenn die Probentemperatur die Ofentemperatur übersteigt. Wird dabei in der Staubschüttung eine Temperatur von  $400^{\circ}\text{C}$  überschritten, ist dies als Selbstentzündung zu werten. Die niedrigste Ofentemperatur, bei der im Versuch eine Selbstentzündung erfolgt, ist die volumenspezifische Selbstentzündungstemperatur. Die Angabe einer Selbstentzündungstemperatur ergibt jedoch nur dann einen Sinn, wenn gleichzeitig Angaben über die Probengeometrie, die Größe des Probenvolumens und die Lagerzeit erfolgen. Werden die Versuche mit verschiedenen Volumina durchgeführt, ist ein Extrapolieren auch auf größere Volumina möglich.

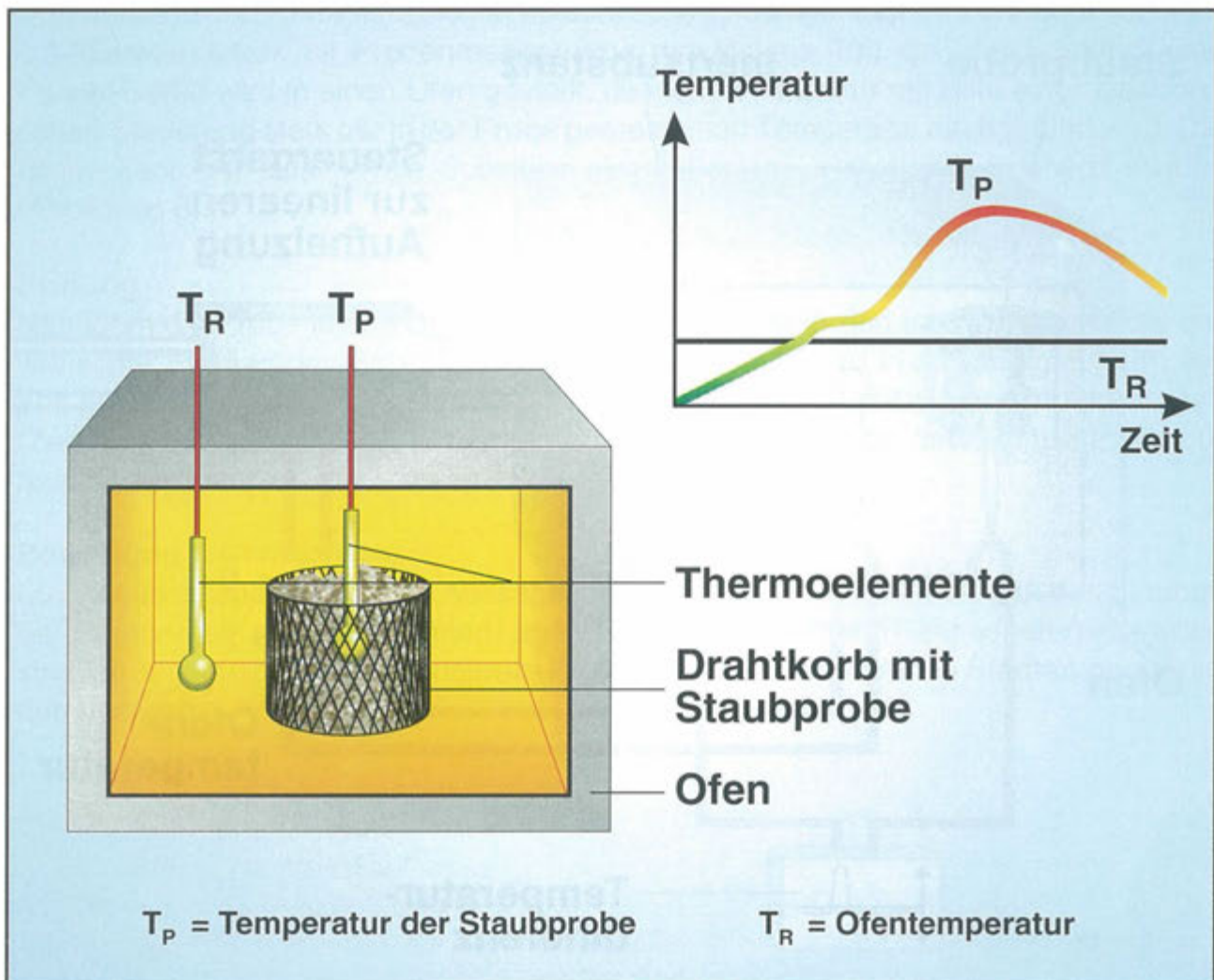


Abbildung 4: Prüfapparatur zum Bestimmen der Selbstentzündungstemperatur von Staubschüttungen



## 2.5 Exotherme Zersetzung

Eine exotherme Zersetzung ist eine Reaktion, welche in Abwesenheit von Luft stattfindet und die zu einer Temperatur- und möglicherweise auch einer Druckerhöhung führen kann. Mit den folgenden Methoden kann die exotherme Zersetzung eines Staubes geprüft werden.

### 2.5.1 Differenzthermoanalyse

Die Differenzthermoanalyse (DTA) ist eine Methode zum Messen der aufgenommenen oder abgegebenen Wärmemenge.

#### Prüfapparatur

Zur Durchführung der Prüfung werden handelsübliche DTA-Apparaturen eingesetzt (Abbildung 5).

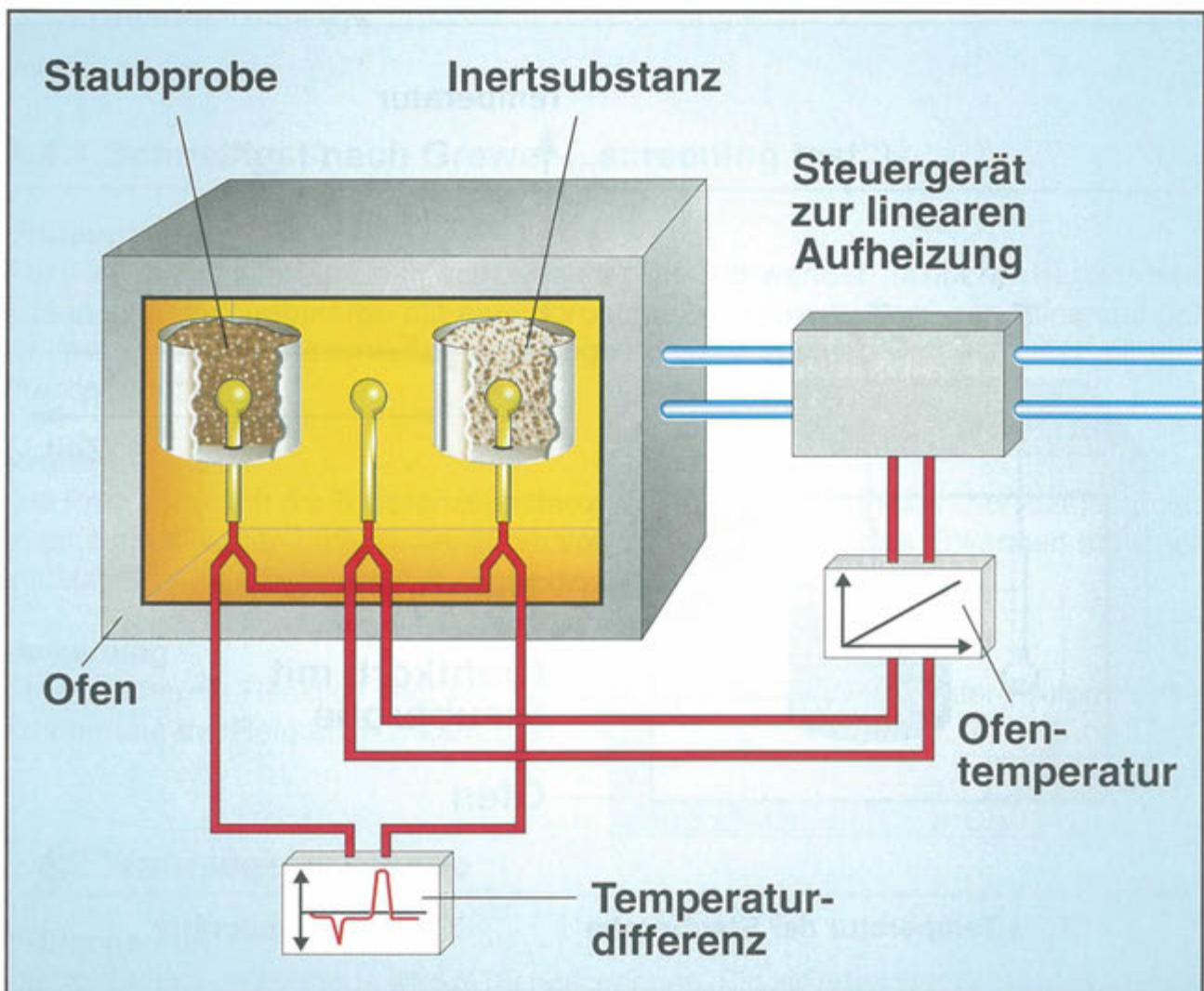


Abbildung 5: Prüfapparatur zum Bestimmen der aufgenommenen oder abgegebenen Wärmemenge - Differenzthermoanalyse (DTA-Apparatur)



### **Prüfung**

Zwei Proben Tiegel werden in den Ofen eingebracht. Ein Tiegel enthält die Prüfprobe, der andere eine inerte Referenzsubstanz. Die Temperaturen beider unter gleichen Bedingungen aufgeheizter Substanzen werden kontinuierlich gemessen. Die Aufheizgeschwindigkeit beträgt dabei  $1\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$  bis  $10\text{K} \cdot \text{min}^{-1}$ .

### **Bewertung**

Als Zersetzungstemperatur wird die Temperatur bezeichnet, bei welcher die Temperatur der Probe über die des inerten Referenzmaterials angestiegen ist. Die Aufheizgeschwindigkeit muß im Bericht angegeben werden. Die Zersetzungstemperatur aus einer DTA-Analyse wird nur als Orientierungsgröße verwendet.

## **2.5.2 Prüfung auf Lagerfähigkeit unter adiabatischen Bedingungen (Wärmestauversuche)**

---

### **Prüfapparatur**

Die Prüfung auf Lagerfähigkeit unter adiabatischen Bedingungen wird in einem 0,2-l- bis 1,5-l-Dewar-Gefäß mit Probenmengen von mindestens  $100\text{ cm}^3$  durchgeführt. Das Dewar-Gefäß wird in einen Ofen gestellt, dessen Temperatur mit Hilfe einer elektronischen Steuerung stets der in der Probe gemessenen Temperatur nachgeführt wird. Die Probe kann mit einer in die Substanz eingetauchten Heizspirale vorgeheizt werden (Abbildung 6).

### **Prüfung**

Nachdem die Probe in das Dewar-Gefäß eingebracht worden ist, wird sie auf die gewünschte Starttemperatur vorgeheizt. Die Temperatur wird in Abhängigkeit von der Zeit gemessen. Aus dem so erhaltenen Temperatur-Zeit-Profil wird die Induktionszeit (Zeit vom Erreichen der Starttemperatur bis zum Erreichen des Temperaturmaximums) bestimmt.

### **Bewertung**

Die Induktionszeit erlaubt eine Aussage über die höchste Lagertemperatur des Staubes bei der innerhalb einer bestimmten Lagerzeit keine gefährlichen Reaktionen zu erwarten sind. Im allgemeinen werden mehrere Prüfungen bei verschiedenen Starttemperaturen durchgeführt.

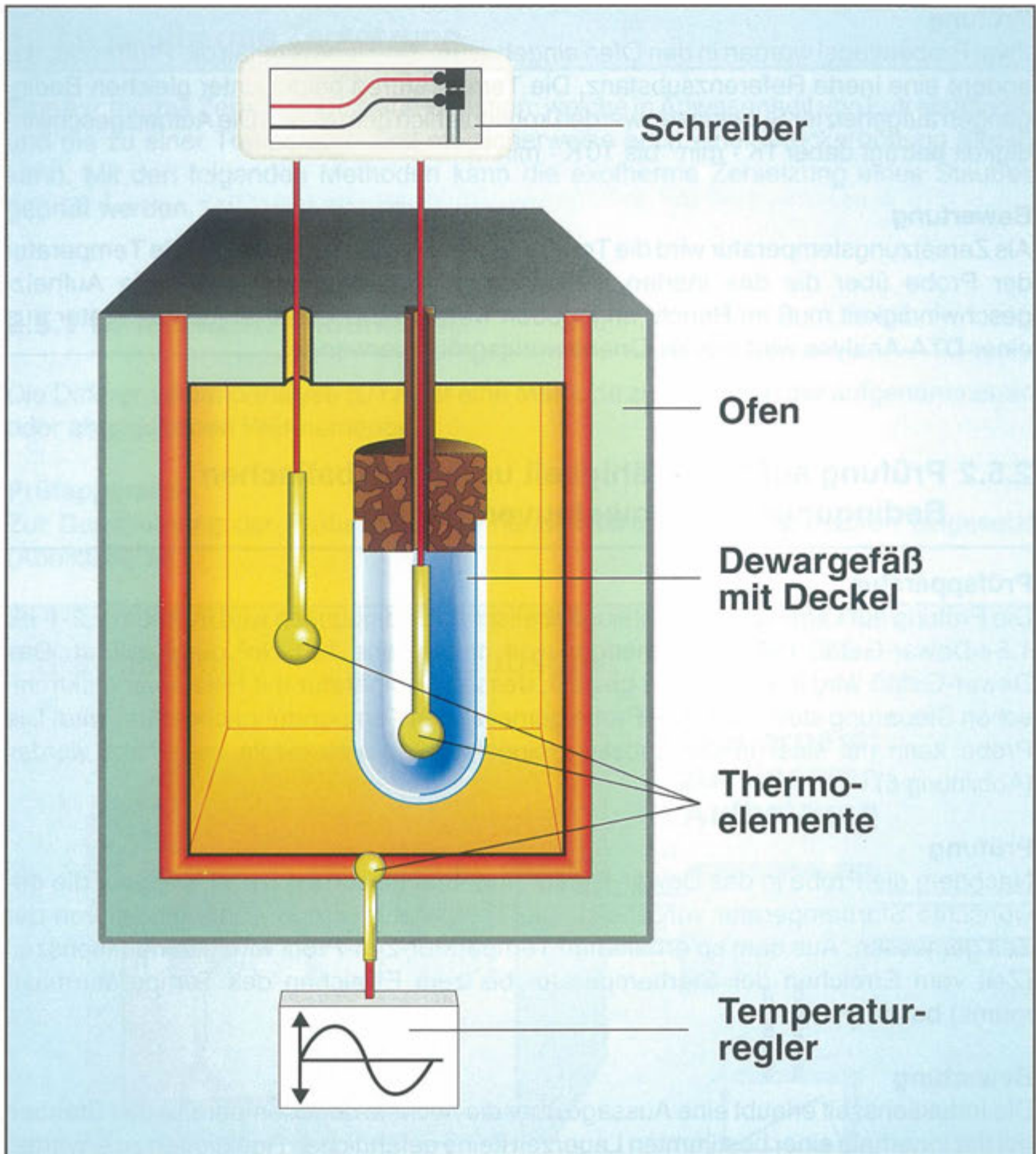


Abbildung 6: Prüfapparatur zum Bestimmen der Lagerfähigkeit unter adiabatischen Bedingungen

### 2.5.3 Prüfung auf spontane Zersetzung („Deflagration“)

Der Ausdruck „Deflagration“ wird unterschiedlich interpretiert [7]. Im Rahmen dieser Broschüre soll deshalb der Begriff „Spontane Zersetzung“ gelten (In Anlehnung an die englische Definition „spontaneous decomposition“). Darunter versteht man eine lokal durch Fremdzündung ausgelöste Zersetzungsreaktion, die sich im Gegensatz zur Verbrennung auch unter Ausschluß von Luftsauerstoff selbständig fortpflanzt.



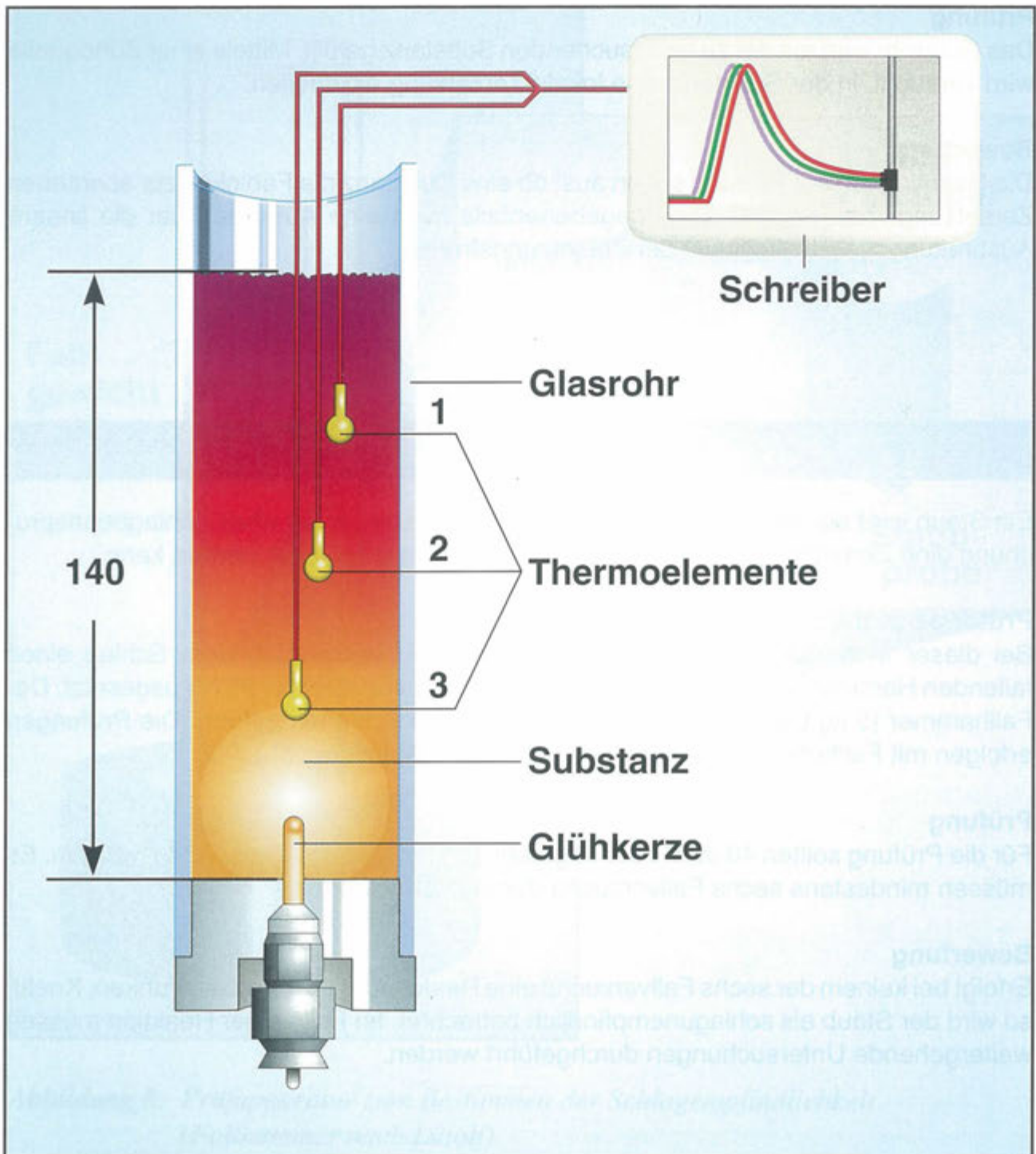


Abbildung 7: Prüfapparatur zum Bestimmen der Fähigkeit zur spontanen Zersetzung

### Prüfapparatur

Eine einfache Prüfapparatur zum Untersuchen der Fähigkeit zur spontanen Zersetzung einer Substanz besteht aus einem senkrecht angeordneten, unten geschlossenen Glasrohr. Das Rohr wird mit Thermoelementen ausgerüstet, die möglichst axial, entlang des Glasrohres in regelmäßigen Abständen angeordnet sind. Verschiedene Zündquellen können zur Einleitung der Zersetzungsreaktion verwendet werden, wie Glühkerze, Heizspirale (Abbildung 7).



### **Prüfung**

Das Glasrohr wird mit der zu untersuchenden Substanz gefüllt. Mittels einer Zündquelle wird versucht, in der Substanz eine lokale Zersetzung einzuleiten.

### **Bewertung**

Die Resultate dieser Prüfung sagen aus, ob eine Substanz die Fähigkeit zur spontanen Zersetzung hat. Sie gestatten gegebenenfalls auch eine Aussage über die lineare Ausbreitungsgeschwindigkeit der Zersetzungsfront.

## **2.6 Schlagempfindlichkeit**

Ein Staub wird als schlagempfindlich bezeichnet, wenn infolge einer Schlagbeanspruchung eine Zersetzungsreaktion oder eine Explosion eingeleitet werden kann.

### **Prüfapparatur**

Bei dieser Methode wird die Substanz auf einem Stahlamboß dem Schlag eines fallenden Hammers mit einer Schlagbeanspruchung von 49 N bis 98 N ausgesetzt. Der Fallhammer (5 kg bis 10 kg) wird durch senkrechte Schienen geführt. Die Prüfungen erfolgen mit Fallhöhen zwischen 0,4 m und 0,8 m (Abbildung 8).

### **Prüfung**

Für die Prüfung sollten 40 mm<sup>3</sup> oder ungefähr 100 mg Substanz verwendet werden. Es müssen mindestens sechs Fallversuche durchgeführt werden.

### **Bewertung**

Erfolgt bei keinem der sechs Fallversuche eine Reaktion (Rauch, Feuer, Funken, Knall), so wird der Staub als schlagunempfindlich betrachtet. Im Falle einer Reaktion müssen weitergehende Untersuchungen durchgeführt werden.

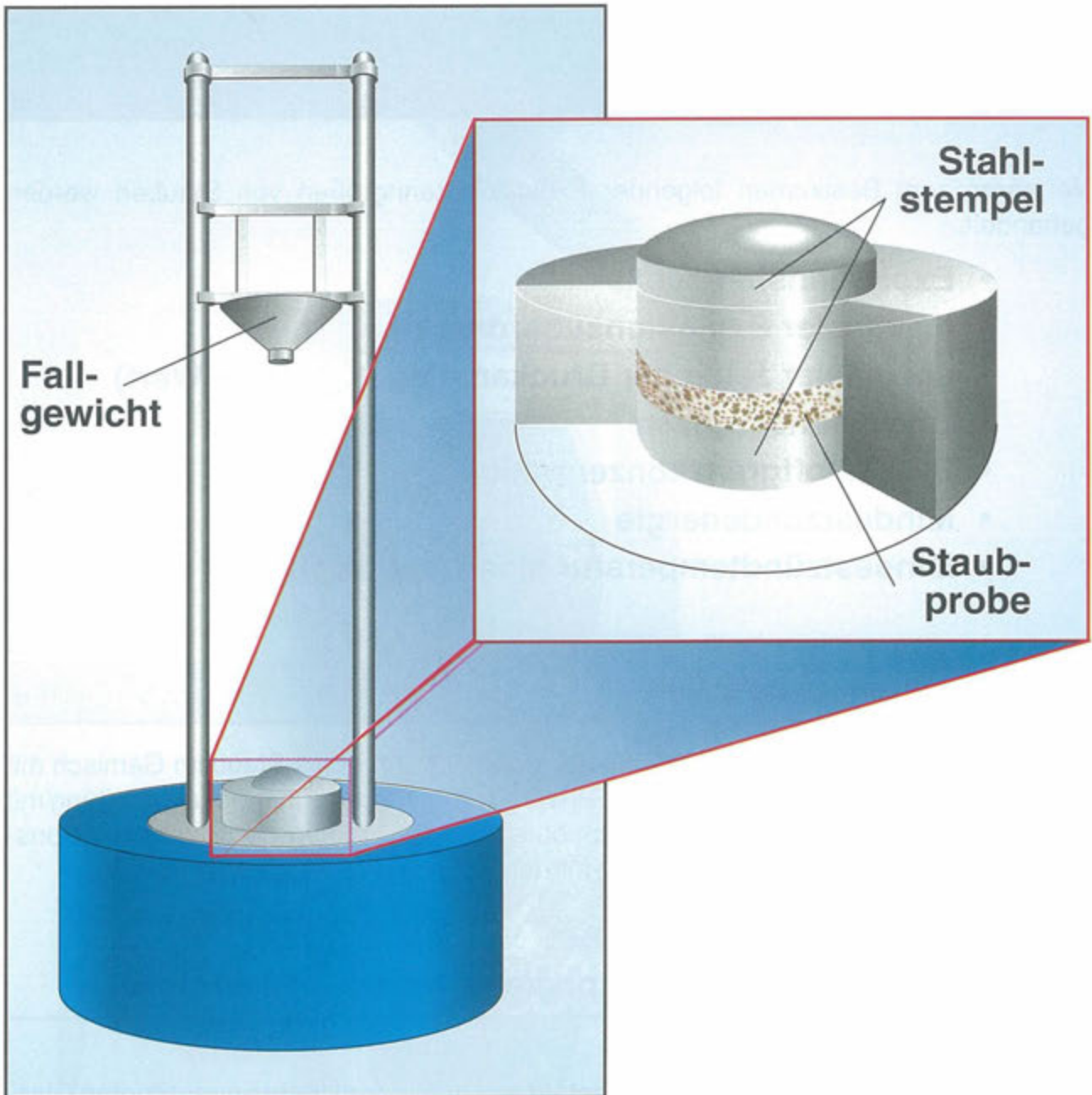


Abbildung 8: Prüfapparatur zum Bestimmen der Schlagempfindlichkeit  
(Fallhammer nach Lütolf)



## 3. Sicherheitstechnische Kenngrößen von aufgewirbeltem Staub

Verfahren zum Bestimmen folgender Explosionskenngrößen von Stäuben werden behandelt:

- **Explosionsfähigkeit**
- **maximaler Explosionsüberdruck**
- **maximaler zeitlicher Druckanstieg,  $K_{\max}$  ( $K_{St}$  - Wert)**
- **Explosionsgrenzen**
- **Sauerstoffgrenzkonzentration**
- **Mindestzündenergie**
- **Mindestzündtemperatur einer Staubwolke**

### 3.1 Explosionsfähigkeit

Ein Stoff wird als staubexplosionsfähig bezeichnet, wenn er als Staub im Gemisch mit Luft nach erfolgter Entzündung in Form einer fortschreitenden Flammenausbreitung mit Druckentwicklung reagiert. Für das experimentelle Bestimmen der Staubexplosionsfähigkeit können die nachfolgend aufgeführten Apparaturen eingesetzt werden:

#### 3.1.1 Modifizierte Hartmann-Apparatur (offenes Glasrohr)

##### Prüfapparatur

Die modifizierte Hartmann-Apparatur besteht aus einem senkrecht angeordneten Glasrohr mit einem Volumen von 1,2 l. Das Rohr ist unten geschlossen und hat am oberen Ende eine Druckentlastungsöffnung. Als Zündquelle wird entweder ein Hochspannungsdauerfunken oder eine Heizspirale (Glühwendel) verwendet (Abbildung 9).

##### Prüfung

Die Staubprobe wird in die Apparatur gefüllt. Nach Aktivieren der Zündquelle wird der Staub mit einem definierten Luftstoß aus einem externen Druckbehälter aufgewirbelt. Die Prüfungen werden über einen weiten Staubkonzentrationsbereich durchgeführt.

##### Bewertung

Wird eine Flammenausbreitung beobachtet, kann davon ausgegangen werden, daß der Stoff staubexplosionsfähig ist. Erfolgt keine Entzündung, muß der Staub für eine abschließende Bewertung noch in einem geschlossenen Behälter nach Abschnitt 3.1.2 geprüft werden.

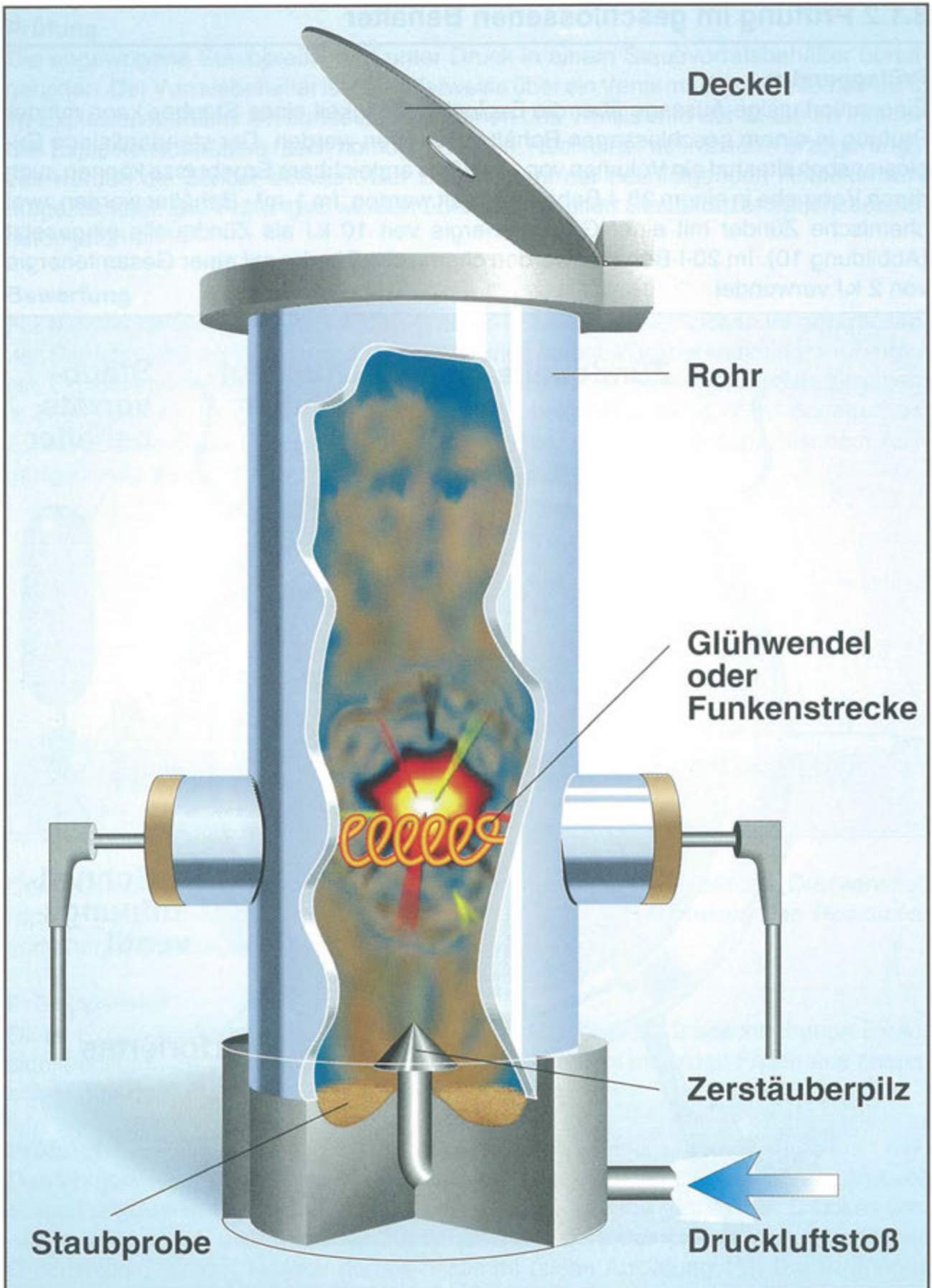


Abbildung 9: Prüfapparatur zum Bestimmen der Staubexplosionsfähigkeit  
(Modifizierte Hartmann-Apparatur)



### 3.1.2 Prüfung im geschlossenen Behälter

#### Prüfapparatur

Eine zuverlässige Aussage über die Explosionsfähigkeit eines Staubes kann mit der Prüfung in einem geschlossenen Behälter getroffen werden. Der standardisierte Explosionsbehälter hat ein Volumen von  $1\text{ m}^3$  [8]. Vergleichbare Ergebnisse können auch durch Versuche in einem 20-l-Behälter erzielt werden. Im  $1\text{-m}^3$ -Behälter werden zwei chemische Zünder mit einer Gesamtenergie von  $10\text{ kJ}$  als Zündquelle eingesetzt (Abbildung 10). Im 20-l-Behälter werden chemische Zünder mit einer Gesamtenergie von  $2\text{ kJ}$  verwendet.

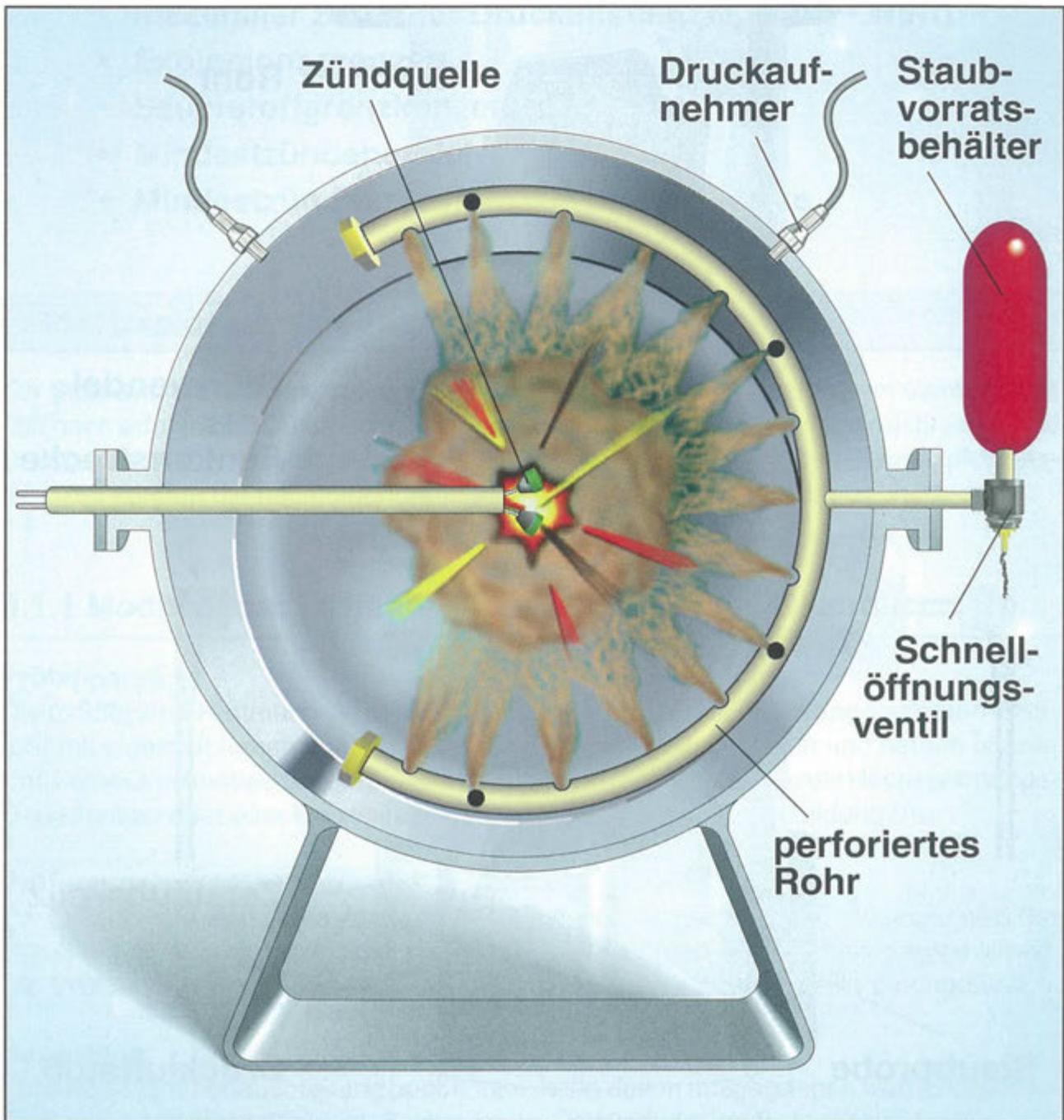


Abbildung 10: Prüfapparatur zum Bestimmen der Staubexplosionsfähigkeit ( $1\text{-m}^3$ -Behälter)

## Prüfung

Die abgewogene Staubprobe wird unter Druck in einem Staubvorratsbehälter bereitgehalten. Der Vorratsbehälter ist normalerweise über ein Ventil mit der Verteileinrichtung im Explosionsbehälter verbunden. Beim Öffnen des Ventils wird der Staub im Inneren des Explosionsbehälters rasch homogen verteilt. Nach einer definierten Verzögerungszeit werden die Zünder aktiviert. Der Druckverlauf der nachfolgenden Reaktion wird aufgezeichnet. Die Prüfungen werden über einen weiten Staubkonzentrationsbereich durchgeführt.

## Bewertung

Für das Beurteilen der Explosionsfähigkeit von Staub/Luft-Gemischen im geschlossenen Behälter wird der gemessene Druck zugrunde gelegt. Wird bei keiner der Prüfungen ein Explosionsüberdruck festgestellt ( $\Delta p \leq 0,3$  bar über prüfverfahrensspezifischem Ausgangsdruck), so gilt der Stoff als nicht staubexplosionsfähig. Wird dagegen ein Explosionsüberdruck festgestellt ( $\Delta p > 0,3$  bar über prüfverfahrensspezifischem Ausgangsdruck), so gilt der Stoff als staubexplosionsfähig.

## 3.2 Maximaler Explosionsüberdruck, maximaler zeitlicher Druckanstieg, $K_{\max}$ ( $K_{St}$ -Wert)

Der maximale Explosionsüberdruck  $p_{\max}$  und der maximale zeitliche Druckanstieg  $(dp/dt)_{\max}$  bzw. die Explosionskonstante  $K_{\max}$  ( $K_{St}$ -Wert) beschreiben das Reaktionsverhalten eines Staubes.

## Prüfapparatur

Diese Explosionskenngrößen können in den im Abschnitt 3.1.2 beschriebenen Explosionsbehältern bestimmt werden. Die Zündquelle besteht in beiden Fällen aus chemischen Zündern mit einer Gesamtenergie von 10 kJ.

## Prüfung

Das Vorgehen ist ähnlich demjenigen, das bei der Prüfung der Explosionsfähigkeit von Staub/Luft-Gemischen zur Anwendung kommt. Der zeitliche Verlauf des Druckes wird aufgezeichnet und die Werte für den Explosionsüberdruck  $p_m$  sowie den zeitlichen Druckanstieg  $(dp/dt)_m$  werden daraus bestimmt (siehe Abbildung 11). Die Prüfungen werden über einen weiten Staubkonzentrationsbereich durchgeführt, bis die Höchstwerte für den Explosionsüberdruck und den zeitlichen Druckanstieg überschritten sind (siehe Abbildung 12).



## Bewertung

Das Bestimmen des maximalen Explosionsüberdrucks  $p_{\max}$  und des maximalen zeitlichen Druckanstiegs  $(dp/dt)_{\max}$  wird in Abbildung 12 gezeigt.

Der maximale zeitliche Druckanstieg  $(dp/dt)_{\max}$  hängt vom Volumen des Explosionsbehälters ab und wird mit Hilfe des sogenannten *Kubischen Gesetzes* in die volumenunabhängige Explosionskonstante  $K_{\max}$  umgeformt:

$$(dp/dt)_{\max} V^{1/3} = \text{konstant} = K_{\max}$$

Der maximale zeitliche Druckanstieg wird in  $\text{bar} \cdot \text{s}^{-1}$ , das Volumen in  $\text{m}^3$  und die Explosionskonstante in  $\text{bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$  angegeben. Abhängig von  $K_{\max}$ , wird ein explosionsfähiger Staub in eine von drei Staubexplosionsklassen eingeteilt.

$K_{\max}$ [ $\text{bar} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]	Staubexplosionsklasse
> 0 bis 200	St 1
> 200 bis 300	St 2
> 300	St 3

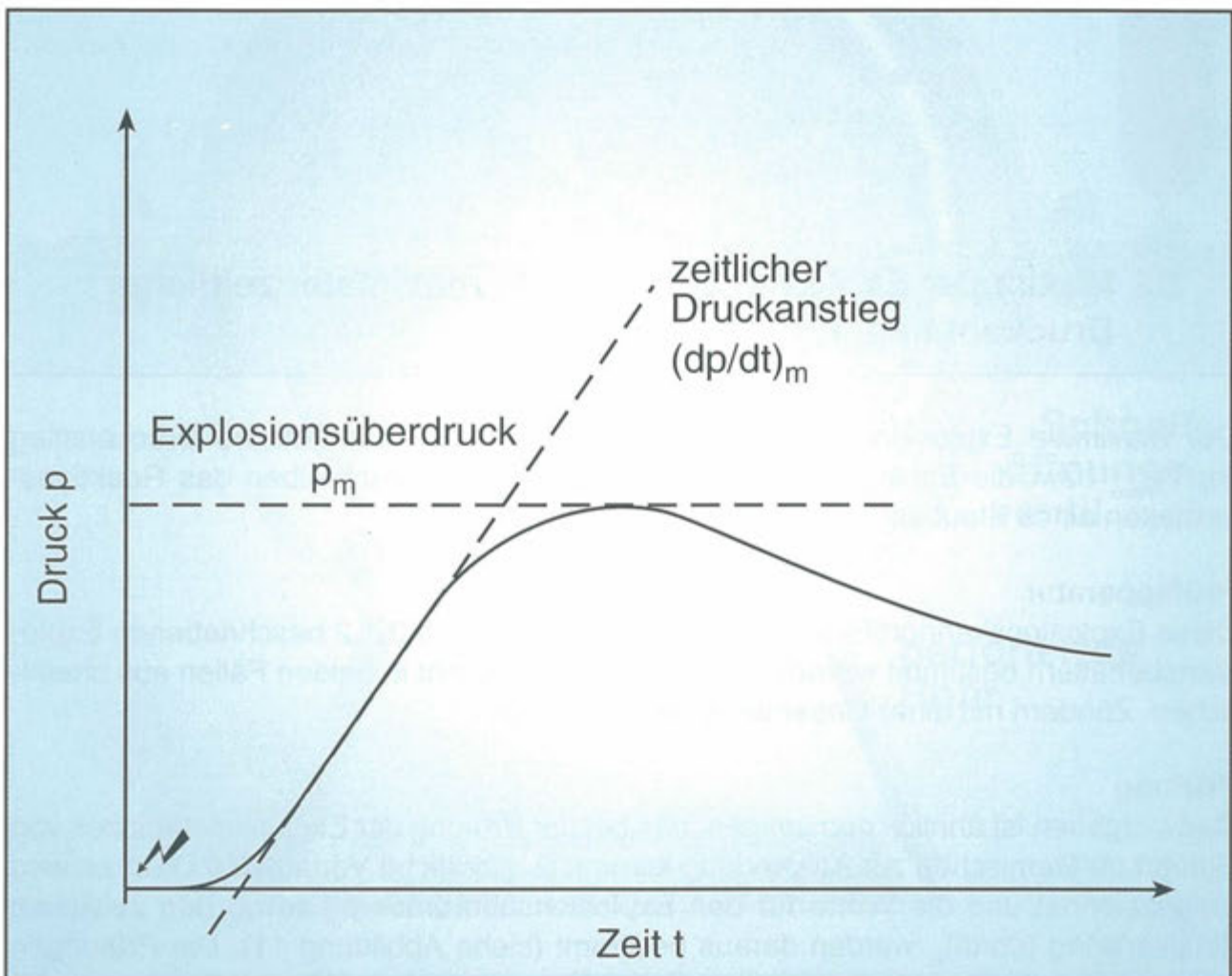


Abbildung 11: Druckverlauf einer Staubexplosion in einem geschlossenen Behälter bei beliebiger Staubkonzentration im explosionsfähigen Bereich

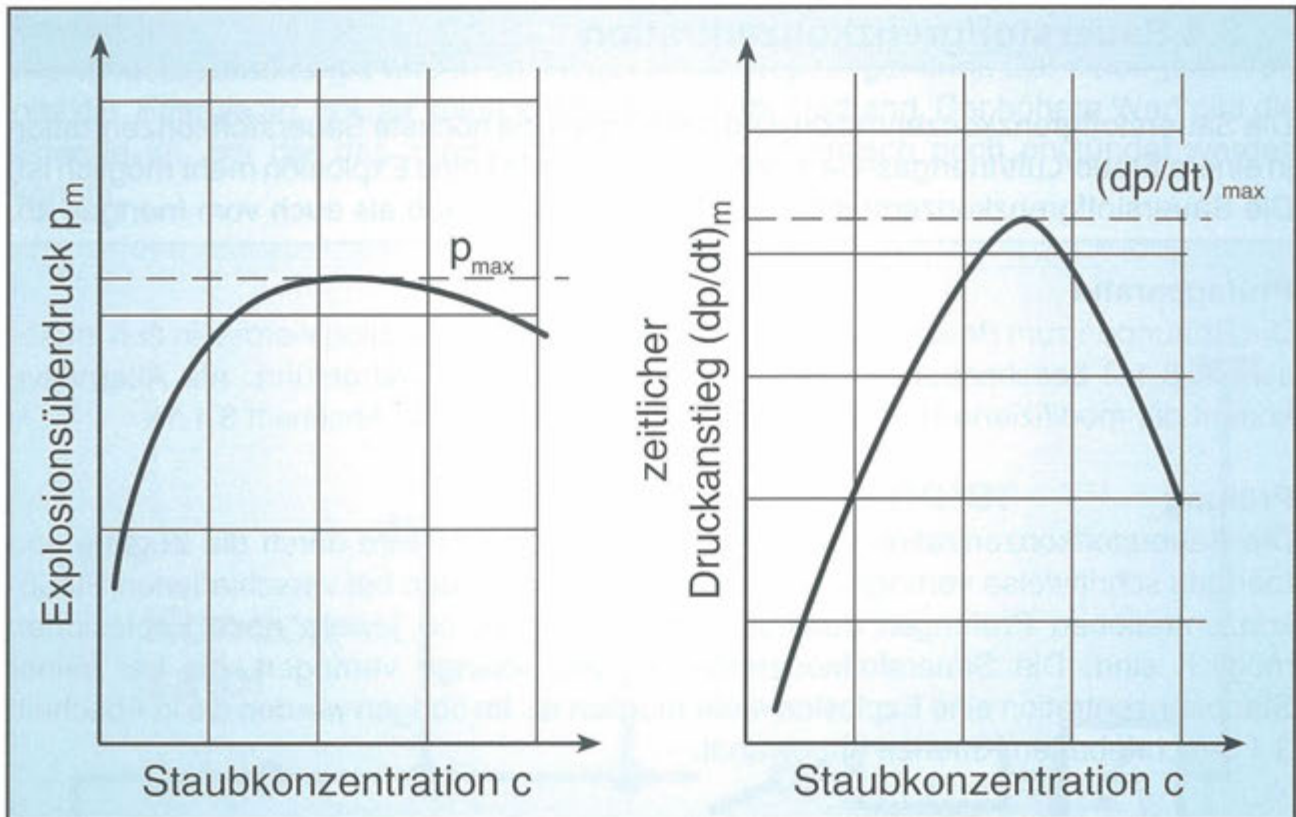


Abbildung 12: Explosionsüberdruck und zeitlicher Druckanstieg in Abhängigkeit von der Staubkonzentration

### 3.3 Explosionsgrenzen

Die Explosionsgrenzen schließen den Konzentrationsbereich eines Staubes im Gemisch mit Luft ein, in dem Explosionen möglich sind. In der Regel wird nur die untere Explosionsgrenze bestimmt.

#### Prüfapparatur

Zum Bestimmen der unteren Explosionsgrenze werden die gleichen Verfahren eingesetzt wie zum Bestimmen der Explosionsfähigkeit in geschlossenen Behältern (siehe Abschnitt 3.1.2).

#### Prüfung

Ausgehend von einer explosionsfähigen Staubkonzentration wird in den nachfolgenden Prüfungen die Staubkonzentration soweit verringert, bis der aufgewirbelte Staub nicht mehr entzündet werden kann. Im übrigen erfolgt die Prüfung wie unter Abschnitt 3.1.2 beschrieben.

#### Bewertung

Die höchste Staubkonzentration, bei welcher das Staub/Luft-Gemisch nicht mehr entzündet werden konnte, wird als die untere Explosionsgrenze angegeben. Im übrigen erfolgt die Bewertung wie unter Abschnitt 3.1.2 beschrieben.



### 3.4 Sauerstoffgrenzkonzentration

Die Sauerstoffgrenzkonzentration wird definiert als die höchste Sauerstoffkonzentration in einem Staub/Luft/Inertgas-Gemisch, bei der gerade keine Explosion mehr möglich ist. Die Sauerstoffgrenzkonzentration hängt sowohl vom Staub als auch vom Inertgas ab.

#### Prüfapparatur

Die Prüfungen zum Bestimmen der Sauerstoffgrenzkonzentration werden in den im Abschnitt 3.1.2 beschriebenen geschlossenen Behältern durchgeführt. Als Alternative kommt die modifizierte Hartmann-Apparatur in Frage (siehe Abschnitt 3.1.1).

#### Prüfung

Die Sauerstoffkonzentration innerhalb des Prüfbehälters wird durch die Zugabe von Inertgas schrittweise verringert. Nach jedem Schritt werden bei verschiedenen Staubkonzentrationen Prüfungen durchgeführt, die zeigen, ob jeweils noch Explosionen möglich sind. Die Sauerstoffkonzentration wird solange verringert, bis bei keiner Staubkonzentration eine Explosion mehr möglich ist. Im übrigen werden die in Abschnitt 3.1 beschriebenen Kriterien angewandt.

#### Bewertung

Die höchste Sauerstoffkonzentration, bei der auch bei optimaler Staubkonzentration keine Explosion mehr beobachtet werden konnte, wird als die Sauerstoffgrenzkonzentration bezeichnet.

### 3.5 Mindestzündenergie

Die Mindestzündenergie eines Staub/Luft-Gemisches wird definiert als die niedrigste kapazitiv gespeicherte elektrische Energie, die nach einer Entladung über eine Funkenstrecke das zündwilligste Staub/Luft-Gemisch gerade noch entzündet.

#### Prüfapparatur

Die Mindestzündenergie kann in den Apparaturen nach Abschnitt 3.1 bestimmt werden. (siehe auch Abbildung 13). Zum Erzeugen eines elektrischen Funkens von bekannter Energie wird ein Kondensator definierter Kapazität bis zu einer bestimmten Hochspannung aufgeladen. Die Funkenentladung erfolgt über eine Elektrodenanordnung im Staub/Luft-Gemisch. Durch Variation der Kapazität und/oder der Ladespannung wird die Funkenenergie verändert [9]. In der Regel wird eine Induktivität im Entladekreis zur zeitlichen Dehnung der Funkenentladung verwendet.

#### Prüfung

Die Energie der Funkenentladung wird schrittweise verringert. Nach jedem Schritt werden im explosionsfähigen Bereich bei verschiedenen Staubkonzentrationen Prüfungen durchgeführt. Die Energie der Funkenentladung wird solange verringert, bis es bei keiner Staubkonzentration mehr zu einer Entzündung des Staub/Luft-Gemisches kommt.

### Bewertung

Als Mindestzündenergie wird in der Regel ein Wertepaar genannt. Der niedrigere Wert gibt die Energie an, bei der keine Entzündung mehr stattfand. Der höhere Wert gibt die Energie an, bei der das zündwilligste Staub/Luft-Gemisch noch entzündet werden konnte.

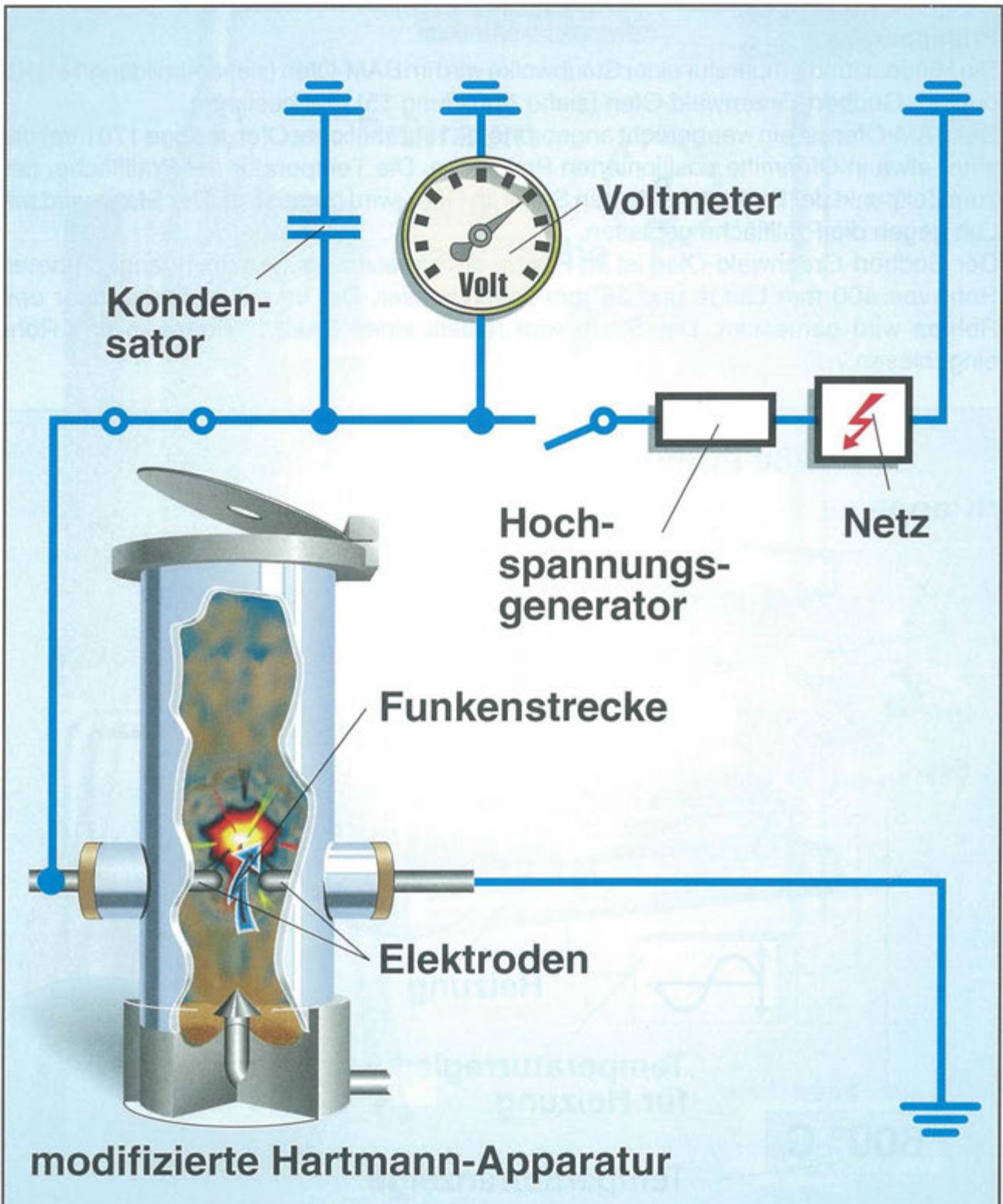


Abbildung 13: Prüfapparatur zum Bestimmen der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen



### 3.6 Mindestzündtemperatur einer Staubwolke

Die Mindestzündtemperatur einer Staubwolke beschreibt das Zündverhalten eines Staub/Luft-Gemisches an einer heißen Oberfläche.

#### Prüfapparatur

Die Mindestzündtemperatur einer Staubwolke wird im BAM-Ofen (siehe Abbildung 14) [10] oder im Godbert-Greenwald-Ofen (siehe Abbildung 15) [11] bestimmt.

Der BAM-Ofen ist ein waagrecht angeordneter, rohrähnlicher Ofen (Länge 170 mm) mit einer etwa in Ofenmitte positionierten Prallfläche. Die Temperatur der Prallfläche, der zum Zeitpunkt der Prüfung heißesten Stelle im Ofen, wird gemessen. Der Staub wird mit Luft gegen die Prallfläche geblasen.

Der Godbert-Greenwald-Ofen ist im Prinzip ein beheizbares, senkrecht angeordnetes Rohr von 400 mm Länge und 36 mm Durchmesser. Die Innenwandtemperatur des Rohres wird gemessen. Der Staub wird mittels eines Druckluftstoßes in das Rohr eingeblasen.

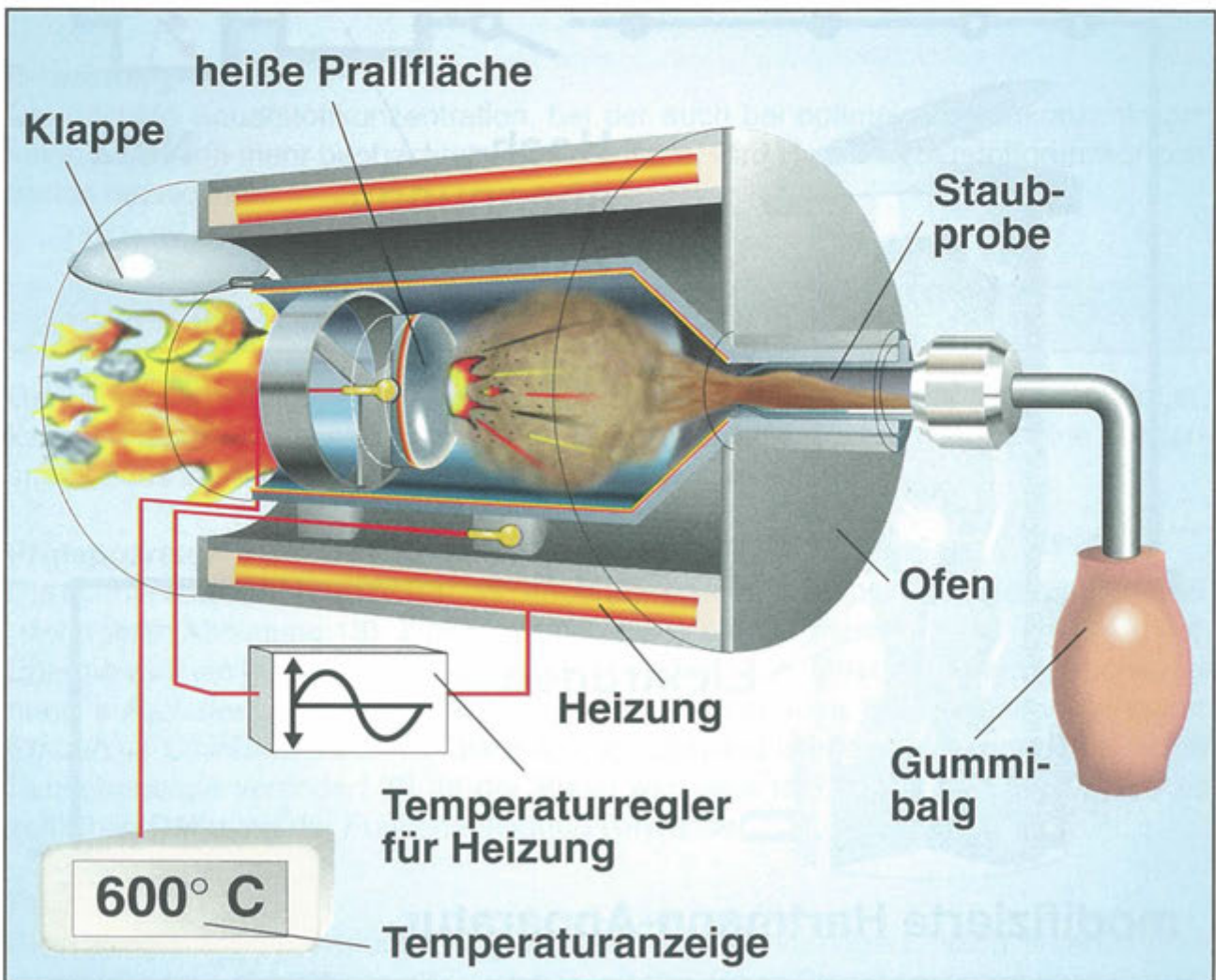


Abbildung 14: Prüfapparatur zum Bestimmen der Mindestzündtemperatur von Staubwolken (BAM-Ofen)

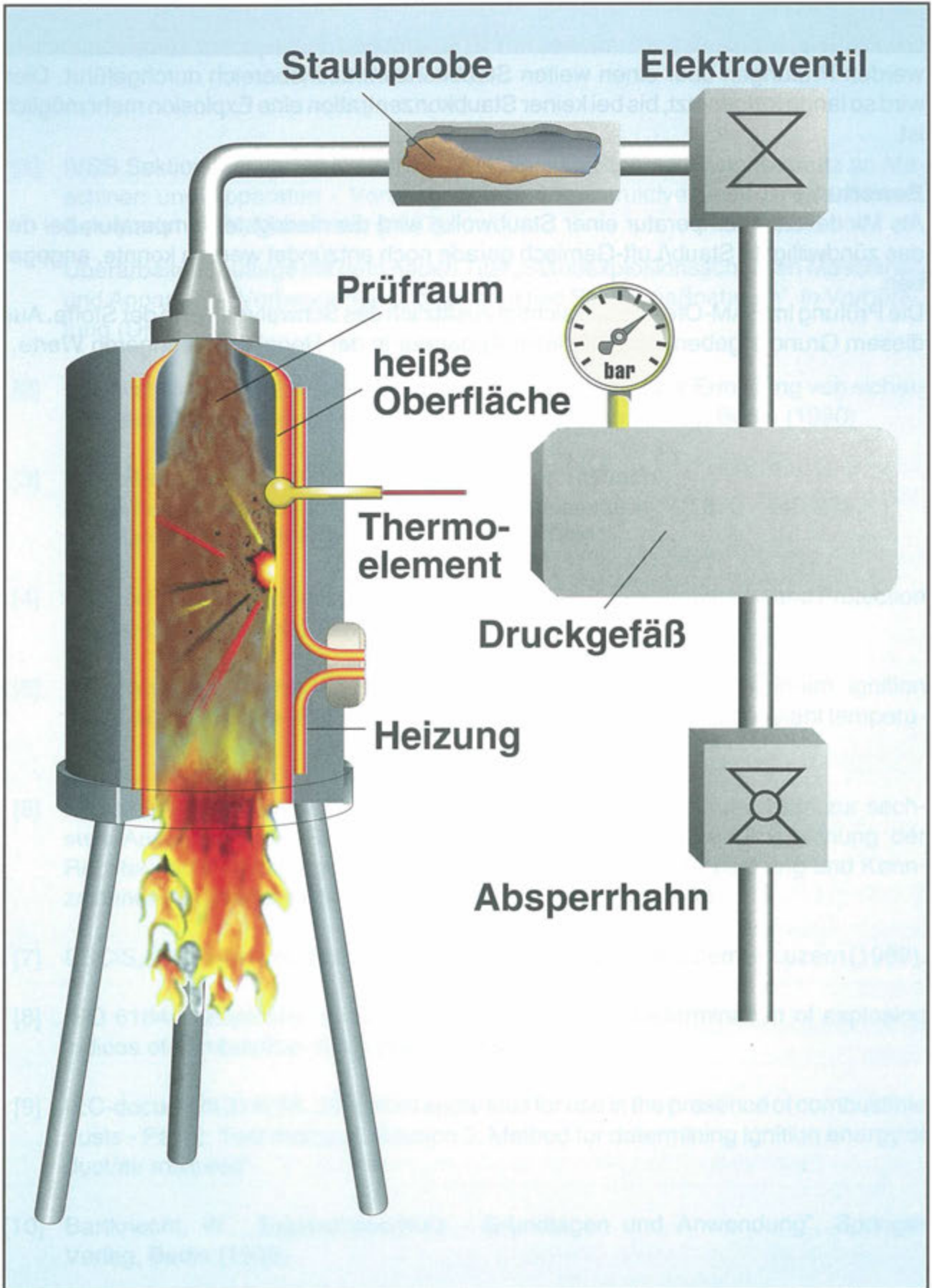


Abbildung 15: Prüfapparatur zum Bestimmen der Mindestzündtemperatur von Staubwolken (Godbert-Greenwald-Ofen)



### **Prüfung**

Die Prüftemperatur wird schrittweise um 10 K verringert. Nach jedem Temperaturschritt werden Prüfungen über einen weiten Staubkonzentrationsbereich durchgeführt. Dies wird so lange fortgesetzt, bis bei keiner Staubkonzentration eine Explosion mehr möglich ist.

### **Bewertung**

Als Mindestzündtemperatur einer Staubwolke wird die niedrigste Temperatur, bei der das zündwilligste Staub/Luft-Gemisch gerade noch entzündet werden konnte, angegeben.

Die Prüfung im BAM-Ofen berücksichtigt zusätzlich das Schwelverhalten der Stoffe. Aus diesem Grund ergeben sich mit dieser Apparatur in der Regel die niedrigeren Werte.

- [1] IVSS Sektion Maschinensicherheit, „Regeln zum Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten - Vorbeugende und konstruktive Schutzmaßnahmen“, Sekretariat BGN, Mannheim (1987).  
Überarbeitete Auflage mit dem neuen Titel „Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten - Vorbeugende und konstruktive Schutzmaßnahmen“, in Vorbereitung (Druck 1996).
- [2] VDI-Richtlinien 2263 Blatt 1, „Untersuchungsmethoden zur Ermittlung von sicherheitstechnischen Kenngrößen von Stäuben“, Beuth Verlag, Berlin (1990).
- [3] BIA, „Brenn- und Explosions-Kenngrößen von Stäuben“, Sicherheitstechnische Informations- und Arbeitsblätter 140 260 - 140 279, BIA-Handbuch, Erich Schmidt Verlag, Berlin (1987).
- [4] CEN, prEN 1127 -1, „Explosive-Atmospheres - Explosion Prevention and Protection - Basic Concepts and Methodology ”.
- [5] IEC-document 31 H(CO) 3, „Methods for determining the minimum ignition temperature of dusts - Part 1: Dust layer on a heated surface at a constant temperature”.
- [6] Richtlinie 84/449/EWG: Richtlinie der Kommission vom 25. April 1984 zur sechsten 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.
- [7] ESCIS, „Sicherheitstests für Chemikalien“, SUVA, Sektion Chemie, Luzern (1989).
- [8] ISO 6184/1 „Explosion protection systems - Part 1: Determination of explosion indices of combustible dusts in air”, 1985.
- [9] IEC-document 31 H 38, „Electrical apparatus for use in the presence of combustible dusts - Part 2: Test methods. Section 3: Method for determining ignition energy of dust/air mixtures”.
- [10] Bartknecht, W., „Explosionsschutz - Grundlagen und Anwendung“, Springer Verlag, Berlin (1993).
- [11] IEC-document 31 H(CO) 4, „Methods for determining the minimum ignition temperature of dusts - Part 2: Dust cloud in a furnace at a constant temperature”.



## Schriftenreihe der IVSS (Explosionsschutz)

**IVSS** Sektion Maschinensicherheit  
Arbeitskreis «Staubexplosionen»

Staubexplosionsschutz an Maschinen und Apparaten

- Vorbeugende und konstruktive Schutzmaßnahmen (dt./engl./fr./span.) (1987)
- Beispielsammlung (dt./engl./fr.) (1990)

Explosionsunterdrückung (dt./engl./fr.)  
(1990)

Bestimmen der Brenn- und Explosionskenngößen von Stäuben (dt./engl./fr.)  
(1995)

Bestelladresse: IVSS Sektion Maschinensicherheit  
Dynamostr. 7-11  
D-68165 Mannheim  
Deutschland

**IVSS** Sektion für die chemische Industrie  
Arbeitsgruppe «Explosionsschutz»

Liste der Vorschriften über Explosionsschutz (dt.)  
(1987)

Schutz vor Staubexplosionen (dt./engl./fr./it./span.) (1987)

Schutz vor Explosionen durch brennbare Gase, Dämpfe oder Nebel im Gemisch mit Luft  
(dt./engl./fr./it.)  
(1988)

Dokumentation Flüssiggas (dt.)  
(1988)

Sicherheit von Flüssiggasanlagen - Propan und Butan (dt./engl./fr./it./span.)  
(1992)

Statische Elektrizität - Zündgefahren und Schutzmassnahmen (dt./engl./fr./it.)  
(1995)

Bestelladresse: IVSS Sektion Chemie  
Postfach 10 14 80  
D-69004 Heidelberg  
Deutschland

## Notizen





## DIE IVSS UND DIE VERHÜTUNG VON ARBEITSUNFÄLLEN UND BERUFSKRANKHEITEN

Der Ständige Fachausschuß der IVSS für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten bringt Arbeitsschutzspezialisten aus aller Welt zusammen. Er fördert das internationale Vorgehen in diesem Bereich und unternimmt Sonderstudien über Themen wie die Rolle von Presse, Rundfunk und Fernsehen im Arbeitsschutz und integrierte Sicherheitsstrategien für den Arbeitsplatz, den Straßenverkehr und den häuslichen Bereich. Er koordiniert ferner die Tätigkeiten der acht Internationalen Sektionen für die Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten, die in verschiedenen Industrien und in der Wirtschaft tätig sind und ihre Sekretariate in verschiedenen Ländern haben. Drei weitere Sektionen befassen sich mit Informationstechniken im Bereich des Arbeitsschutzes, der einschlägigen Forschung und der Erziehung und Ausbildung zur Verhütung von Arbeitsunfällen und Berufskrankheiten.

Die Tätigkeiten der internationalen Sektionen der IVSS bestehen aus

- dem Austausch von Informationen zwischen den an der Verhütung von Berufsgefahren interessierten Gremien,
- der Organisation der Tagungen von Fachausschüssen und Arbeitsgruppen, Rundtischgesprächen und Kolloquien auf internationaler Ebene,
- der Durchführung von Erhebungen und Untersuchungen,
- der Förderung der Forschungsarbeit
- der Veröffentlichung einschlägiger Informationen.

Weitere Informationen über diese Tätigkeiten und die allgemeine Arbeit der IVSS auf dem Gebiet des Arbeitsschutzes finden Sie in dem Faltblatt „Sicherheit Weltweit“. Es ist in deutscher, englischer, französischer und spanischer Fassung beim Generalsekretariat der IVSS erhältlich.

## DIE MITGLIEDER DER INTERNATIONALEN SEKTIONEN

Jede internationale Sektion der IVSS hat drei Kategorien von Mitgliedern:

- Vollmitglied:  
Vollmitglieder und assoziierte Mitglieder der IVSS, Genf, und andere Organisationen ohne Gewinnstreben können die Aufnahme als Vollmitglied beantragen.
- Assoziiertes Mitglied:  
Andere Organisationen und gewerbliche Unternehmen können assoziierte Mitglieder einer Sektion werden, wenn sie über Sachkenntnisse im Aufgabenbereich der Sektion verfügen.
- Korrespondent:  
Individuelle Experten können korrespondierende Mitglieder einer Sektion werden.

Weitere Informationen und Aufnahmeformulare sind direkt beim Sekretariat der einzelnen Sektionen erhältlich.



**MINDESTENS EINE DIESER ARBEITSSCHUTZSEKTIONEN DER IVSS  
ENTSPRICHT AUCH IHREM EIGENEN FACHBEREICH: ZÖGERN SIE NICHT,  
MIT IHR KONTAKT AUFZUNEHMEN**



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für die LANDWIRTSCHAFT  
Bundesverband der landwirtschaftlichen  
Berufsgenossenschaften  
Weissensteinstrasse 72  
D-34131 KASSEL-WILHEIMSHÖHE  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für MASCHINENSICHERHEIT  
Berufsgenossenschaft Nahrungsmittel und  
Gaststätten  
Dynamostr. 7-11  
D-68165 MANNHEIM  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für die CHEMISCHE INDUSTRIE  
Berufsgenossenschaft  
der chemischen Industrie  
Kurfürsten Anlage 62  
D-69115 HEIDELBERG  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für den BERGBAU  
OKD - Rozvoj a projektování  
(Steinkohlegruben von Ostrava - Karviná  
Entwicklung und Projektierung)  
Havlickovo nábr. 38  
CS-730 16 OSTRAVA 1  
Tschechoslowakei



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für den HOCH- UND TIEFBAU  
Organisme professionnel de prévention du  
bâtiment et des travaux publics (OPPBT)  
Tour Amboise  
204, Rond-Point du Pont-de-Sèvres  
F-92516 BOULOGNE-BILLANCOURT  
Frankreich



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS für  
FORSCHUNG  
Institut National de Recherche et de Sécurité  
(INRS)  
30, rue Olivier - Noyer  
F-75680 PARIS CEDEX 14  
Frankreich



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für ELEKTRIZITÄT  
Berufsgenossenschaft der Feinmechanik und  
Elektrotechnik  
Gustav Heinemann Ufer 130  
D-50968 KÖLN  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für ERZIEHUNG und AUSBILDUNG  
Caisse Régionale d'Assurance Maladie  
d'Île de France  
17-19, Place de l'Argonne  
F - 75019 Paris  
Frankreich



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für INFORMATION  
Association nationale pour la prévention  
des accidents du travail (ANPAT)  
88, rue Gachard, Boîte 4  
B-1050 BRUXELLES  
Belgien



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS  
für das GESUNDHEITSWESEN  
Berufsgenossenschaft für  
Gesundheitsdienst und Wohlfahrtspflege  
Pappelallee 35-37  
D-22089 Hamburg  
Deutschland



INTERNATIONALE SEKTION DER IVSS für  
die EISEN UND METALLINDUSTRIE  
Allgemeine Unfallversicherungsanstalt  
Adalbert-Stifter-Strasse 65  
A-1200 WIEN XX  
Österreich



ARBEITSGRUPPE DER IVSS  
für PERSÖNLICHE SCHUTZAUSRÜSTUNG  
Centro Nacional de Medios de Protección  
del INSHT  
Apdo. Correos 615  
E-41080 SEVILLA  
Spanien