



**REMBE® Research+Technology Center GmbH**

Zur Heide 39, D-59929 Brilon, Deutschland

[www.rembe-rtc.de](http://www.rembe-rtc.de) [info@rembe-rtc.de](mailto:info@rembe-rtc.de)

**Cesana AG**

Baiergasse 56, CH-4126 Bettingen, Schweiz

[www.cesana-ag.ch](http://www.cesana-ag.ch) [info@cesana-ag.ch](mailto:info@cesana-ag.ch)

Autoren: Christoph Cesana, Richard Siwek

|  |    |
|--|----|
| 1. Grundlagen .....  | 3  |
| 1.1 Anwendungsmöglichkeiten der 20-l-Apparatur .....                                       | 3  |
| 1.2 Bestimmung der Explosionskenngrößen .....  | 4  |
| 1.3 Druckverlauf: Definitionen .....   | 5  |
| 1.4 Druckverlauf: Auswertung .....   | 6  |
| 1.5 Einflussgrößen .....   | 7  |
| 1.6 Zündart und Zündenergie .....  | 10 |
| 2. Apparatur .....   | 13 |
| 2.1 20-l-Kugel .....   | 13 |
| 2.2 Steuereinheit KSEP 310 .....   | 15 |
| 2.3 Mess- und Steuereinheit KSEP 332 .....   | 16 |
| 2.4 Druckmessenrichtung .....  | 17 |
| 3. Software .....  | 18 |
| 3.1 Installation .....   | 18 |
| 3.2 Konfiguration .....  | 18 |
| 3.3 Bedienung .....  | 21 |
| 4. Kalibrierung .....  | 31 |
| 4.1 Kontrollversuch .....  | 31 |
| 4.2 Explosionskenngrößen .....   | 35 |
| 4.3 Versuchsdurchführung beim 1m <sup>3</sup> - Behälter .....                             | 43 |
| 5. Prüfverfahren für Stäube .....  | 44 |
| 5.1 Allgemeine Regeln .....  | 44 |
| 5.2 Staub - Kenngrößen: P <sub>max</sub> , (dP/dt) <sub>max</sub> , K <sub>max</sub> ..... | 45 |
| 5.3 Staub - Untere Explosionsgrenze (UEG) .....  | 47 |
| 5.4 Staub - Explosionsfähigkeit .....  | 48 |
| 5.5 Staub - Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK) .....                                       | 49 |
| 6. Prüfverfahren für Gase und Lösungsmitteldämpfe (ruhend) .....                           | 52 |
| 6.1 Allgemeine Regeln .....  | 52 |
| 6.2 Gas - Kenngrößen: P <sub>max</sub> , (dP/dt) <sub>max</sub> , K <sub>max</sub> .....   | 53 |
| 6.3 Gas - Untere Explosionsgrenze (UEG) .....  | 54 |
| 6.4 Gas - Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK) .....   | 55 |
| 7. Prüfverfahren für Hybride Gemische .....  | 56 |
| 7.1 Kenngrößen: P <sub>max</sub> , (dP/dt) <sub>max</sub> , K <sub>max</sub> .....         | 56 |
| 8. Literatur .....   | 57 |

## Sicherheitshinweise



Bitte lesen Sie diesen Hinweis !



Frage - Antwort



Achtung: Zuerst die Sicherheitshinweise lesen !

## 1. Grundlagen

### 1.1 Anwendungsmöglichkeiten der 20-I-Apparatur

---

#### 1.1.1 Brennbare Stäube

---

Aufgrund von Abkühleffekten und Druckäusserungen der chemischen Zünder muss der in der 20-I-Apparatur gemessene Explosionsüberdruck korrigiert werden, um Übereinstimmung mit dem 1m<sup>3</sup> Normbehälter zu erreichen. Diese Korrektur erfolgt automatisch.

Die aus den Werten für den maximalen zeitlichen Druckanstieg errechneten K<sub>max</sub>-Werte, stimmen in beiden Apparaturen, im Rahmen der Messgenauigkeit, bis hinauf zu den Aluminiumstäuben (K<sub>max</sub> > 700 m·bar/s) überein.

#### 1.1.2 Brennbare Gase und Lösungsmitteldämpfe

---

Da das Mindestvolumen für Messungen von Gas- bzw. Lösungsmitteldampf-Luftexplosionen V = 1 Liter beträgt, erlaubt die 20-I-Apparatur auch deren Explosionskenngrossenbestimmung.

#### 1.1.3 Hybride Gemische

---

Bei den "Hybriden Gemischen" handelt es sich um Staub/Luft - Gemische in Gegenwart von Brenngasen bzw. Dämpfen in der Verbrennungsatmosphäre. Es sind also Gemische von zweierlei Herkunft. Die Untersuchungen der Explosionskenngrossen, die das Explosions- und Zündverhalten solcher "Hybrider Gemische" beschreiben, können mit hinreichender Genauigkeit auch in der 20-I-Apparatur bestimmt werden, wenn zum Vergleich die Messergebnisse des Standard 1m<sup>3</sup>-Behälters zugrunde gelegt werden

## 1.2 Bestimmung der Explosionskenngrößen

Der Explosionsüberdruck  $P_m$  und der zeitliche Druckanstieg  $(dP/dt)_m$  beschreiben die Heftigkeit, mit der Staub-/Luft-Gemische beliebiger Konzentration in geschlossenen Behältern im Falle einer Zündung reagieren. Der maximale Explosionsdruck  $P_{max}$  und der maximale zeitliche Druckanstieg  $(dP/dt)_{max}$  brennbarer Stäube werden in der geschlossenen 20-I-Apparatur aus Versuchen über einen breiten Konzentrationsbereich, mittels einer gegebenen Zündquelle, experimentell bestimmt:

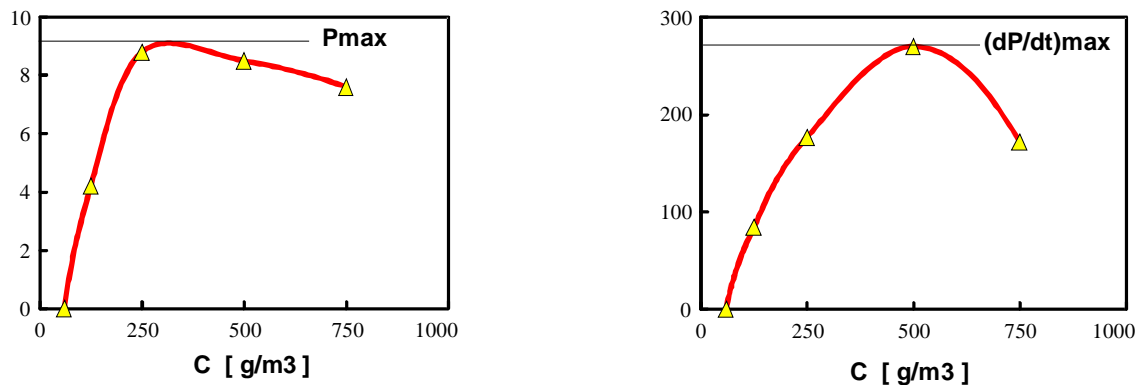


Bild 1.2: Explosionskenngrößen in Abhängigkeit der Staubkonzentration

Durch diese Versuchssystematik kann für einen vorgegebenen Staub zusätzlich die untere Explosionsgrenze UEG bestimmt werden. Die untere Explosionsgrenze ist für die Abschätzung des Sicherheitsrisikos in der chemischen Industrie von Bedeutung.

Der maximale Explosionsdruck  $P_{max}$  ist in geschlossenen, der Kugelform angenäherten Behältern von hinreichender Grösse ( $V \geq 20$  l) bei Anordnung der Zündquelle in Raummitte praktisch unabhängig vom Volumen.

Der maximale zeitliche Druckanstieg  $(dP/dt)_{max}$  ist dagegen volumenabhängig. Er nimmt mit steigendem Volumen ab. Wobei der  $K_{max}$ -Wert eine Staub- und Prüfverfahrensspezifische Kenngrösse und unabhängig vom Behältervolumen ist.

Für die 20-I-Kugel gilt:

$$0.02 \text{ [m}^3\text{]}^{1/3} \times (dP/dt)_{max} \text{ [bar/s]} = K_{max} \text{ [m} \cdot \text{bar/s]}$$

Bei der Vielzahl der in der Industrie produzierten und verarbeiteten Stäuben ist es sinnvoll, die staubspezifische Kenngrösse in Staubexplosionsklassen einzuordnen und sie für die Dimensionierung der Sicherheitsmassnahmen zu Grunde zu legen:

| Staubexplosionsklasse | $K_{max}$ [m•bar/s] |
|-----------------------|---------------------|
| St 1                  | > 0 - 200           |
| St 2                  | 201 - 300           |
| St 3                  | > 300               |

### 1.3 Druckverlauf: Definitionen

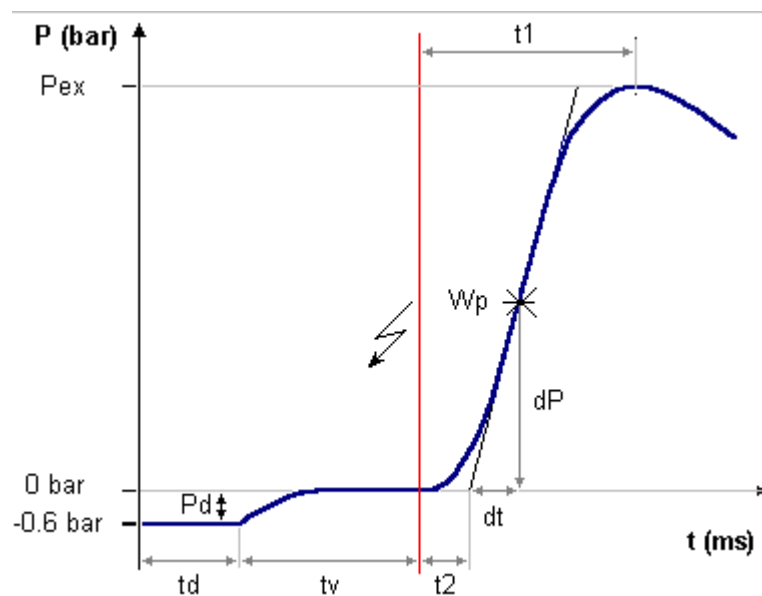


Bild 1.3: Druck-Zeit-Diagramm einer Brennstoffexplosion

|                              |  |
|------------------------------|--|
| <b>Pex</b>                   | <b>Explosionsüberdruck:</b> Die Druckdifferenz zwischen dem Druck zum Zündzeitpunkt = Normaldruck und dem Kulminationspunkt ergibt den maximalen Explosionsdruck Pex.  |
| <b>Pm</b>                    | <b>korrigierter Explosionsüberdruck:</b> Aufgrund von Abkühleffekten und Druckäusserungen der chemischen Zünder in der 20-I-Apparatur wird der gemessene Explosionsüberdruck Pex korrigiert, um Übereinstimmung mit dem 1m <sup>3</sup> Normbehälter zu erreichen. |
| <b>Pmax</b>                  | <b>Maximaler Wert von Pm,</b> bestimmt über einen breiten Bereich von Brennstoffkonzentrationen.   |
| <b>(dP/dt)m</b>              | <b>maximaler zeitlicher Druckanstieg</b> = maximale Steigung der Tangente im Wendepunkt Wp des aufsteigenden Astes der Druck/Zeit Kurve  |
| <b>(dP/dt)<sub>max</sub></b> | <b>maximaler Wert von (dP/dt)m,</b> bestimmt über einen breiten Bereich von Brennstoffkonzentrationen.   |
| <b>Kmax</b>                  | <b>Produkt spezifische Konstante</b> = 0.27144 x (dP/dt) <sub>max</sub> .  |
| <b>t1</b>                    | <b>Verbrennungsdauer:</b> Zeitdifferenz zwischen dem Aktivieren der Zündquelle und dem Punkt mit dem höchsten Explosionsüberdruck (Pex).   |
| <b>t2</b>                    | <b>Induktionszeit:</b> Zeitdifferenz zwischen dem Aktivieren der Zündquelle und dem Schnittpunkt der Wendetangente mit der 0 bar Linie.  |
| <b>Pd</b>                    | <b>Expansionsdruck der Staubvorratsbehälterluft:</b> Ermittelt aus der Differenz zwischen Vorvakuum und Normaldruck. Der Nennwert beträgt 0,6 bar (zulässig: 0,55...0,7 bar).  |
| <b>td</b>                    | <b>Zeitverzögerung des Auslassventils</b> = zeitliche Differenz zwischen der elektrischen Erregung des Auslassventils und dem ersten Druckanstieg in der Apparatur.  |
| <b>tv</b>                    | <b>Zündverzögerungszeit:</b> tv ist ein indirektes Mass für die Turbulenz und somit die wichtigste Kontrollgrösse.   |

## 1.4 Druckverlauf: Auswertung

### 1.4.1 Korrektur des Explosionsdruckes bei $P_{ex} > 5.5$ bar

Bedingt durch das ungünstigere Verhältnis zwischen Oberfläche und Volumen bei der 20-l-Apparatur, ist der Explosionsdruck etwas geringer als im 1m<sup>3</sup>-Normbehälter. Die Ursache dafür ist in Abkühleffekten zu suchen. Der Vergleich von Druck/Zeit-Aufzeichnungen zeigt auch bei der 20-l-Apparatur einen wesentlich steileren Druckabfall nach dem Maximalwert als beim 1m<sup>3</sup>-Normbehälter. Die Korrektur wird entsprechend der folgenden Gleichung vorgenommen:

$$P_m = 0.775 \cdot P_{ex}^{1.15}$$

Mit Hilfe dieser Korrektur entspricht der Druck  $P_m$  in der 20-l-Apparatur demjenigen des 1m<sup>3</sup> Normbehälters.

### 1.4.2 Korrektur des Explosionsdruckes bei $P_{ex} < 5.5$ bar

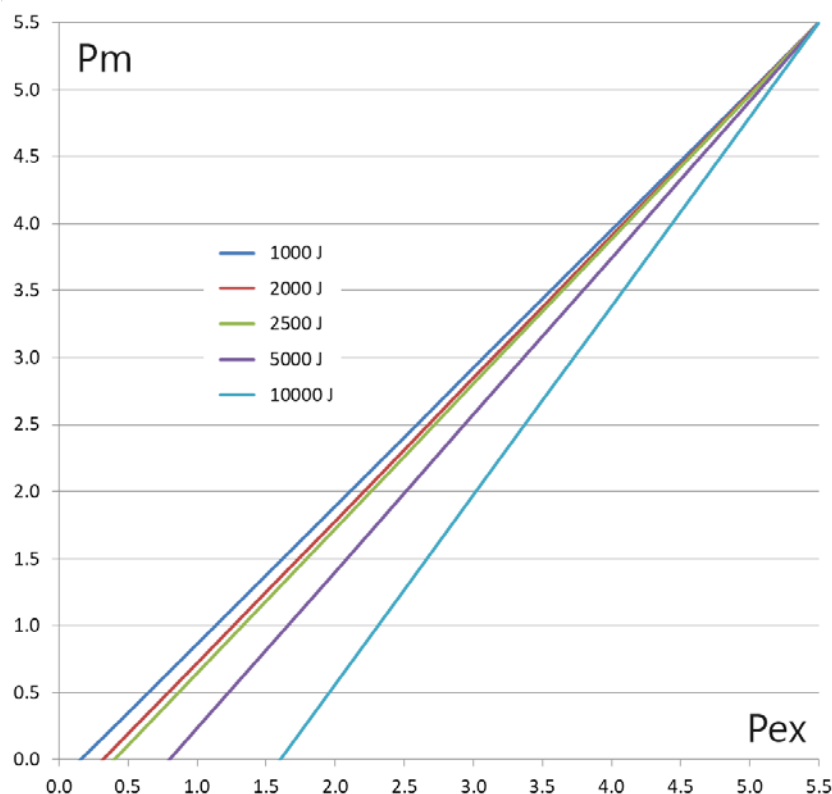
Unterhalb von 5,5 bar muss, bedingt durch das geringe Behältervolumen, die Druckäusserung der chemischen Zünder berücksichtigt werden. Ein Leerversuch, d.h. Explosion der chemischen Zünder ohne Brennstoff, ergibt bei  $ZE = 10'000$  J einen Überdruck von ungefähr 1 bar. Bei Brennstoffexplosionen wird jedoch mit wachsendem  $P_{ex}$  der Einfluss der Zünder durch die Druckäusserung der Explosion selbst verdrängt. Diese Korrektur wird wie folgt berechnet:

$$P_m = 5.5 \cdot (P_{ex} - P_{ci}) / (5.5 - P_{ci}) \text{ bar}$$

wobei

$$\begin{aligned} P_{ci} &= \text{Druckäusserung der chemischen Zünder} \\ &= 1.6 \text{ bar} \cdot ZE / 10'000 \end{aligned}$$

Für die Entscheidung „Zündung / keine Zündung“ bei UEG und SGK mit 2 x 1000 J (EN 14034-3,4) und 1 x 2500 J (ASTM), stimmt der Faktor 1.6 mit den Messungen gut überein.



## 1.5 Einflussgrößen

### 1.5.1 Turbulenz

Die Turbulenz hängt im Wesentlichen von der Zündverzögerungszeit  $t_v$  ab, d.h. der Zeit zwischen dem Beginn der Staubeinblasung und der Aktivierung der Zündquelle. Hiervon ist besonders der maximale zeitliche Druckanstieg bzw. der  $K_{max}$ -Wert betroffen. Für die Staubexplosionsprüfung wurde deshalb eine konstante Zündverzögerungszeit festgelegt:

20-I-Apparatur:  $t_v = 60 \text{ ms}$   
 1m<sup>3</sup> Behälter:  $t_v = 0.6 \text{ s}$

Eine Erhöhung der Turbulenz ( $t_v < 0.6 \text{ s}$  bzw.  $t_v < 60 \text{ ms}$ ) hat in der Regel eine Verstärkung, eine Erniedrigung der Turbulenz eine Abschwächung der Explosionsheftigkeit zur Folge.

### 1.5.2 Kornfeinheit

Einen wesentlichen Einfluss übt die Korngrößenverteilung auf die Explosionskenngrößen aus. Charakterisiert wird diese durch den Medianwert  $M$ . Unter dem Medianwert versteht man den 50%-Wert der Summenverteilungskurve.

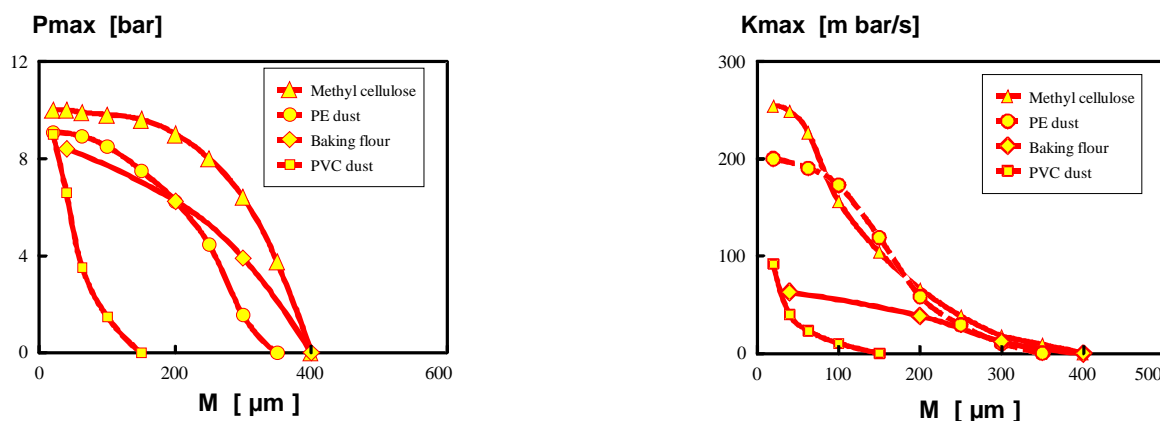


Bild 1.5.2: Einfluss des Medianwertes auf die Explosionskenngrößen

Wie Bild 1.5.2 zeigt reagieren feine Stäube heftiger als Grobe. Daraus ergibt sich die Forderung für die Prüfpraxis, die Bestimmung der Explosionskenngrößen nur mit solchen Stäuben durchzuführen, deren Medianwert  $M \leq 63 \mu\text{m}$  ist, um Optimalwerte zu erhalten.

Es ist auch bekannt, dass in der 20-I-Apparatur, bedingt durch die Staubverteilungsdüse und das Auslassventil, ein Mahleffekt auftreten kann. Im Zweifelsfall kann dies durch Korngrößenanalyse des Staubes nach seiner Zerstäubung in der 20-I-Kugel ohne Entzündung verifiziert werden.

### 1.5.3 Produktfeuchte

Die relative Produktfeuchte  $F$ , das ist das Gewichtsverhältnis des vorhandenen Wassers zur atrop-Substanz (atro = absolut trocken) ist eine weitere Einflussgrösse.

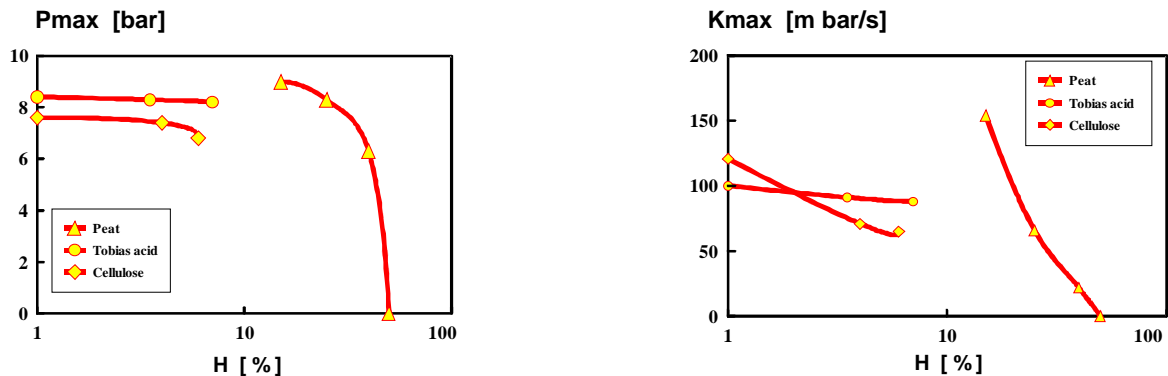


Bild 1.5.3: Einfluss der Produktfeuchte auf die Explosionskenngrössen

Oft war die Meinung vertreten, dass wasserhaltige Produkte mit einem Feuchtegehalt von einigen Prozenten keine explosionsfähigen Staub/Luft-Gemische bilden können. Bild 1.5.3 widerlegt diese Annahme. Es scheint sich abzuzeichnen, dass hierfür eine Produktfeuchte von mindestens 50% erforderlich ist. Wie aus Bild 1.5.3 ersichtlich ist, sollte die Produktfeuchte **unterhalb von 10%** liegen, um sicherzustellen, dass die Explosionskenngrössen durch Feuchte nicht wesentlich beeinflusst werden.

### 1.5.4 Temperatur

Die Temperatur ist für die Industriepraxis eine äusserst wichtige Einflussgrösse. Eine Temperaturerhöhung vermindert den Wert für die untere Explosionsgrenze, und zwar um so stärker, je höhere Grenzwerte bei Raumtemperatur gefunden wurden. Zu beachten ist ferner der Temperatureinfluss auf die Kenngrösse  $P_{max}$ :

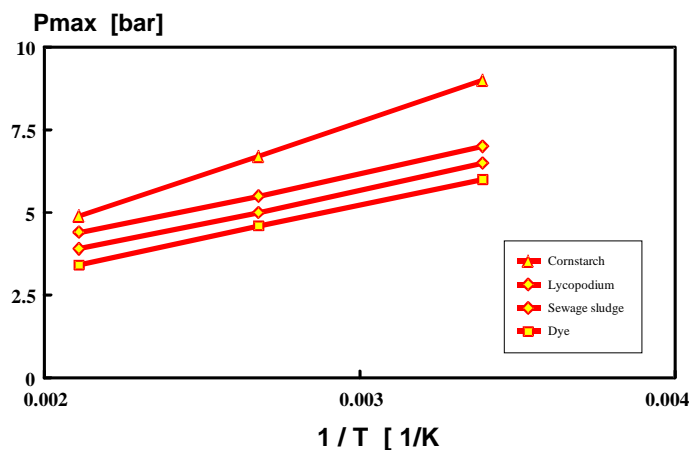


Bild 1.5.4: Einfluss der Temperatur auf  $P_{max}$



Wie Bild 1.5.4 zeigt, vermindert sich der maximale Explosionsdruck praktisch linear mit zunehmender Temperatur. Ursache ist hierfür der verminderte Sauerstoffgehalt. Auch der  $K_{max}$ -Wert unterliegt dem Temperatureinfluss. Bei heftiger reagierenden Stäuben hat die Temperaturerhöhung in der Regel eine lineare Abnahme, bei den schwächer reagierenden Stäuben dagegen eine Zunahme der  $K_{max}$ -Werte zur Folge. Für die Praxis kann der Einfluss der Temperatur auf den  $K_{max}$ -Wert vernachlässigt werden.

#### Berechnungen für den Temperatureinfluss in *"Tools / Calculator"*

|   |               |     |     |
|---|---------------|-----|-----|
| <input checked="" type="radio"/> Pmax: influence of temperature T | Pmax at 20°C  | 8.2 | bar |
| <input type="radio"/> Pmax: influence of initial pressure Pi      | Temperature T | 50  | °C  |
| <input type="radio"/> Kmax: influence of initial pressure Pi      | Pmax at T     | 7.5 | bar |

### 1.5.5 Vordruck

Die Explosionskenngrößen  $P_{max}$  und  $K_{max}$  werden vom Vordruck  $P_i$ , dem Ausgangsdruck zum Zeitpunkt der Entzündung, proportional beeinflusst. Es besteht eine lineare Abhängigkeit bis zu einem Vordruck von ca. 3 bar.

#### Berechnungen für den Vordruck in *"Tools / Calculator"*

|   |                    |       |           |
|---|--------------------|-------|-----------|
| <input type="radio"/> Pmax: influence of temperature T                  | $K_{max}$ at $P_0$ | 280   | m · bar/s |
| <input type="radio"/> Pmax: influence of initial pressure Pi            | $P_0$              | 1013  | mbar,abs  |
| <input type="radio"/> Kmax: influence of initial pressure Pi            | $P_i$              | 990   | mbar,abs  |
| <input checked="" type="radio"/> Kmax: influence of initial pressure Pi | $K_{max}$ at $P_i$ | 273.6 | m · bar/s |

## 1.6 Zündart und Zündenergie

Aus den zahlreichen Ergebnissen, die in dem 1m<sup>3</sup>-Behälter und in der 20-I-Apparatur für die minimale Mindestzündenergie erhalten wurden, zeigte sich, dass man die Stäube in 2 Gruppen einteilen kann, wenn der Einfluss der Zündart und der Zündenergie auf die Explosionskenngrößen zugrunde gelegt wird.

### 1.6.1 Zündenergie unabhängige Stäube

Wie Bild 1.6.1 zeigt, sind die gemessenen Explosionskenngrößen im Rahmen der Messgenauigkeit unabhängig von der angewendeten Zündart und Zündenergie (chemische Zünder für  $E = 250 \dots 10'000$  J und Kondensatorentladungsfunken für  $E > MZE \dots 100$  J).

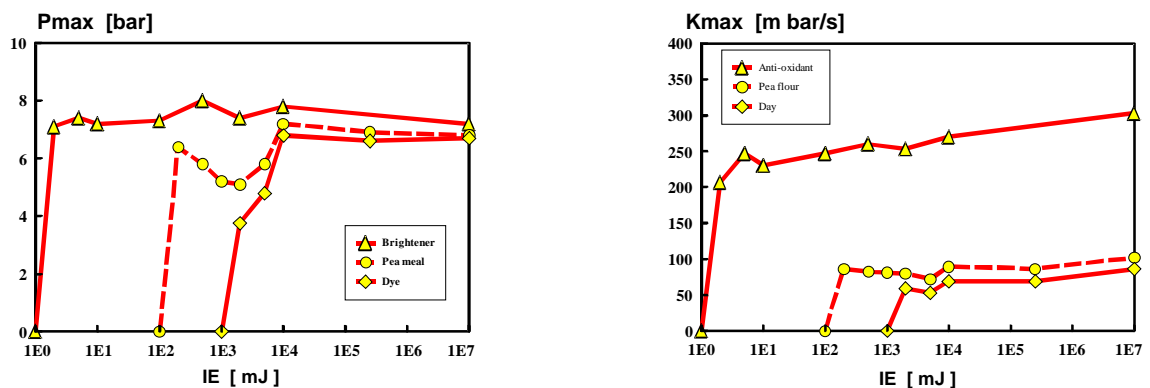


Bild 1.6.1: Definition der Energie **unabhängigen** Stäube

Hieraus ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass es für den Explosionsablauf dieser Energie unabhängigen Stäube also gleichgültig ist, welche der beiden oben genannten Zündarten verwendet wird. Schwache Kondensatorentladungen oder sehr kräftige chemische Zünder, wie bei der Staubprüfung vorgeschrieben, ergeben die gleichen Resultate.

Diese Stäube haben im Allgemeinen eine Mindestzündenergie von weniger als 1 J.

### 1.6.2 Zündenergie abhängige Stäube

Bei diesen Stäuben bewirkt eine Abnahme der Zündenergie eine lineare Verminderung des  $K_{max}$ -Wertes.

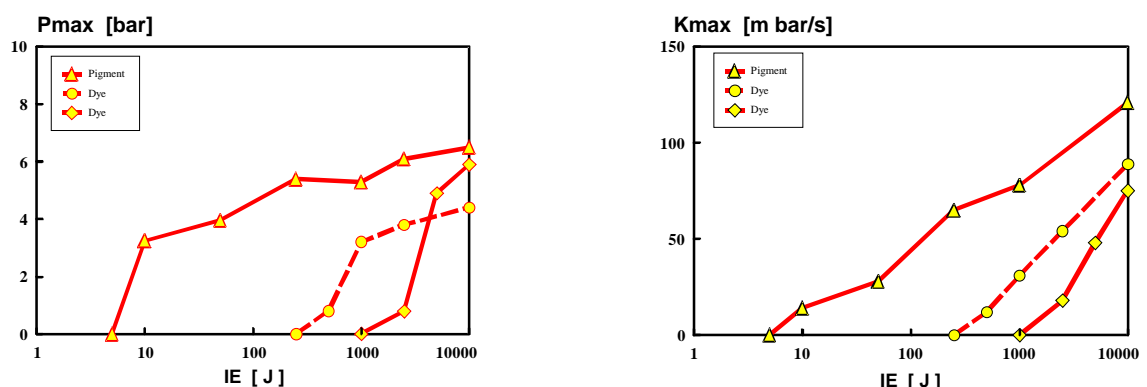


Bild 1.6.2: Definition der Energie **abhängigen** Stäube

Der Explosionsdruck bleibt von dieser Einflussnahme praktisch unberührt. Es ist lediglich bei einzelnen Produkten eine abnehmende Tendenz feststellbar.

Solchen Stäuben ist eine Mindestzündenergie von mehr als 1 J zuzuordnen.

### 1.6.3 Chemische Zünder

Die Explosionskenngrößen müssen mit einer Zündquelle von ausreichender Energie bestimmt werden. Zur Zeit steht in der Praxis nur eine Zündart für die gesicherte Kenngrößenbestimmung ( $P_{max}$ ,  $K_{max}$ ) brennbarer Stäube zur Verfügung:

2 chemische Zünder mit je **5000 J** und einer Gesamtenergie von **E = 10'000 J**

Für die Bestimmung der unteren Explosionsgrenze UEG und der Sauerstoffgrenzkonzentration SGK von brennbaren Stäuben sind zu verwenden:

EN 14034-3, 4: 2 Zünder mit je **1000 J** und einer Gesamtenergie von **E = 2000 J**

ASTM E1515, E2931: 1 Zünder mit **E = 2500 J** oder mit **E = 5000 J**

Es sei ausdrücklich betont, dass die Anwendung der entsprechenden Zündquelle für die Staubuntersuchungen nicht nur von grosser Wichtigkeit ist, um einerseits die in den verschiedenen Laboratorien ermittelten Explosionskenngrößen untereinander vergleichen zu können, sondern um andererseits auch die Dimensionierung von Schutzmassnahmen eindeutig vornehmen zu können.



Für die sichere Handhabung der chemischen Zünder muss unbedingt eine Schutzbrille getragen werden.



Falls Pulver an der Oberfläche der Zünder oder in der Verpackung sichtbar ist, besteht die Gefahr einer Entzündung durch elektrostatische Entladungen. Dies muss z.B. durch Erdung des Bedieners verhindert werden.



Die chemischen Zünder müssen sicher, kühl und trocken gelagert werden. Ferner sind die Nationalen Sicherheitsvorschriften zu beachten.

**Hersteller:**

Fr. Sobbe GmbH  
Beylingstr 59  
**D-44329 Dortmund**  
Deutschland  
Tel: +49 231 230 560  
info@sobbe-zuender.de  
[www.sobbe-zuender.de](http://www.sobbe-zuender.de)

**Hersteller:**

Simex Control s.r.o.  
Ul. 4. května 175  
**Vsetín 755 01 CZ**  
Czech republic  
Tel: +42 0571 498 711  
sale@simexcontrol.cz

**Vertrieb für USA und Kanada:**

Cesana Corporation  
P.O. Box 182  
**Verona, NY 13478**  
U.S.A.  
Tel: +1 315 337 9181  
office@cesanacorp.com

#### 1.6.4 Kondensatorentladung

---

Es sei darauf hingewiesen, dass mit chemischen Zündern der gleiche zeitliche Druckverlauf einer Staubexplosion erhalten wird wie mit einer Kondensatorentladung als Zündquelle, sofern deren Energie oberhalb der Mindestzündenergie liegt.

Ausgenommen sind natürlich die schwer entzündlichen Produkte deren  $K_{max}$ -Wert abhängig von der Zündenergie ist.

#### 1.6.5 Dauerfunkenstrecke

---

Wird an Stelle der chemischen Zünder eine Dauerfunkenstrecke mit einer Energie von  $E = 10J$  angewendet, dann können vor allem die  $K_{max}$ -Werte bis zu 60 % niedriger liegen als diejenigen, die bei Anwendungen der bereits erwähnten anderen Zündarten gemessen werden.

Die Dauerfunkenstrecke unterschätzt also wesentlich den effektiven Explosionsablauf und darf deshalb nicht für die Kenngrößenbestimmung brennbarer Stäube angewendet werden.

#### 1.6.6 Glühwendel

---

Zahlreiche Vergleichsversuche zwischen den Zündquellen chemische Zünder und Glühwendel ergaben keine Übereinstimmung.

Die meisten mit der Glühwendel bestimmten Stäube wurden als nicht explosionsfähig bestimmt, oder aber die Explosionsheftigkeit wurde unterschätzt. Die Glühwendel ist somit als Zündquelle für die Kenngrößenbestimmung und zum eindeutigen Erfassen der Explosionsfähigkeit von Stäuben ungeeignet.

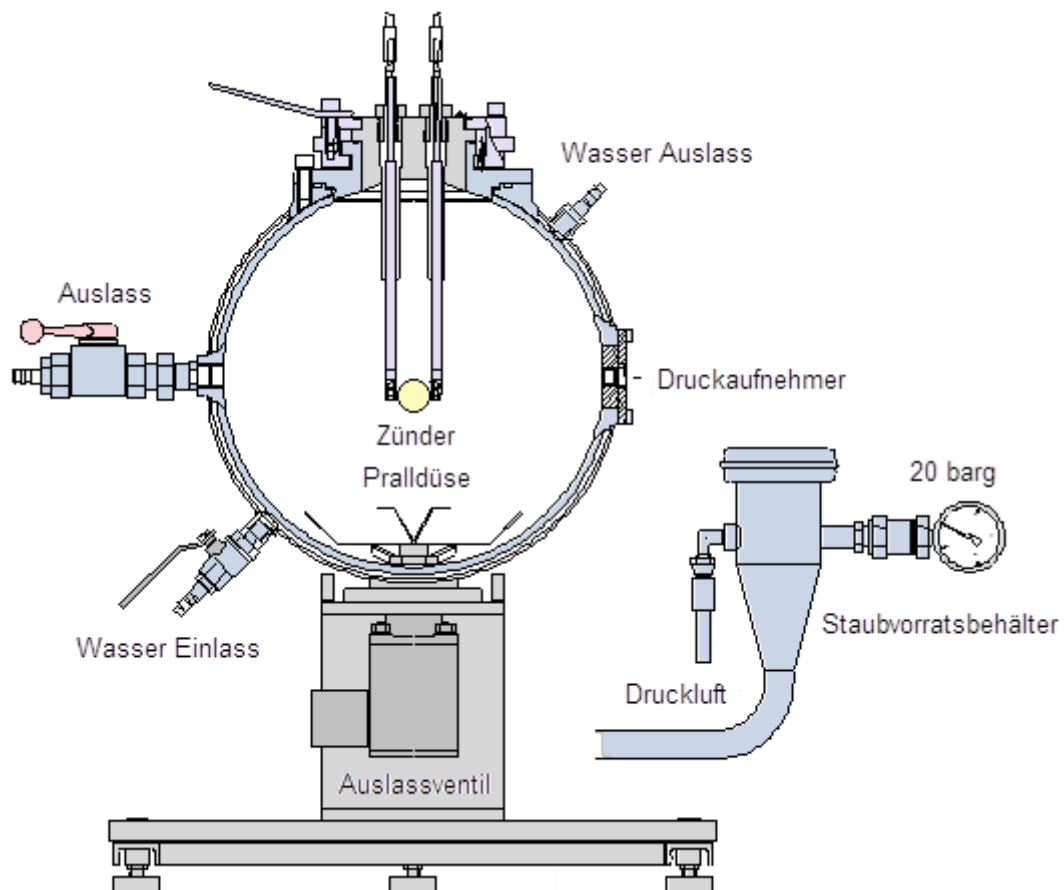
## 2. Apparatur

### 2.1 20-I-Kugel

Die Prüfkammer ist eine Hohlkugel aus rostfreiem Stahl mit einem Inhalt von 20 Liter. Ein zusätzlicher Wassermantel führt die Explosionswärme ab oder erlaubt eine Thermostatisierung bei unterschiedlichen Temperaturen.

Beim Prüfablauf wird der Staub aus dem unter Druck stehenden Staubvorratsbehälter über das Auslassventil und die Staubverteilungsdüse in der Kugel verteilt. Das Auslassventil wird dazu elektrisch betätigt und über einen Hilfskolben mit Druckluft geöffnet und wieder geschlossen.

Die Zündquelle ist in der Mitte der Kugel angeordnet. Am seitlichen Messflansch sind die beiden Piezodruckaufnehmer eingebaut. Der vordere Flansch kann für weitere Messgeber verwendet oder durch ein Sichtfenster ersetzt werden.





Für die Reinigung wird die Kugel oben durch Drehen des Bajonettverschlussringes geöffnet. Die nun frei werdende Arbeitsöffnung beträgt 94 mm. Diese kann durch Abschrauben des dazugehörigen Flansches noch auf 140 mm vergrößert werden. Ein Sicherheitsschalter überwacht die korrekte Schliessung des Bajonetttrings.



Üblicherweise werden die 20-l-Kugel und die Steuereinheit KSEP 310 in einer ventilierten Laborkapelle aufgestellt. Die anderen Geräte können ausserhalb sein.



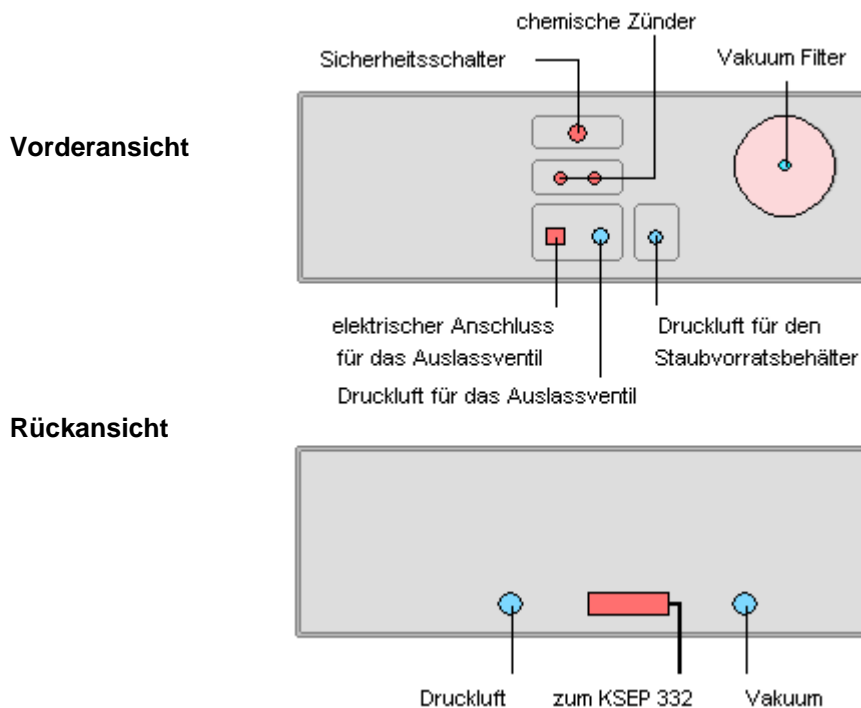
Bedingt durch die hohe Versuchsfrequenz muss die Explosionskugel mittels Wasserkühlung auf der Betriebstemperatur von ca. 20°C gehalten werden. Eine Thermostatisierung des Kühlwassers ist nicht notwendig, sofern darauf geachtet wird, dass das Wasser immer schwach fliesst und die Austrittstemperatur des Kühlmediums eine Temperatur von 25°C nicht überschreitet.



Nach einer Prüfung wird die Kugel über den Entlüftungshahn (Auslass) entlastet. Es muss mit glühenden Partikeln gerechnet werden. Bei einer direkten Ableitung in die Ventilation der Kapelle kann Brandgefahr entstehen.

## 2.2 Steuereinheit KSEP 310

Die Steuereinheit KSEP 310 ist als Hilfsbaugruppe der Kugel direkt hinter dieser auf der gleichen Grundplatte angeordnet.



### Druckluft:

Die Druckluft wirkt einerseits als Steuerluft für das Auslassventil und wird andererseits über das Einlassventil zum Staubvorratsbehälter geführt. Der Druck im Staubvorratsbehälter entspricht also direkt demjenigen des externen Druckluftanschlusses (Nennwert = **20 bar Überdruck = 21 bar absolut**).

Der Druckluftanschluss muss einen ausreichenden Querschnitt aufweisen, um den Staubvorratsbehälter ( $V = 0.6 \text{ l}$ ) innerhalb von 5 Sekunden zu füllen.



Es darf nur normale Kompressor-Druckluft aus Druckflaschen verwendet werden. Mit synthetische Druckluft werden stark abweichende Explosionskenngößen gemessen.

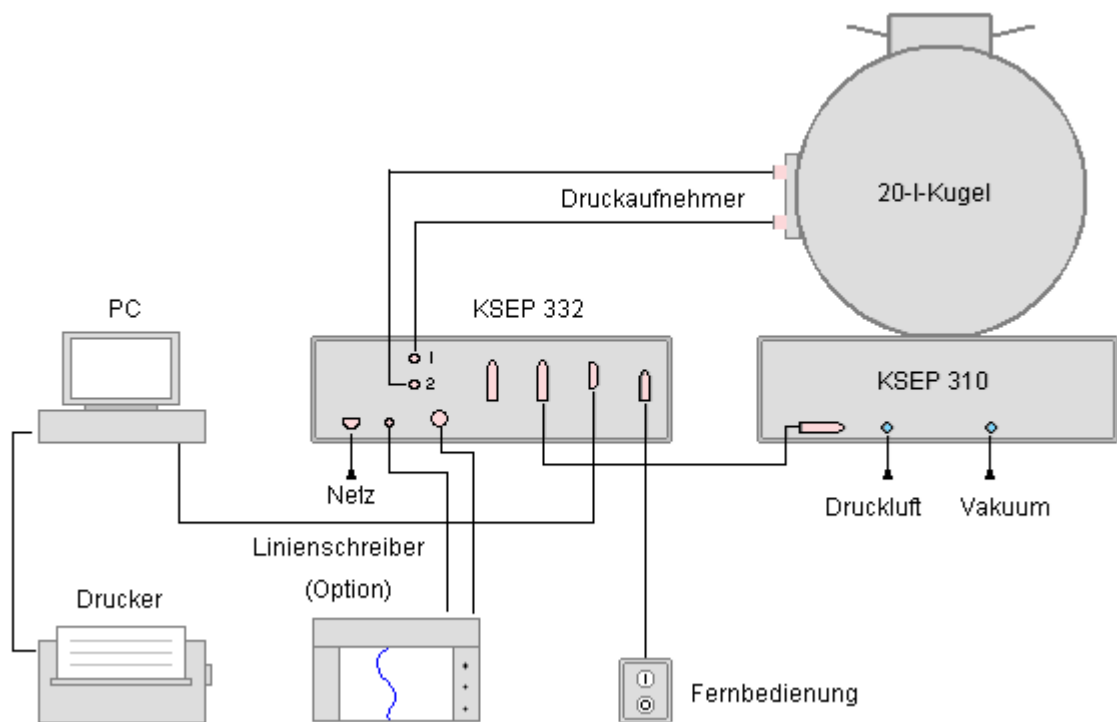
### Vakuum:

Vor Beginn eines jeden Versuches wird die 20-I-Apparatur auf einen Unterdruck von 0,4 bar abs. evakuiert, um nach der anschliessenden Expansion der Staubvorratsbehälterluft wieder Normaldruck (1,0 bar abs.) als Ausgangsdruck für die Staubexplosion zu erhalten.

Das Vakuumfilter wird lediglich durch einen Magnetverschluss im Gerät gehalten und lässt sich zur Reinigung leicht herausziehen.

### 2.3 Mess- und Steuereinheit KSEP 332

Die Einheit KSEP 332 misst mit piezoelektrischen Druckaufnehmern den Druckverlauf als Funktion der Zeit, steuert die Ventile und das Zündungssystem der 20-I-Apparatur. Die Messwerte werden mit hoher Auflösung digitalisiert und an den übergeordneten Personal-Computer zur weiteren Bearbeitung gesendet. Als Sicherheit hinsichtlich Fehlmessungen und zur Selbstüberprüfung arbeitet das System mit zwei vollkommen unabhängigen Messkanälen.



#### Personal Computer:

Jeder Personal Computer mit dem Betriebssystem Microsoft-Windows 7...11 ist geeignet.



Bevor das Gerät elektrisch angeschlossen wird, bitte zuerst die Angaben auf dem Typenschild mit den Daten Ihres Netzanschlusses vergleichen.



## 2.4 Druckmesseinrichtung

### 2.4.1 Druckaufnehmer

Die Druckaufnehmer (Fabrikat Kistler) arbeiten nach dem piezoelektrischen Prinzip: durch den Druck wird ein Quarzkristall deformiert. An seiner Oberfläche entsteht dadurch, proportional zur Druckdifferenz, eine elektrische Ladung.

Masseinheit: "Coulomb" **C** (  $10^{-12} \text{ C} = 1 \text{ pC}$  )

Die piezoelektrische Druckerfassung erlaubt dabei nur die Messung von Druckdifferenzen. Es sind also keine Aussagen über den absoluten Druck in der 20-I-Apparatur möglich. Ferner führen unvermeidliche Isolationswiderstände der Zuleitungskabel und Steckverbindungen sowie Fehlerströme des nachfolgenden Verstärkers zu einer langsamen Veränderung des Ladungssignals. D.h. auch bei anliegendem statischem Druck am Aufnehmer wird sich das elektrische Signal ändern. Für die kurze Aufzeichnungsdauer einer Explosion ist diese Drift vernachlässigbar. Es ist empfehlenswert vor dem Anschliessen die Steckverbindungen mit Reinigungsspray (Kistler Typ Nr. 1001A) auszuspülen.



Die Membrane der Druckaufnehmer muss vor der Flammenfront der Explosion durch eine maximal 2mm dicke Schicht aus Silikon-Kautschuk (z.B. Kistler Typ Nr. 1043) geschützt werden. Allzu harte und zu dicke Schutzschichten bewirken bei der Membrane einen Kraftnebenschluss und führen somit zu Fehlmessungen vor allem im Unterdruckbereich. Die Silikonschutzschicht muss periodisch erneuert werden.

### 2.4.2 Einstellung der Ladungsverstärker

Die von den piezoelektrischen Druckaufnehmern abgegebene Ladung wird in den Ladungsverstärkern in eine proportionale Spannung umgesetzt. Die unterschiedliche Empfindlichkeit der Druckaufnehmer erfordert eine Anpassung am Verstärker. Entnehmen Sie die Empfindlichkeit des Aufnehmers dem dazugehörigen Kalibrierblatt (Bereich 0...25 bar) : K pC. Der Messbereich der Anlage beträgt 20 bar. Die Verstärkereinstellung berechnet sich wie folgt:

|                     |                                       |                                |
|---------------------|---------------------------------------|--------------------------------|
| <b>Verstärkung:</b> | <b><math>A \cdot 10^N</math> [pC]</b> | <b>= 20 [bar] • K [pC/bar]</b> |
| Beispiel:           | K                                     | = 79,8 pC/bar                  |
|                     | 20 bar • 79,8 pC/bar                  | = 1596 pC                      |
|                     | 1596 pC                               | = $160 \cdot 10^1$             |
|                     | Einstellung                           | = 160 / 1                      |

Berechnung: **System / Pressure Sensors**

charge amplifier

calibration data (range 25 bar):

79.8

pC / bar

1596

pC

\*\*\*

160 / 1

## 3. Software

### 3.1 Installation

Jeder Personal Computer mit „Microsoft-Windows“ 7 ... 11 (32 und 64Bit) ist geeignet.

Grafikkarte, Monitor: Auflösung mindestens 1024 x 768 bei mindestens 16 Bit Farbtiefe.

Schnittstelle: USB (Ein Adapter USB - RS232 wird mitgeliefert)  
oder RS232 (COMx)

Bitte die folgende Setup-Datei ausführen: [KSEP71\\_setup.msi](#)

### 3.2 Konfiguration



Starten Sie jetzt das KSEP-Programm ...

#### 3.2.1 Benutzerverwaltung (Users)

Beim ersten Start von KSEP werden vom Administrator alle Benutzer definiert:

| System   Users   Rights |          |               |               |        |           |
|-------------------------|----------|---------------|---------------|--------|-----------|
| no                      | username | signature     | authorization | active | status    |
| 1                       | New      | Cesana AG     | Setup         | ✓      | activated |
| 2                       | JS       | John Smith    | Administrator | ✓      | activated |
| 3                       | SE       | my Service    | Service       | ✓      | activated |
| 4                       | OP       | my operator   | Operator      | ✓      | activated |
| 5                       | SU       | my Supervisor | Supervisor    | ✓      | activated |

**username**      *"Benutzername"*      Eine sinnvolle Kurzform.

**signature:**      *"Unterschrift"*      Vollständiger Namen. Wird in dieser Form in Protokolle eingefügt.

**authorization:**      *"Berechtigung"*      "Administrator" für die Verwaltung der Benutzer.  
"Service" für die Kalibrierung und Wartung.  
"Supervisor" für die Prozessüberwachung.  
"Operator" für alle anderen Benutzer.  
siehe: [3.2.2 Berechtigungen](#)

**active:**      *"aktiv"*      Der Administrator kann auch eine Berechtigung entziehen ...

**status:**      *"Status"*      *new* = neu, *activated* = aktiviert

### 3.2.2 Berechtigungen (Rights)

Die Berechtigungen für die 4 Benutzergruppen können vom Administrator frei definiert werden:

| no | can do ...                     | Administrator | Service | Supervisor | Operator |
|----|--------------------------------|---------------|---------|------------|----------|
| 1  | New tests                      | ✓             | ✓       | ✓          | ✓        |
| 2  | Filemanager (new, save)        | ✓             | ✓       | ✓          | ✓        |
| 3  | Table modification             | ✓             | ✓       | ✓          | ✓        |
| 4  | Test conditions                | ✓             | ✓       | ✓          |          |
| 5  | System - Settings              | ✓             | ✓       |            |          |
| 6  | Software Update                | ✓             | ✓       |            |          |
| 7  | User Management (see: Users)   | ✓             |         |            |          |
| 8  | Set Access Rights (this table) | ✓             |         |            |          |



Alle Eingaben sichern und "Settings" schliessen.

### 3.2.3 Wahl des Benutzers

In diesem Fenster den Benutzernamen und ein Passwort eingeben. Es wird zwischen Gross- und Kleinbuchstaben nicht unterschieden. Neue Benutzer müssen ihr neues Passwort zweimal eingeben.



**automatic start:** "automatischer Start"

Der zuletzt gewählte Benutzer wird bei erneutem Start von KSEP angezeigt und das Passwort muss nicht mehr eingegeben werden. Auch ohne Ihr "Login" wird nach Ablauf von einer Minute automatisch in das Hauptprogramm gewechselt.

Login

Für die weitere Konfiguration von KSEP mit der Berechtigung für "System - Settings" z.B. als "Administrator" einloggen.

Settings

... weitere Einstellungen

### 3.2.4 Einstellungen (Settings)

The screenshot shows the 'Settings' window with three tabs: 'System', 'Users', and 'Rights'. The 'Interface' section contains two settings: '1. Apparatus is ...' set to 'connected' and '2. Port on computer' with a dropdown arrow. The 'User' section contains four settings: '1. Name of company' (CAG), '2. Name of lab / site' (Korfos), '3. Identity of filename' (CAG), and '4. Language for help' (German). The 'Equipment' section contains four settings: '1. Type of vessel' (20I-apparatus), '2. Serial no / unit' (1000001 / 65), '3. Type of igniters' (Sobbe), and '4. Type of nozzle' (rebound).

#### Schnittstelle (Interface)

1. Die KSEP-Apparatur ist angeschlossen (*connected*) oder wird simuliert (*simulated*).
2. RS232-Anschluss (*Port on computer*). Bei simuliertem KSEP ist diese Einstellung irrelevant.

#### Anwenderdaten (User)

1. Firmenname: wird für den Prüfbericht verwendet.
2. Prüfstelle: wird für den Prüfbericht verwendet.
3. Identität: Automatisch generierte Dateinamen beginnen immer mit der von Ihnen hier definierten Identität (siehe: [3.3.2 Dateien](#)) gefolgt vom aktuellen Datum.
4. Hilfe-Sprache: das Programm ist nur in Englisch. Für die Hilfe stehen jedoch ein Deutscher und ein Englischer Text zur Verfügung.

#### Apparatur (Equipment)

- |                 |                    |   |
|-----------------|--------------------|---|
| 1. Behälter     | (Type of vessel)   | 20-I-Apparatur / 1m <sup>3</sup> -Behälter  |
| 2. Seriennummer | (Serial no / unit) | auf Typenschild des Behälters               |
| 3. Chem. Zünder | (Type of igniters) | Sobbe / Simex / ...                         |
| 4. Staubbüse    | (Type of nozzle)   | Pralldüse (rebound) oder Ringdüse (annular) |

#### Verzeichnis (Directory)


1. KSEP-Dateien: Das Verzeichnis der zuletzt geöffneten KSEP-Datei wird automatisch gespeichert. Das voreingestellte Verzeichnis kann so belassen werden.
2. Masken für den Prüfbericht: Das Verzeichnis der zuletzt geöffneten Berichts-Maske wird automatisch gespeichert. Das voreingestellte Verzeichnis kann so belassen werden.



Alle Eingaben sichern und "Settings" schliessen.

### 3.3 Bedienung

#### 3.3.1 Statuszeile

|  |                                 |           |   |                    |
|--|---------------------------------|-----------|---|--------------------|
|  JS | Administrator                   | simulated | Example 20L                                     | Example_150824.K20 |
| 1  | 2                               | 3         | 4   | 5                  |
| 1.   | Der aktuelle Benutzer,          |           | siehe: <a href="#">3.2.3 Wahl des Benutzers</a> |                    |
| 2.   | Die Berechtigung des Benutzers, |           | siehe: <a href="#">3.2.2 Berechtigungen</a>     |                    |
| 3.   | Schnittstelle,                  |           | siehe: <a href="#">3.2.4. Einstellungen</a>     |                    |
| 4.   | Das aktuelle Produkt            |           |   |                    |
| 5.   | Dateinamen                      |           |   |                    |

#### 3.3.2 Dateien

Alle Prüfparameter und Prüfergebnisse werden - getrennt nach Staub - in Dateien abgelegt.

##### Neue Datei



Bei Prüfungsbeginn mit einem neuen Produkt wird eine neue Datei eröffnet. Der Dateiname wird entweder vom Programm automatisch generiert (**A**) oder von Ihnen eingegeben (**B**):

**A:** Automatisch generierte Dateinamen beginnen immer mit der von Ihnen definierten Identität (siehe [3.2.4 Einstellungen](#)) gefolgt vom Datum. Der anschließende Buchstabe unterscheidet Dateien, die am gleichen Tag erstellt wurden.

Beispiel 1: Identität\_221013A.K20 (Apparatur = 20-I-Kugel)  
 Beispiel 2: Identität\_221013B.K20 (am gleichen Tag erstellt wie Beispiel 1)  
 Beispiel 3: Identität\_221013A.1M3 (Apparatur = 1m<sup>3</sup>-Behälter)

**B:** Beispiel 4: mein\_Produkt.K20 (Apparatur = 20-I-Kugel)  
 Beispiel 5: mein\_Produkt.1M3 (Apparatur = 1m<sup>3</sup>-Behälter)



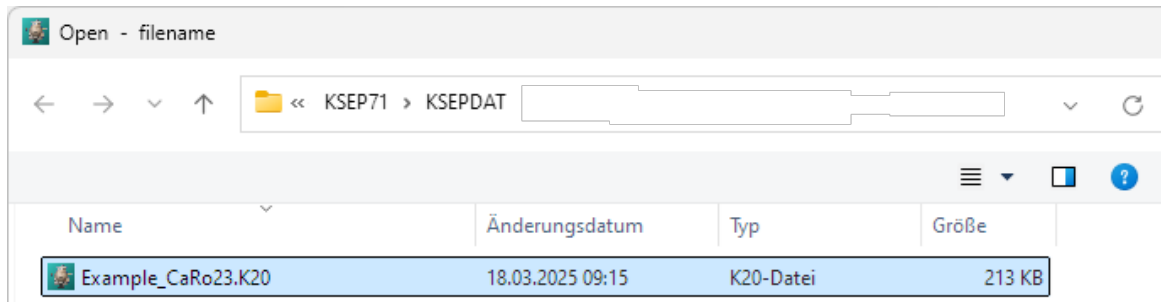
In der Vergangenheit waren die Dateinamen durch das Betriebssystem beschränkt auf 8 Zeichen. Eine Zuordnung Dateinamen - Produkt war schwierig. Das KSEP-Programm erhielt deshalb eine eigene Dateiverwaltung und zeigte neben dem Dateinamen auch das Produkt an. Dies erwies sich als nützlich und wurde auch in der vorliegenden Programmversion beibehalten.

Bei modernen Betriebssystemen entfällt diese Einschränkung, der Dateiname kann viel länger sein (126 Zeichen) und somit auch die Produktbezeichnung enthalten. Für welche Variante Sie sich entscheiden (A oder B) ist Ihnen überlassen. Das Programm unterstützt beide. Unsere Empfehlung: B ist moderner.

### Datei öffnen - nach Dateinamen



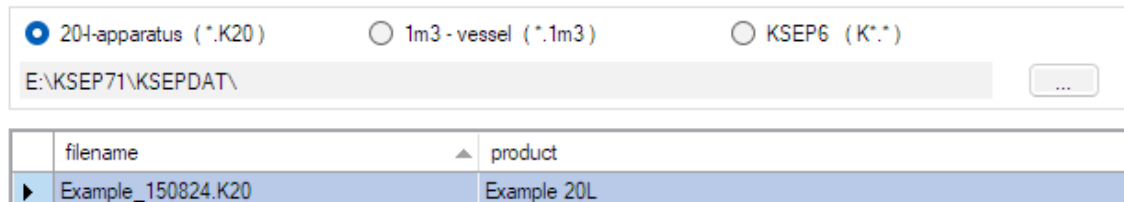
Ein Verzeichnis von KSEP-Dateien wird entsprechend dem Windows-Standard angezeigt:



### Datei öffnen - nach Produkt (.K20 - Datei)



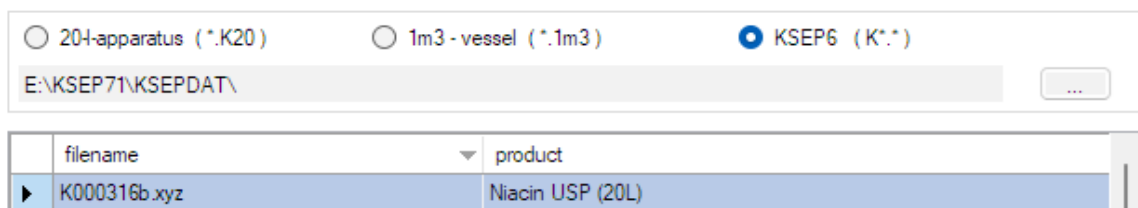
Ein Verzeichnis von KSEP-Dateien mit Angabe des Produktes wird angezeigt. Für die Sortierung (auf- oder absteigend, "filename" oder "product") auf das entsprechende Feld klicken.



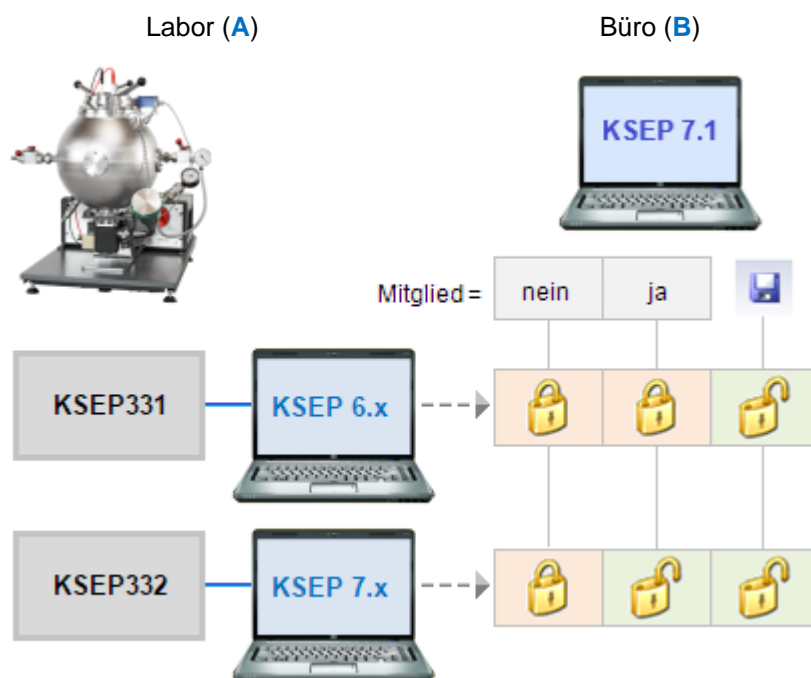
### Datei öffnen - nach Produkt (KSEP 6 - Datei)



Ein Verzeichnis von älteren KSEP-Dateien mit Angabe des Produktes wird angezeigt. Für die Sortierung (auf- oder absteigend, "filename" oder "product") auf das entsprechende Feld klicken.



### 3.3.3 Zugriffsrechte



Bei der Übertragung der Dateien an andere Rechner, z.B. vom Labor (A) zum Büro (B) sind die Benutzer zu beachten. Der Benutzer (B) muss ein **Mitglied** der Benutzerliste vom Labor (A) sein.



#### gesperrt

Alle Manipulationen der Daten sind gesperrt, ausser Ansicht und Ausdrucken.



#### frei zugänglich

Sie können die Tabellen bearbeiten und Kommentare hinzufügen.



**KSEP6**-Dateien kennen noch keine Benutzerverwaltung und das Dateiformat unterscheidet sich. Deshalb muss für Manipulationen die KSEP6-Datei im KSEP7-Format gespeichert werden. Es wird ein neuer Dateinamen generiert: K030618A.SIB wird zu K030618A\_**i6**.K20

Gesperrte **KSEP7**-Dateien müssen für den freien Zugang importiert werden. Zur Unterscheidung wird ein neuer Dateinamen generiert: SIB\_CaRo24.K20 wird zu SIB\_CaRo24\_**i7**.K20

Für die Benutzerverwaltung wird der Import von Daten im Audit registriert:



| no | date       | time  | cause | event              | username | signature     |
|----|------------|-------|-------|--------------------|----------|---------------|
| 95 | 27.03.2025 | 10:19 | OP1   | KSEP data imported | JS       | John Smith    |
|    |            |       |       |                    | OP1      | my Operator 1 |

### 3.3.4 Audit

|      |       |       |       |       |
|------|-------|-------|-------|-------|
| Info | Table | Curve | Graph | Audit |
|------|-------|-------|-------|-------|

|    |            |       |        |                  |                   |
|----|------------|-------|--------|------------------|-------------------|
| no | date       | time  | cause  | event            | value             |
| 1  | 01.03.2025 | 06:35 | JS     | New file created |                   |
| 2  | 01.03.2025 | 06:35 | System | 204-sphere       | 1000001.65        |
| 3  | 01.03.2025 | 06:35 | System | K332AN - 9916    | 100001.12         |
| 4  | 01.03.2025 | 06:35 | System | Dispersion       | rebound           |
| 5  | 01.03.2025 | 06:35 | System | Igniters         | Sobbe             |
| 6  | 01.03.2025 | 06:35 | System | Procedures       | default           |
| 7  | 01.03.2025 | 06:35 | JS     | Test - 1         | Staub: Pmax, Kmax |

|          |               |               |
|----------|---------------|---------------|
| username | signature     | authorization |
| JS       | John Smith    | Administrator |
| SE       | my Service    | Service       |
| OP       | my operator   | Operator      |
| SU       | my Supervisor | Supervisor    |

Alle Aktivitäten werden automatisch aufgezeichnet. Ein Beispiel:

- 1 Von JS wird eine neue Datei erstellt und damit ein neues Audit begonnen.
- 2...6 Die Daten der KSEP-Apparatur (Firmware, Seriennummer, ...) werden übernommen.
- 7 Jeder von JS hinzugefügte Test wird protokolliert.



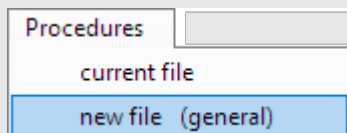
Alle für die Datei berechtigten Benutzer werden auf der Seite "Audit" angezeigt.  
Die Audit-Daten sind kodiert in der KSEP-Datei gespeichert!



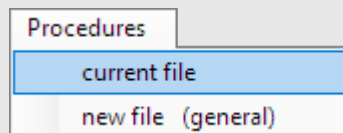
### 3.3.5 Prüfverfahren

Jeder Wechsel des Prüfverfahrens würde ein neues Eingeben der geänderten Versuchsparameter erfordern. Dies ist nicht notwendig. Wählen Sie das Prüfverfahren und die dazugehörigen, vordefinierten Parameter werden automatisch aktiviert. Der Name des Prüfverfahrens, die Grösse und Bezeichnung der Parameter und die Koordinaten für die graphischen Darstellungen werden mit diesem Hilfsprogramm festgelegt. Wir unterscheiden:

Allgemeine Prüfverfahren für neue Datei



Prüfverfahren der aktuellen Datei




Die vorgegebenen Werte entsprechen den Vorschriften gemäss CEN.  
Anpassungen an andere Vorschriften z.B. ASTM - LEL/MEC sind hier einfach möglich.  
Entweder Generell oder nur für die aktuelle Datei.



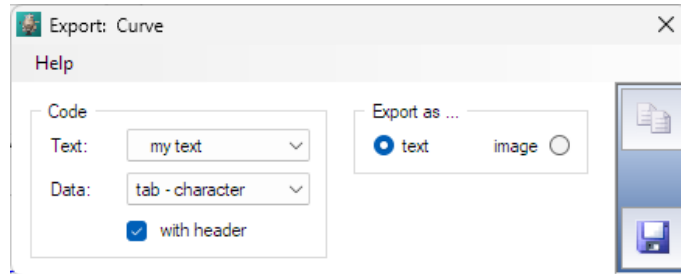
Alle Prüfverfahren sind ein Bestandteil der KSEP-Dateien und somit in diesen integriert.  
Neue Prüfverfahren werden erst bei einer neuen KSEP-Datei berücksichtigt.

### 3.3.6 Export

Die wichtigsten Daten können sehr einfach in andere Programme exportiert werden.

Wählen Sie zuerst die zu exportierende Seite (*Info, Table, Graph, Curve, Audit*).

Das Export-Menu ist unter "*File / Export*".



**Text:** Soll der Text in Anführungszeichen stehen ?

**Data:** Mit welchem Zeichen werden Zahlenwerte getrennt ?

**with header:** Sollen die Spalten mit Überschriften versehen werden ?

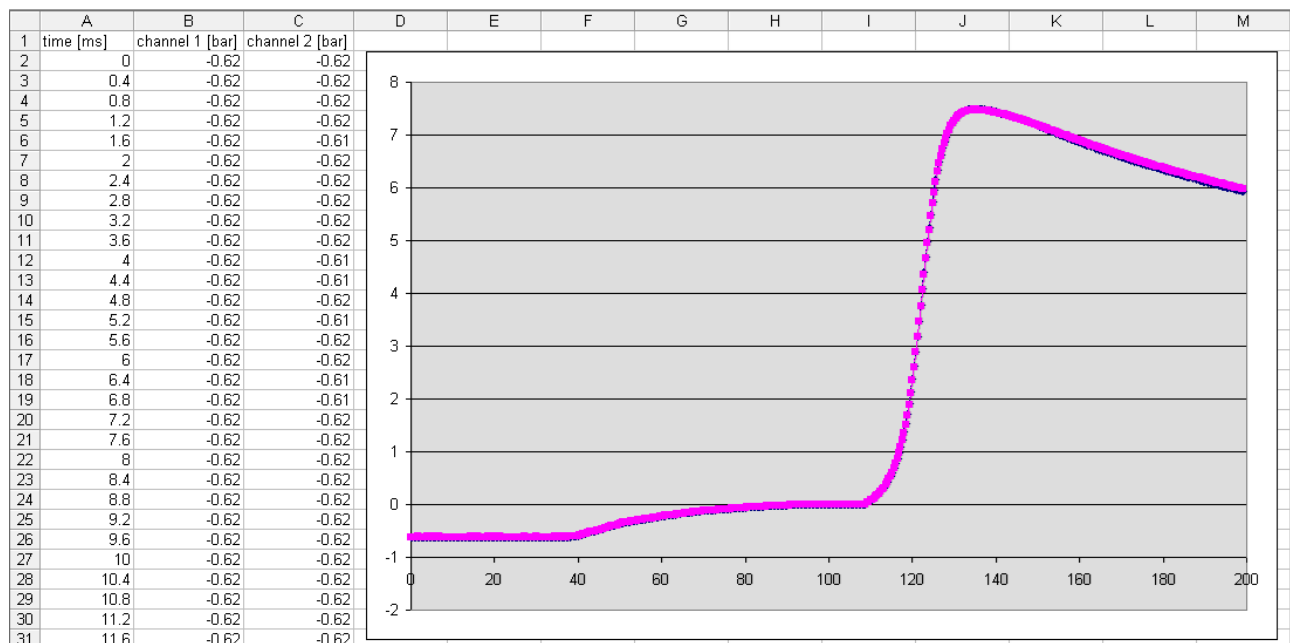


Die Daten werden in eine Textdatei (\*.txt) exportiert.



Die Daten werden gemäss Ihren Vorgaben in die Windows-Zwischenablage kopiert und können von dort einfach in andere Windowsprogramme eingefügt werden. z.B. Excel, Word.

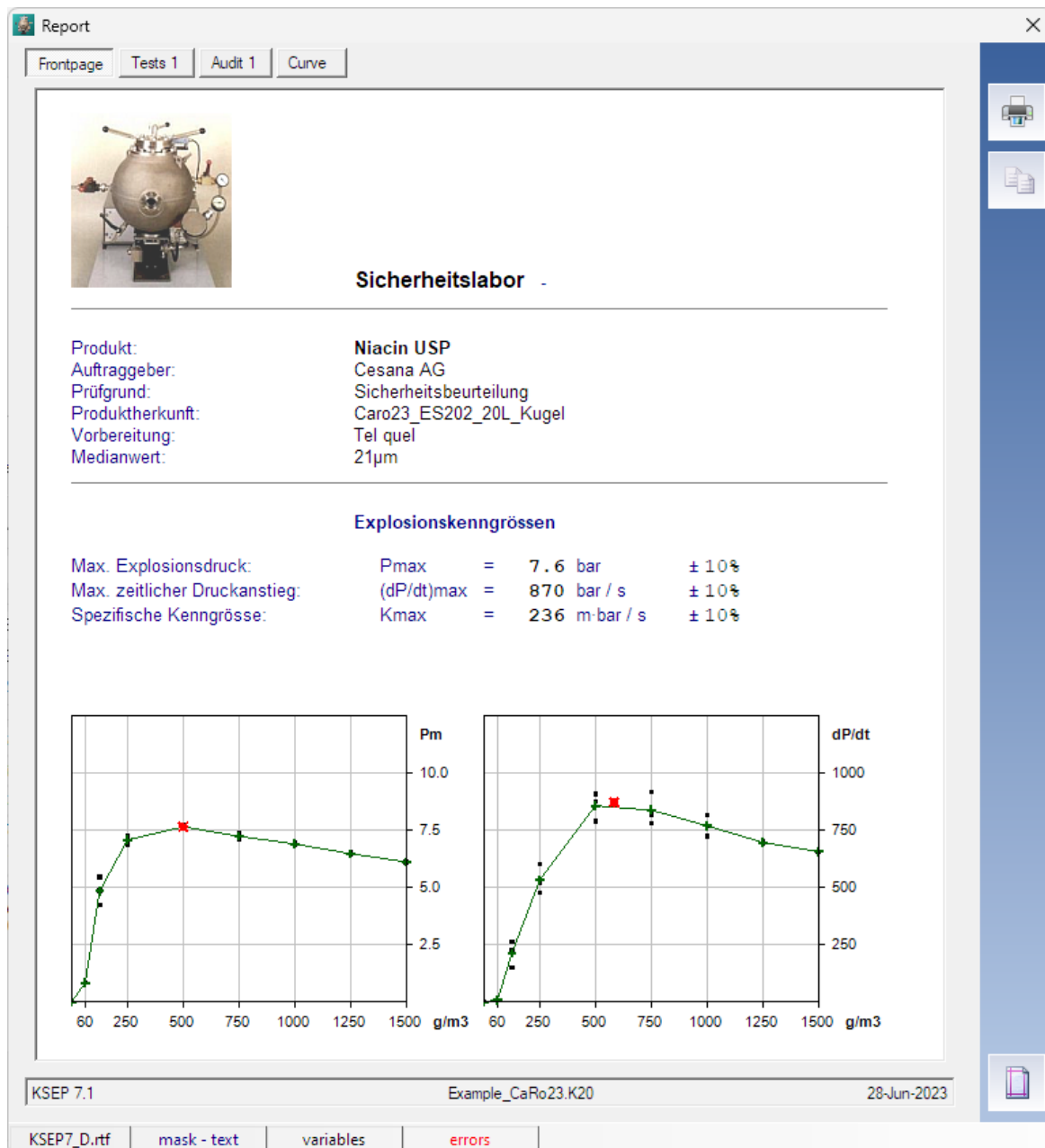
Im folgenden Beispiel wurden die Kurvenwerte über die Windows-Zwischenablage direkt in Excel eingefügt und dort in einem Diagramm dargestellt:



### 3.3.7 Prüfbericht



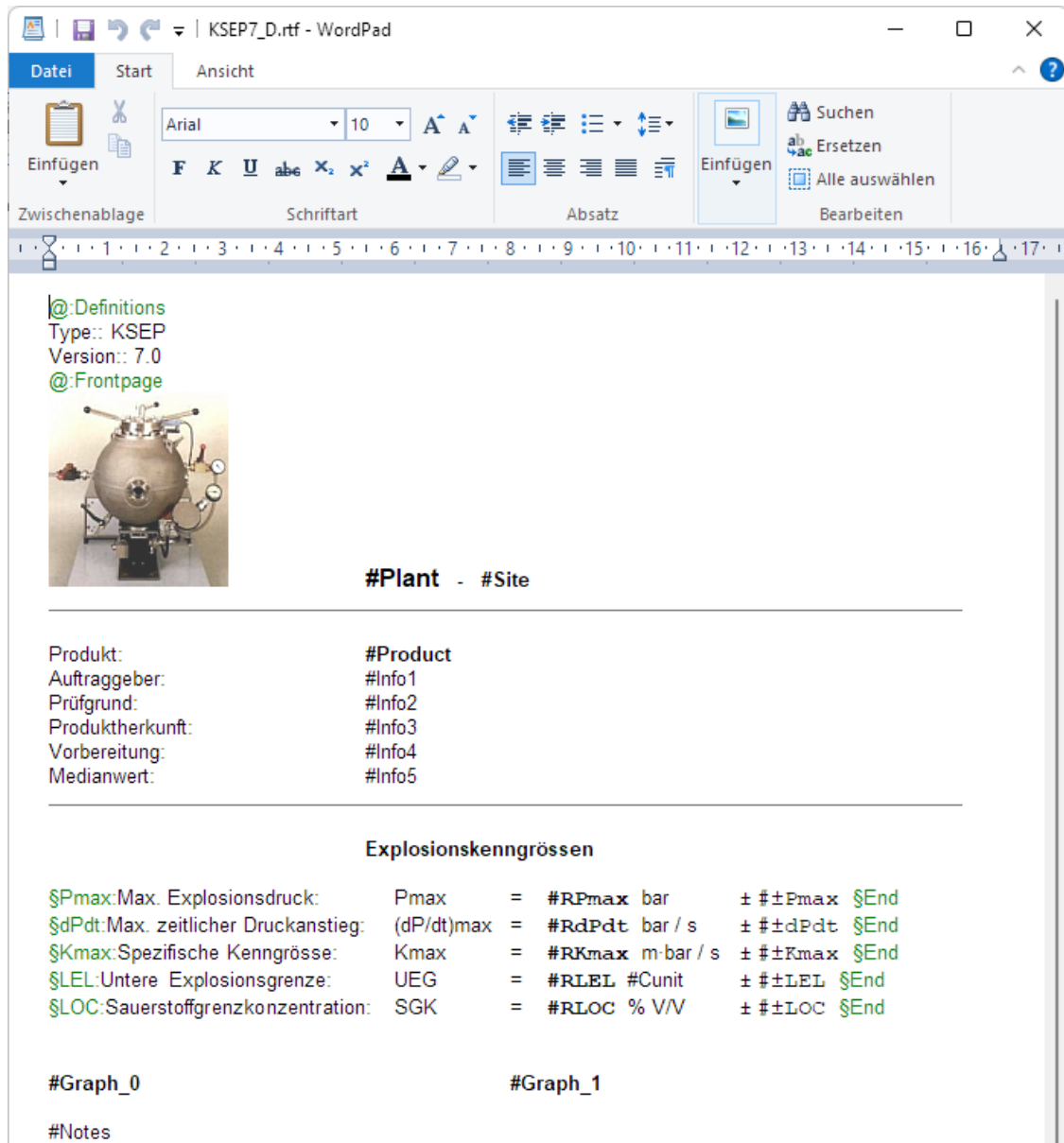
Wählen Sie zuerst eine Maske des Prüfberichts. Vom Programm werden dann automatisch die Produktinformationen, die Testresultate, die Graphiken und der Kommentar in die Maske eingefügt und es entsteht daraus ein Bericht.



Wir empfehlen, alle produktspezifischen Angaben (Auftraggeber, Prüfgrund, Probenvorbereitung, Medianwert usw.) in die entsprechenden Felder im Bild „Info“ einzugeben. Dieser Text wird dann zusammen mit den Prüfergebnissen in der KSEP-Datei gespeichert. Es ist zwar möglich den Bericht in diesem Formular zu bearbeiten und dann auszudrucken, alle Änderungen gehen aber beim Verlassen des Formulars verloren !

### 3.3.8 Berichts-Maske

Sinn und Zweck der Maske ist es immer wiederkehrenden Text vorzugeben und all diejenigen Felder zu definieren, in die Variablen (z.B. Testresultate) für den Bericht automatisch eingefügt werden sollen.



Dem KSEP-Programm beigelegt sind einige Beispiel-Masken in Deutsch und Englisch. Diese Masken lassen sich einfach Ihren Wünschen anpassen. Öffnen Sie eine dieser Masken mit einem einfachen Texteditor, der das Rich-Text-Format (.rtf) unterstützt. Geeignet ist der Editor "**WordPad**".

Die Masken sind in Abschnitte aufgeteilt, diese Abschnitte beginnen jeweils mit einem "@:-Steuercode". Bitte ändern Sie diese Codes auf keinen Fall. Die Felder für die Variablen sind durch einen "#"-Steuercode gekennzeichnet.

Da die Formatierung von Tabellen mit Zeichen in proportionaler Schrift problematisch ist, empfehlen wir, für Tabellen eine Schrift mit festem Zeichenabstand zu wählen.

**Abschnitte '@:' / Variablen '#'**

|                |  |
|----------------|--|
| @:definitions  | Abschnitt für Inhalt und Ausdruck                          |
| Type::         | KSEP   |
| Version::      | 7.0  |
| @:frontpage    | Abschnitt für Produkt, Endresultate, Graphik und Kommentar |
| @:tests_header | Abschnitt für Kopf der Resultate-Tabelle                   |
| @:tests_table  | Abschnitt für Inhalt der Resultate-Tabelle                 |
| @:tests_footer | Abschnitt für Fuss der Resultate-Tabelle                   |
| @:audit_header | Abschnitt für Kopf der Audit-Tabelle                       |
| @:audit_table  | Abschnitt für Inhalt der Audit-Tabelle                     |
| @:audit_footer | Abschnitt für Fuss der Audit-Tabelle                       |
| @:curve        | Abschnitt für Kopf der Kurve                               |
| @:end          | Ende des Berichts  |

| Globale Daten: |                      |
|----------------|----------------------|
| #Plant         | Ihre Firma           |
| #Site          | Ihr Labor / Name     |
| #Proc          | Prüfverfahren        |
| #Product       | Produkt              |
| #File          | Dateiname            |
| #ADate         | aktuelles Datum      |
| #Graph_X       | Graphen 0 & 1        |
| #Funct         | Funktion             |
| #XName         | XPar - Bezeichnung   |
| #XUnit         | XPar - Einheit       |
| #CUnit         | Konz. (g/m3 or vol%) |
| #Info1         | Auftraggeber         |
| #Info2         | Prüfgrund            |
| #Info3         | Produktdaten         |
| #Info4         | Staubvorbereitung    |
| #Info5         | Medianwert           |
| #Notes         | Kommentar            |

| Endresultate: |                              |
|---------------|------------------------------|
| #RPmax        | Max. Explosionsdruck         |
| #RdPdt        | Max. zeitlicher Druckanstieg |
| #RKmax        | Spezifische Kenngrösse       |
| #RLEL         | Untere Explosionsgrenze      |
| #RLOC         | Sauerstoffgrenzkonzentration |
| #Rt1          | min. Verbrennungsdauer       |
| #±Pmax        | % Abweichung Pmax            |
| #±dPdt        | % Abweichung dP/dt           |
| #±Kmax        | % Abweichung Kmax            |
| #±LEL         | % Abweichung LEL             |
| #±LOC         | % Abweichung LOC             |
| #t1min        | % Abweichung [t] Verbrennung |
| Audit:        |                              |
| #ANr          | Test Nummer                  |
| #ADate        | Datum                        |
| #ATime        | Zeit                         |
| #ACaus        | Grund                        |
| #AEVT         | Ereignis                     |
| #AVAL         | Wert                         |

| Einzelversuche: |                           |
|-----------------|---------------------------|
| #TNr            | Test Nummer               |
| #TSer           | Serie Nummer              |
| #TConc          | Staub-/ Gas-Konzentration |
| #TPex           | Druck                     |
| #TPm            | Druck, korrigiert         |
| #TdPdt          | Druckanstiegsgeschw.      |
| #TPd            | Druckdifferenz            |
| #TPi            | Druck bei Zündung         |
| #Ttd            | Verzögerung des AV        |
| #Ttvs           | Zündverz. Sollwert        |
| #Ttve           | Zündverz. effektiv        |
| #Tt1            | Verbrennungsdauer         |
| #Tt2            | Induktionszeit            |
| #TIE            | Zündenergie               |
| #TXPar          | variabler Parameter       |
| #TNote          | Kommentar zu Test         |

| Kurve:   |                           |
|----------|---------------------------|
| #Curve   | Bild                      |
| #CResult | Resultat                  |
| #CNr     | Test Nummer               |
| #CSer    | Serie Nummer              |
| #CConc   | Staub-/ Gas-Konzentration |
| #CPex    | Druck                     |
| #CPm     | Druck, korrigiert         |
| #CdPdt   | Druckanstiegsgeschw.      |
| #CPd     | Druckdifferenz            |
| #CPi     | Druck bei Zündung         |
| #Ctd     | Verzögerung des AV        |
| #Ctvs    | Zündverz. Sollwert        |
| #Ctve    | Zündverz. effektiv        |
| #Ct1     | Verbrennungsdauer         |
| #Ct2     | Induktionszeit            |
| #CIE     | Zündenergie               |
| #CXPar   | variabler Parameter       |
| #CNOTE   | Kommentar zu Test         |

## 4. Kalibrierung

Gemäss internationalen Normen (z.B. ISO-9000, GLP) müssen Prüfmittel periodisch durch Vergleich mit einem Normal oder einem Eich-Prüfmittel kalibriert werden. Diese Kalibrierung gilt sinngemäss auch für die 20-I-Apparatur für die Bestimmung von  $P_{max}$  und  $K_{max}$ . Deshalb wird mit der Apparatur ein Prüfstaub mit Prüfprotokoll geliefert. Wir empfehlen dringend, die folgenden Anweisungen Schritt für Schritt zu befolgen und die Explosionskenngrössen des Prüfstaubes zu bestimmen.

### 4.1 Kontrollversuch

Als Kontrollversuch wird ein automatischer Prüfablauf ohne Staub und ohne chemische Zünder bezeichnet. Dadurch wird auf einfache Weise das korrekte Funktionieren der Anlage überprüft. Es empfiehlt sich, diesen Versuch vor jeder neuen Serie zu wiederholen !

#### 4.1.1 Neue Datei öffnen



Bei Prüfungsbeginn mit einem neuen Staub wird jeweils eine neue Datei eröffnet. Der Dateinamen wird entweder vom Programm automatisch generiert (Identität + Datum) oder von Ihnen eingegeben. Siehe: [3.3.2 Dateien](#).

| product     | CaRo25                      |
|-------------|-----------------------------|
| tested by   | Cesana AG                   |
| filename    | CAG_250301A.K20             |
| created     | 1-Mrz-2025                  |
| status      | unlocked                    |
| customer    | CaRo                        |
| reason      | Calibration - Round - Robin |
| origin      | Lonza, Niacin               |
| preparation | none                        |
| median      | 23um                        |
| comment     | any comment ...             |

| procedure                  | tests |
|----------------------------|-------|
| ► Kontrollversuch          | 0     |
| Staub: Pmax, Kmax          | 0     |
| Staub: UEG                 | 0     |
| Staub: SGK                 | 0     |
| Staub: Explosionsfähigkeit | 0     |

Wir empfehlen, nicht nur die Produktbezeichnung, sondern alle produktspezifischen Angaben (Auftraggeber, Prüfgrund, Probenvorbereitung, Medianwert usw.) in die entsprechenden Felder einzugeben. Dieser Text wird dann zusammen mit den Prüfergebnissen in der KSEP-Datei gespeichert.

#### 4.1.2 Wahl des Prüfverfahrens (Kontrollversuch)

Die Gruppierung der Versuche nach Prüfverfahrenen (procedures) erleichtert wesentlich das Arbeiten mit der Apparatur, denn die Voreinstellung der Versuchsparameter und die graphischen Darstellungen sind bei jeder Aufgabe verschieden.

|   | procedure                  | tests |
|---|----------------------------|-------|
| ▶ | Kontrollversuch            | 0     |
|   | Staub: Pmax, Kmax          | 0     |
|   | Staub: UEG                 | 0     |
|   | Staub: SGK                 | 0     |
|   | Staub: Explosionsfähigkeit | 0     |

#### 4.1.3 Prüfablauf (Kontrollversuch)



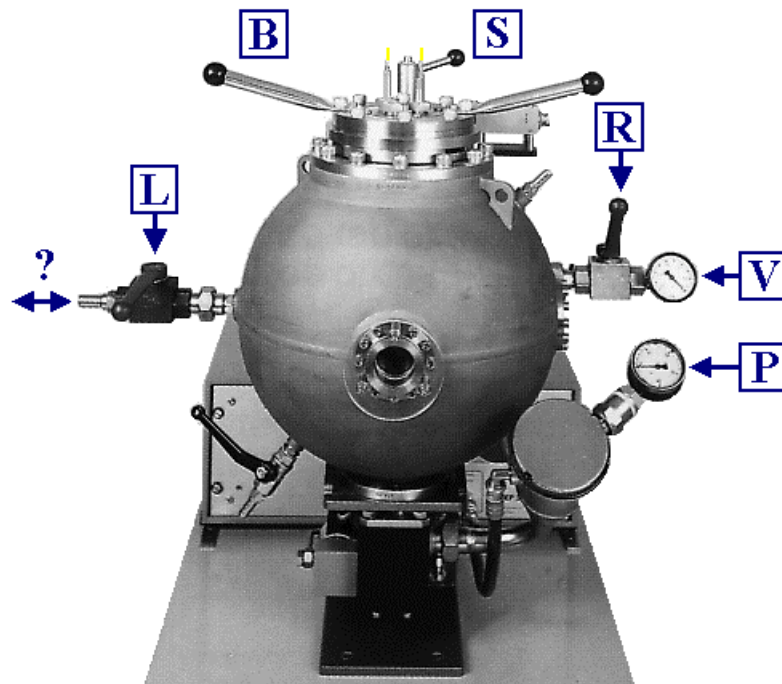
Öffnen Sie das Fenster „Next Test“ durch Klicken auf diese Schaltfläche oder durch Drücken der „Eingabe“-Taste. Bei vorher gewähltem Prüfverfahren „Kontrollversuch“ sind die korrekten Versuchsparameter bereits schon wie folgt voreingestellt:

Kontrollversuch

|        |        |          |         |        |         |
|--------|--------|----------|---------|--------|---------|
| series | [g/m3] | [g/20 l] | tv [ms] | IE [J] | comment |
| 1      | 0      | 0        | 60      | 0      |         |

Start Test ?





### Kontrollversuch

1. Den Kugelhahn (L) zur Entlüftung öffnen.
2. Den Kugelhahn (R) zur Vakuumpumpe schliessen.
3. Den Bajonettring (B) in die Endposition drehen.
4. Der Sicherheitsschalter (S) lässt sich nun schliessen.
5. Den Staubvorratsbehälter mit Druckluft füllen (Taste „I“ der Fernbedienung)
6. Den Druck (P) auf 20 bar mit dem Regler der Druckluftflasche einregulieren.
7. Den Staubvorratsbehälter entlasten (Taste „O“ der Fernbedienung)
8. Den Kugelhahn (L) der Entlüftung schliessen.
9. Den Kugelhahn (R) zur Vakuumpumpe öffnen.
10. Die Kugel auf 0,4 bar absolut evakuieren. Anzeige (V) = -0,6 bar.
11. Den Kugelhahn (R) zur Vakuumpumpe schliessen.
12. Den automatischen Prüfablauf starten.
13. Den Kugelhahn (L) langsam öffnen. Es darf nur wenig Luft aus- oder einströmen.

D.h. in der Apparatur muss definitionsgemäss Atmosphärendruck herrschen !



Ein Vergleich mit dem Umgebungsdruck ist nur dann zulässig, wenn dieser nicht wesentlich von 1013mbar abweicht. Andernfalls muss für diese Prüfung ein absolut messendes Manometer an den Entlüftungskugelhahn angeschlossen werden.



#### **Zerstäubungsdruck $P_z = 20 \text{ bar}$ (21 bar absolut)**

Der Überdruck der in der Staubvorratskammer herrscht, um den Staub in die Explosionskammer zu verteilen, muss genau 20 bar betragen.

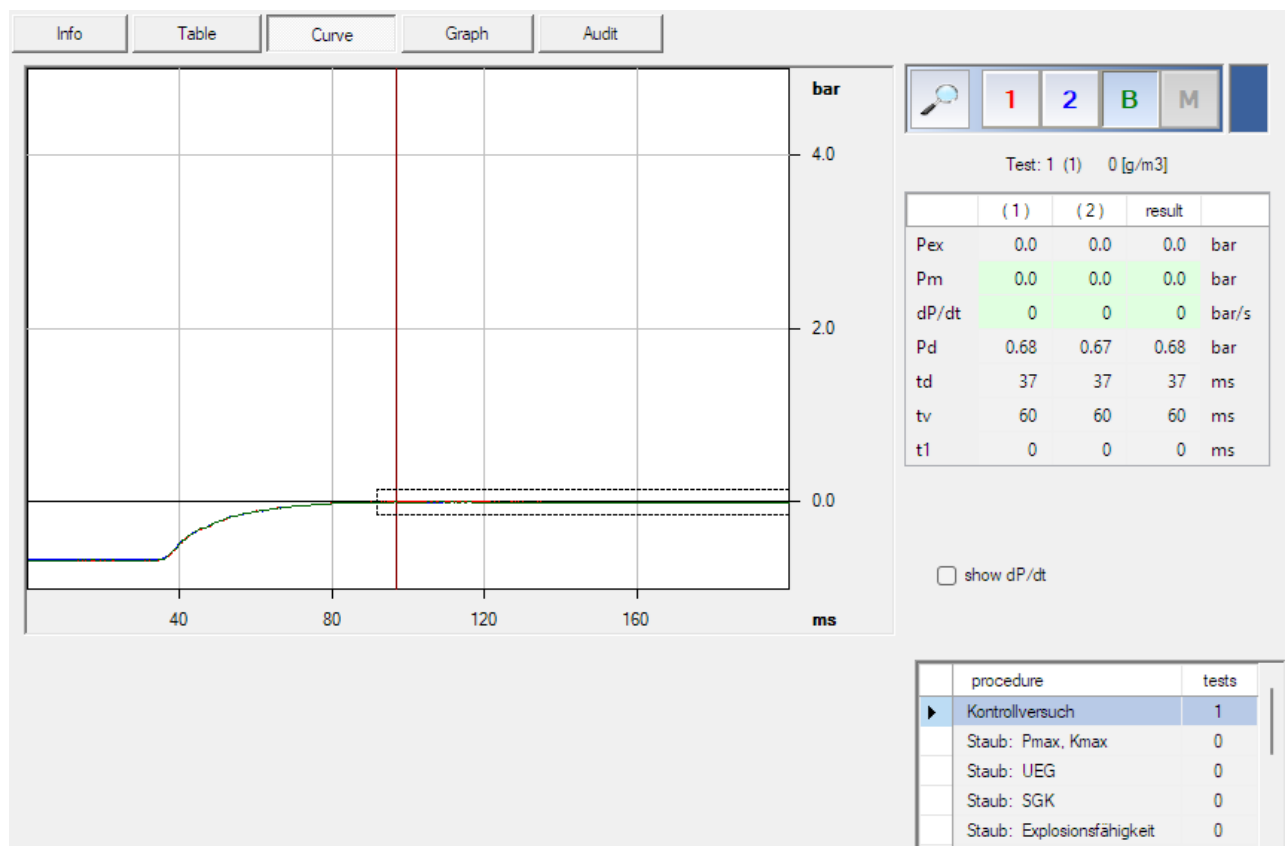


#### **Vordruck $P_i = 1013 \text{ mbar} = \text{Atmosphärendruck}$ .**

Die Explosionskenngrößen  $P_{max}$  und  $K_{max}$  sind direkt proportional zum Vordruck. Dies ist die häufigste Fehlerursache für abweichende Resultate.

#### 4.1.4 Druckverlauf (Kontrollversuch)

Nach dem automatischen Prüfablauf wird der Druckverlauf von Kanal 1 (rot), Kanal 2 (blau) und deren Mittelwert (grün) angezeigt:



Wechseln Sie in die Übersichtsdarstellung.



Ziehen Sie mit der Maus ein Fenster um den zu vergrößernden Ausschnitt.  
Mit dieser Taste wird der Ausschnitt angezeigt.



#### Fehlermeldungen:

Die gesamte Auswertung erfolgt generell automatisch. Die folgenden Kontrollgrößen werden überwacht und bei nicht akzeptablen Werten rot angezeigt:

- Pd** Expansionsdruck der Vorkammerluft: Der Nennwert beträgt 0.6 bar (zulässig sind: 0.55...0,7 bar). Prüfen Sie bei einer Fehlermeldung die Einstellung der Ladungsverstärker und die Dicke bzw. Härte der Silikonschutzschicht auf den Druckaufnehmern.
- td** Die Zeitverzögerung des Auslassventils liegt nicht im erlaubten Bereich von 30...50 ms. Möglicherweise ist das Auslassventil verschmutzt oder die Staubverteildüse verstopft.
- tv** Die Zündverzögerungszeit muss im Bereich von 55...65 ms liegen.

## 4.2 Explosionskenngrößen

### 4.2.1 Prüfbedingungen

|                      |    |                     |
|----------------------|----|---------------------|
| Prüfverfahren        |    | = Staub: Pmax, Kmax |
| Zündquelle           |    | = Chemische Zünder  |
| Zündenergie          | ZE | = 2 x 5 kJ          |
| Zündverzögerungszeit | tv | = 60 ms             |

### 4.2.2 Prinzip des Prüfablaufs

In einer ersten Versuchsreihe werden der maximale Explosionsdruck und der maximale zeitliche Druckanstieg ermittelt. Beginnend mit einer niedrigen Staubkonzentration von 60g/m<sup>3</sup> (1.2g / 20-l), wird die Staubkonzentration solange in Stufen vergrößert, bis die Höchstwerte des Explosionsdruckes und des zeitlichen Druckanstiegs eindeutig erfasst sind. Die folgenden Stufen sind zu verwenden:

60; 125; 250; 500; 750; 1000; 1250; 1500 g/m<sup>3</sup>

Nach der ersten Versuchsreihe wird nur noch der Nahbereich der Optima (Pmax, (dP/dt)max) kontrolliert, d.h. die Versuche bei der Optimalkonzentration und die Versuche mit der nächsthöheren bzw. mit der nächstniedrigeren Konzentrationsstufe werden wiederholt. Ein Beispiel: (Vorausgesetzt, die Maxima von Pm und dP/dt liegen bei 250 bzw. 500 g/m<sup>3</sup>)

|           |     |      |      |      |      |                       |
|-----------|-----|------|------|------|------|-----------------------|
| 1. Serie: | 60, | 125, | 250, | 500, | 750, | 1000 g/m <sup>3</sup> |
| 2. Serie: |     | 125, | 250, | 500, | 750  |                       |
| 3. Serie: |     | 125, | 250, | 500, | 750  |                       |

### 4.2.3 Staubvorbereitung

Vergleichbare Resultate sind nur bei gleicher Staubvorbereitung möglich. Deshalb wurde der mitgelieferte Prüfstaub sorgfältig gemahlen, homogenisiert und dicht verpackt. Halten Sie den Behälter, wenn immer möglich, geschlossen.



Für die Kalibrierung muss die Prüfung im „Anlieferungszustand“ erfolgen.  
Bitte keinesfalls den Staub zusätzlich behandeln.

### 4.2.4 Wasserkühlung

Bedingt durch die hohe Versuchsfrequenz muss die Explosionskugel mittels Wasserkühlung auf einer Betriebstemperatur von ca. 20°C gehalten werden. Es ist darauf zu achten, dass das Wasser immer schwach fließt und die Austrittstemperatur des Kühlmediums eine Temperatur von 25°C nicht überschreitet.

#### 4.2.5 Wahl des Prüfverfahrens (Staub: Pmax, Kmax)

|   | procedure                  | tests |
|---|----------------------------|-------|
|   | Kontrollversuch            | 1     |
| ▶ | Staub: Pmax, Kmax          | 0     |
|   | Staub: UEG                 | 0     |
|   | Staub: SGK                 | 0     |
|   | Staub: Explosionsfähigkeit | 0     |



#### 4.2.6 Versuchsdurchführung (Staub: Pmax, Kmax)



Öffnen Sie das Fenster „Next Test“ durch Klicken auf die Schaltfläche oder durch Drücken der „Eingabe“-Taste. Bei vorher gewähltem Prüfverfahren „Staub: Pmax, Kmax“ sind die korrekten Versuchsparameter bereits schon voreingestellt:

Staub: Pmax, Kmax

|        |                     |          |         |        |         |
|--------|---------------------|----------|---------|--------|---------|
| series | [g/m <sup>3</sup> ] | [g/20 l] | tv [ms] | IE [J] | comment |
| 1      | 250                 | 5        | 60      | 10k    |         |

Start Test ?  



Die Zündverzögerungszeit ist bei Simex-Zündern um durchschnittlich 5ms kürzer als bei Sobbe. Es besteht die Möglichkeit, dass das Auslassventil zum Zündzeitpunkt noch nicht vollständig geschlossen ist und somit eine „Rückzündung“ in den Staubvorratsbehälter erfolgt. Deshalb wird bei Simex-Zündern der Zündzeitpunkt automatisch um 5ms korrigiert.

Siehe: [3.2.5 Einstellungen \(Settings\)](#)

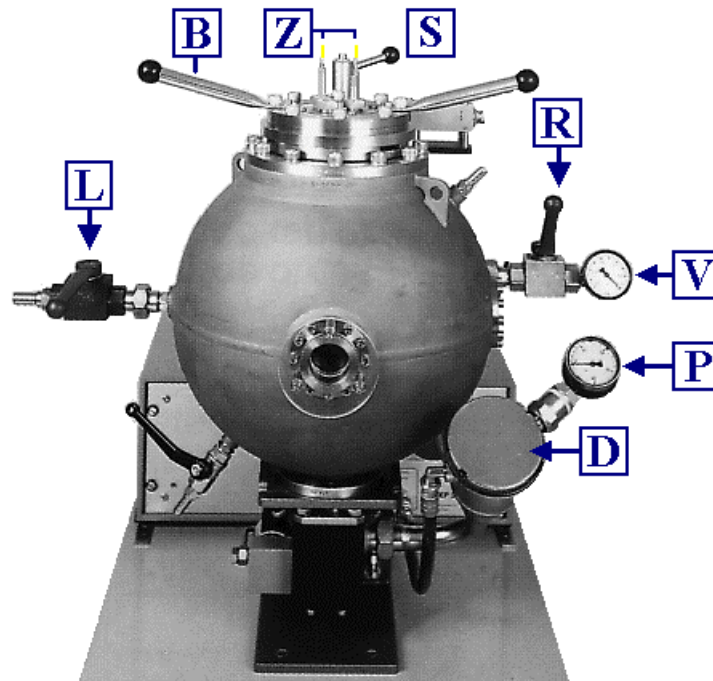
#### 4.2.7 Montage der Zünder

Zwei chemische Zünder (**Z**) mit je 5kJ Energie werden an den Elektrodenstäben (**S**) wie im Bild gezeigt montiert. D.h. die Zünder feuern horizontal und in entgegengesetzte Richtung.



**Sobbe-Zünder** werden elektrisch **parallel** geschaltet.

**Simex-Zünder** sind bereits schon vorverdrahtet (Serienschaltung).



#### Vor dem Explosionsversuch:

1. Den Staub in die Staubvorratskammer (D) einfüllen.
2. Zwei chemische Zünder (zu je 5k J) montieren.
3. Den Deckel aufsetzen und den Bajonettring (B) in die Endposition drehen.
4. Die Zündleitungen Anschliessen (Z).
5. Den Sicherheitsschalter (S) schliessen.
6. Den Kugelhahn (L) zur Entlüftung schliessen.
7. Den Kugelhahn (R) zur Vakuumpumpe öffnen.
8. Die Kugel auf 0,4 bar absolut evakuieren. Anzeige (V) = **-0,6** bar.
9. Den Kugelhahn (R) zur Vakuumpumpe schliessen.
10. Den automatischen Prüfablauf starten.

#### Nach dem Explosionsversuch:

11. Den Kugelhahn (L) zur Entlüftung öffnen.
12. Spülung der Apparatur mit Druckluft durch mehrmaliges, wechselweises Betätigen der Tasten (I) und (O) am Hand Eingabegerät (ca. 3 mal)
13. Kugel öffnen und die Verbrennungsrückstände mit einem Staubsauger absaugen.
14. Abgebrannte Zünder entfernen und Zünddurchführungen reinigen.
15. Die Pralldüse reinigen: Alle Bohrungen müssen frei sein.
16. Die Rückstände im Staubvorratsbehälter mit einem Staubsauger absaugen.

#### Vor dem nächsten Explosionsversuch:

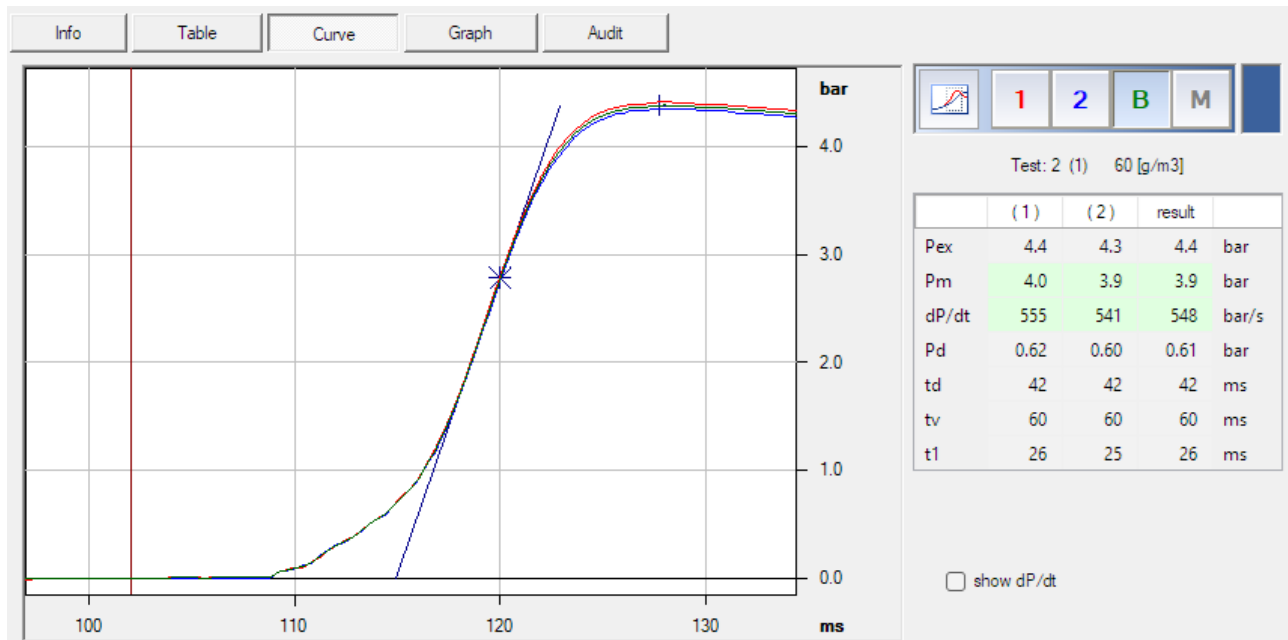
17. Die neue Staubkonzentration eingeben.

#### Vor der nächsten Serie:

18. Einen vollständigen Kontrollversuch gemäss [Abschnitt 4.1](#) durchführen.
19. Die neue Seriennummer eingeben.

### 4.2.8 Druckverlauf (Curve)

Nach dem automatischen Prüfablauf wird der Druckverlauf von Kanal 1 (rot), Kanal 2 (blau) und deren Mittelwert (grün) angezeigt. Die vertikale Linie definiert den Zeitpunkt der Zündung. In kobaltblauer Farbe zeigen sich die Tangente des maximalen zeitlichen Druckanstieges, der dazugehörige Wendepunkt und das Kreuz für den maximalen Explosionsdruck  $P_{ex}$ .



Wechseln Sie in die Übersichtsdarstellung.



Ziehen Sie mit der Maus ein Fenster um den zu vergrößernden Ausschnitt.  
Mit dieser Taste wird der Ausschnitt angezeigt.

#### Fehlermeldungen:

Die gesamte Auswertung erfolgt generell automatisch. Die folgenden Kontrollgrößen werden überwacht und bei nicht akzeptablen Werten rot angezeigt:

- $P_{ex}$**  Zwischen den beiden Druckmessketten ist im Enddruck eine Differenz von mehr als 0,3 bar aufgetreten. Möglicherweise ist die Einstellung der Ladungsverstärker oder die Silikon-Schutzschicht an den Druckaufnehmern fehlerhaft.
- $P_m$**
- $dP/dt$**  Die Werte der Druckanstiegsgeschwindigkeiten von Kanal 1, 2 sind verschieden.  
(maximal zulässige Differenz: 10%)
- $P_d$**  Expansionsdruck der Vorkammerluft: Der Nennwert beträgt 0.6 bar.  
(zulässig sind: 0.55...0,7 bar).
- $t_d$**  Die Zeitverzögerung des Auslassventils liegt nicht im Bereich von 30...50 ms.  
Möglicherweise ist das Auslassventil verschmutzt oder die Pralldüse verstopft.
- $t_v$**  Die gemessene Zündverzögerungszeit ist um mehr als  $\pm 5$  ms von der vorgegebenen Zündverzögerungszeit  $t_v$  abgewichen.

## Manuelle Auswertung (speziell für schwache Explosionen)

Bei einem  $(dP/dt)_m$  von weniger als 150 bar/s, kann der Fall auftreten, dass die Druckanstiegsgeschwindigkeit der chemischen Zünder grösser ist, als diejenige der Brennstoffexplosion. Verwenden Sie dazu zum Vergleich den Druckverlauf der chemischen Zünder in einer Atmosphäre ohne Brennstoff und unter sonst identischen Bedingungen. Typische Werte für chemische Zünder mit einer Zündenergie von 10 kJ liegen bei ca. 100 bar/s. Es kann angenommen werden, dass der Druckanstieg der chemischen Zünder nach ca. 50ms beendet ist (Die Tangente darf also erst 50ms nach dem Zeitpunkt der Zündung angelegt werden).

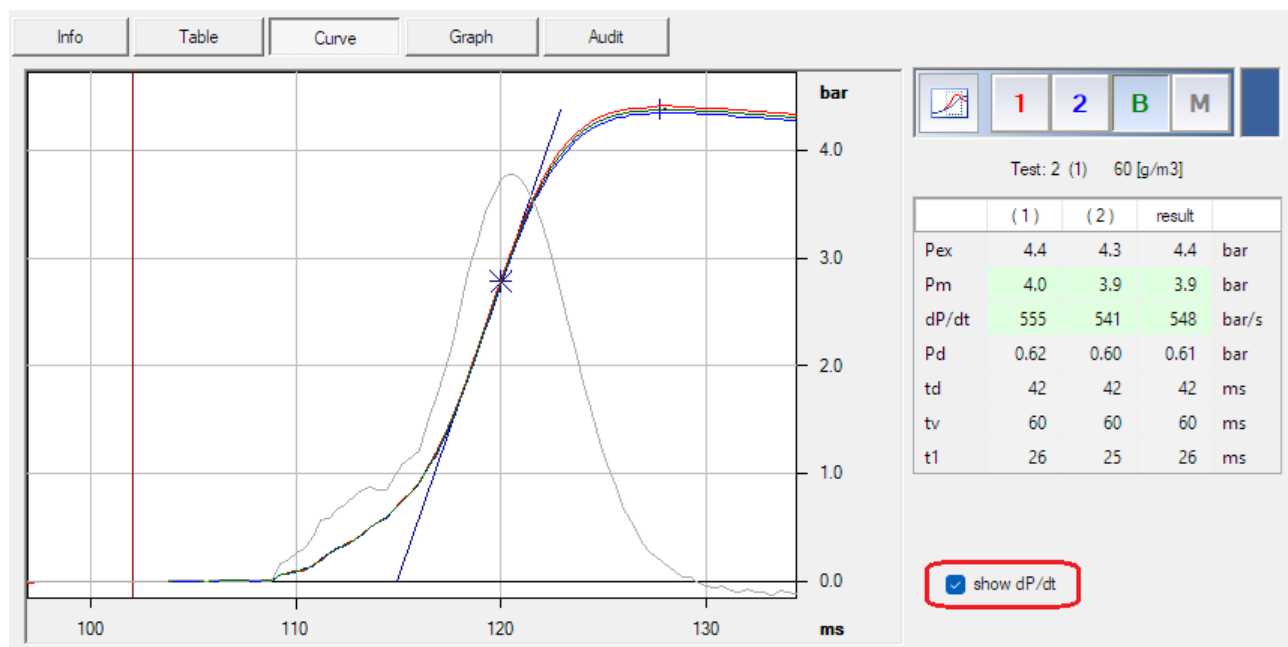
Vom Rechner KSEP 332 wird diese Vorschrift automatisch berücksichtigt. Diese einfache Faustregel kann aber nicht alle in der Praxis vorkommenden Fälle abdecken und unter Umständen ist dann eine manuelle Auswertung notwendig:



Beobachten Sie nach einem Explosionsversuch wo und wie der Rechner die Tangente anlegt. Schwache Explosionen oder dem Druckverlauf überlagerte Schwingungen können zu einer falschen Auswertung führen. Entspricht dann die Vorgabe des Rechners nicht dem realen Verlauf, so führen Sie am Besten eine manuelle Auswertung durch.

## Druckanstieg $dP/dt$

Für die Entscheidung „Zündung / keine Zündung“ bei UEG und SGK kann die Darstellung der Druckanstiegsgeschwindigkeit  $dP/dt$  sinnvoll sein (siehe ASTM-Normen) und hilft bei der Unterscheidung zwischen „Zünder“ und „Staubexplosion“.



### 4.2.9 Resultate -Tabelle (Table)

Getrennt nach Prüfverfahren werden alle Versuche numerisch dargestellt und bearbeitet:

| curve | ok | test | series | conc. | Pm  | dP/dt | tv | IE   | comment |
|-------|----|------|--------|-------|-----|-------|----|------|---------|
| ▶     | ✓  | 2    | 1      | 60    | 3.1 | 89    | 61 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 3    | 1      | 125   | 5.2 | 235   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 4    | 1      | 250   | 7.4 | 682   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 5    | 1      | 500   | 8.0 | 813   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 6    | 1      | 750   | 8.1 | 937   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 7    | 1      | 1000  | 7.5 | 860   | 61 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 8    | 1      | 1250  | 6.8 | 879   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 9    | 1      | 1500  | 6.5 | 668   | 61 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 10   | 2      | 500   | 8.7 | 974   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 11   | 2      | 750   | 8.0 | 934   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 12   | 2      | 1000  | 7.7 | 921   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 13   | 3      | 500   | 8.5 | 838   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 14   | 3      | 750   | 8.3 | 912   | 60 | 10kJ |         |
| ▶     | ✓  | 15   | 3      | 1000  | 7.6 | 915   | 61 | 10kJ |         |

|        |       |         |      |
|--------|-------|---------|------|
| [g/m3] | [bar] | [bar/s] | [ms] |
|--------|-------|---------|------|

|            |     |         |       |           |       |    |      |    |       |
|------------|-----|---------|-------|-----------|-------|----|------|----|-------|
| Pmax       | 8.4 | bar     | ± 10% | series 1: | -3.6% | 2: | 2.7% | 3: | 0.8%  |
| (dP/dt)max | 942 | bar/s   | ± 10% | series 1: | -0.5% | 2: | 3.4% | 3: | -2.9% |
| Kmax       | 256 | m-bar/s | ± 10% | t1 min    | 28    | ms |      |    |       |

| procedure                  | tests |
|----------------------------|-------|
| Kontrollversuch            | 1     |
| ▶ Staub: Pmax, Kmax        | 14    |
| Staub: UEG                 | 0     |
| Staub: SGK                 | 0     |
| Staub: Explosionsfähigkeit | 0     |

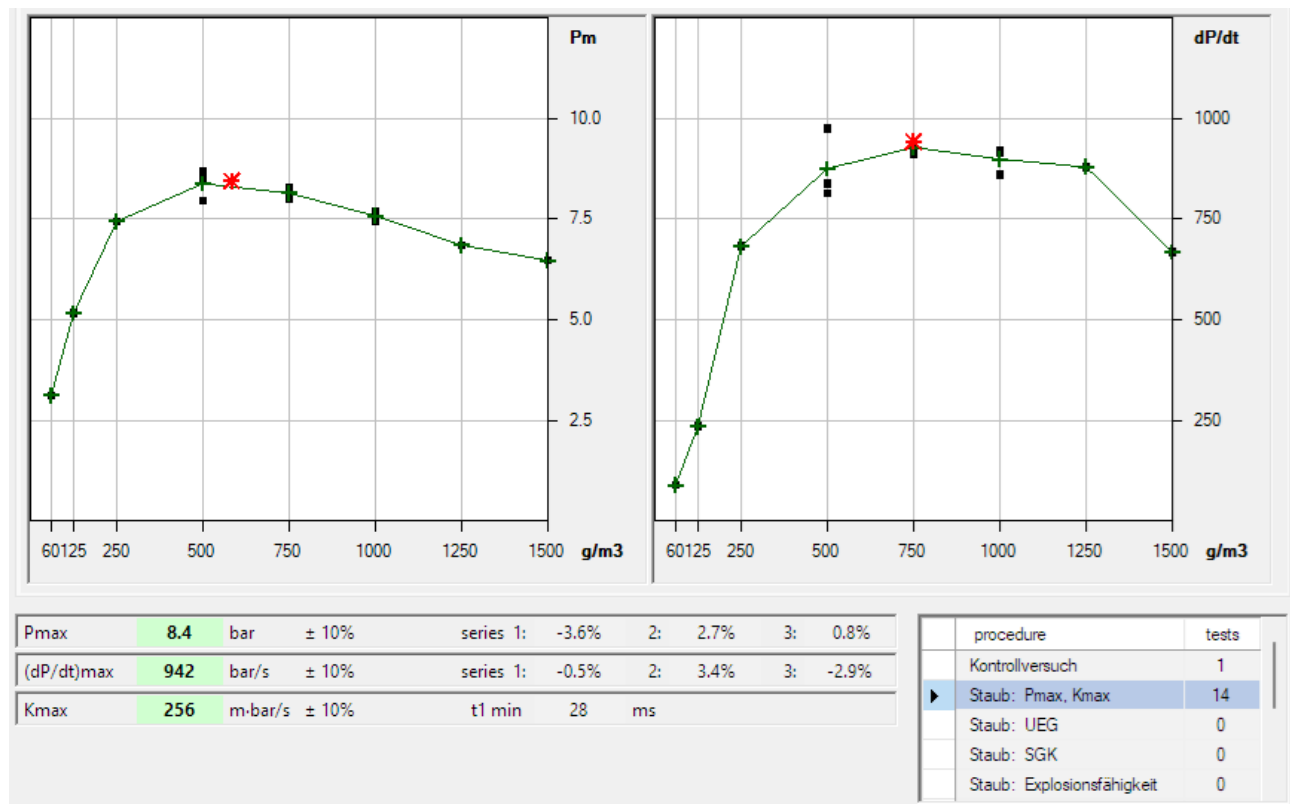
#### Symbole der Tabelle:

|  |
|--|
| Maximum-Wert (einer jeden Serie), hellgrün   |
| dieser Wert ist fehlerhaft, hellrot  |
| <input checked="" type="checkbox"/> dieser Versuch ist gültig und wird ausgewertet (Wechsel durch Klick auf dieses Feld) |
| <input type="checkbox"/> der Druckverlauf ist gespeichert (Anzeige der Kurve durch Doppelklick auf dieses Feld)          |
| <input checked="" type="checkbox"/> ausgewählter Druckverlauf (Curve)  |



#### 4.2.10 Graphik der Resultate (Graph)

Angezeigt werden jeweils die Einzelwerte (Quadrate), die Mittelwerte (Kreuze) und für „Pm“ bzw. „dP/dt“ noch das Mittel aus den Maxima einer jeden Serie (Stern).



#### Berechnung der Explosionskenngrossen

Als Kenngrösse für den maximalen Explosionsdruck Pmax und den maximalen zeitlichen Druckanstieg (dP/dt)max wird der **Mittelwert** aus den **Maximalwerten** einer jeden Serie angegeben, kurz Mittel aus Maxima genannt.

Pm [Serie n] = Maximalwert einer jeden Serie

$$\mathbf{Pmax} = (Pm [Serie 1] + Pm [Serie 2] + Pm [Serie 3]) / 3$$

(dP/dt)m [Serie n] = Maximalwert einer jeden Serie

$$\mathbf{(dP/dt)max} = (dP/dt [Serie 1] + dP/dt [Serie 2] + dP/dt [Serie 3]) / 3$$

$$\mathbf{Kmax} = 0.27144 \times (dP/dt)max$$

$$\sqrt[3]{0.02} = 0.02^{1/3} = 0.27144$$

#### 4.2.11 Überprüfung der Explosionskenngrößen

**P<sub>max</sub>** ist der Mittelwert aus den Maxima von 3 Serien.

Jedes der Maxima darf nicht mehr als **10%** von **P<sub>max</sub>** abweichen.

Andernfalls muss diese Serie wiederholt werden !

**(dP/dt)<sub>max</sub>** ist der Mittelwert aus den Maxima von 3 Serien.

Jedes der Maxima darf nicht mehr, als wie folgt angegeben, abweichen.

Andernfalls muss diese Serie wiederholt werden !

| <b>(dP/dt)<sub>max</sub></b> | <b>K<sub>max</sub></b> | <b>Abweichung</b> |
|------------------------------|------------------------|-------------------|
| <b>≤ 185</b>                 | <b>≤ 50</b>            | <b>± 30 %</b>     |
| <b>186 - 370</b>             | <b>51 - 100</b>        | <b>± 20 %</b>     |
| <b>371 - 740</b>             | <b>101 - 200</b>       | <b>± 12 %</b>     |
| <b>&gt; 740</b>              | <b>&gt; 200</b>        | <b>± 10 %</b>     |

Diese Überprüfung erfolgt automatisch. Serien die ausserhalb der Toleranz liegen, werden mit roter Farbe hervorgehoben. Diese Serie muss dann wiederholt werden.



Werden durch Wiederholung mehr als 3 Serien geschossen, so sind die besten drei Serien auszuwählen (mit der kleinsten Abweichung untereinander). Alle anderen Versuche müssen als ungültig markiert werden.

#### 4.2.12 Vergleich mit den Referenzwerten

Vergleichen Sie zum Schluss der Kalibrierung Ihre Resultate mit den mit dem Prüfstaub mitgelieferten Referenzwerten. Ihre Resultate müssen im vorgegebenen Toleranzband liegen. Andernfalls möchten wir Sie bitten, die folgenden Fehlerquellen zu überprüfen:

##### Fehlerquellen

1. Synthetische Druckluft
2. Defekte oder verstopfte Manometer (Vakuum, Vorkammerdruck).
3. Undichtigkeit der Apparatur (O-Ring, Kugelhahn).
4. Zu alte und zu harte Silicon-Schutzschicht an den Drucksensoren.
5. Falsche Einstellung der Ladungsverstärker.
6. Fehlende Kühlung bei der 20-I-Apparatur.

### 4.3 Versuchsdurchführung beim 1m<sup>3</sup> - Behälter

Beim 1m<sup>3</sup> - Behälter sind zusätzlich der Umgebungsdruck und die Behältertemperatur zu berücksichtigen. Diese Werte müssen vor jeder Versuchsdurchführung eingegeben werden. Die Korrekturen für  $P_{ex} \rightarrow P_m$  werden dann vom Programm automatisch durchgeführt.

The screenshot shows the software interface for the 20-I-Apparatur. At the top, it says 'Dust: Pmax, Kmax, LEL'. Below this, there are several input fields: 'series' with a dropdown menu showing '2', 'g/m3' with a dropdown menu showing '250', 'tv [ms]' with a dropdown menu showing '600', and 'IE [J]' with a dropdown menu showing '10k'. To the right of these is a 'comment' field. Below these fields, there is a row with a question mark icon, a temperature field '[°C]' showing '25', a pressure field '[mbar]' showing '1002', and a 'Start Test ?' button. To the right of the 'Start Test ?' button are two small icons: a yellow square and a red square with a white 'X'.

#### [ °C ] Behältertemperatur

Die Temperatur der 20-I-Kugel wird durch die Wasserkühlung konstant gehalten. Beim 1m<sup>3</sup> - Behälter hingegen ist dieser Einfluss zu berücksichtigen (siehe [1.5.4 Temperatur](#)).

#### [mbar] Umgebungsdruck

Bei der 20-I-Apparatur wird der Anfangsdruck zum Zündzeitpunkt auf 1 bar absolut einreguliert. Beim 1m<sup>3</sup> - Behälter hingegen gilt als Ausgangsdruck der Umgebungsdruck. Dieser Einfluss ist zu berücksichtigen (siehe [1.5.5 Vordruck](#)).

## 5. Prüfverfahren für Stäube

### 5.1 Allgemeine Regeln

#### 5.1.1 Probenvorbereitung

Das Produkt muss sorgfältig getrocknet werden z.B. 24 Std bei 50°C unter Vakuum oder 24 Std bei 75°C unter Atmosphärendruck. Die Probe muss so vorbereitet sein, dass der Medianwert **M** < **63 µm** ist. Unter Umständen darf die Untersuchung auch im Anlieferungszustand erfolgen.

#### 5.1.2 Überprüfung der Apparatur

Vor den Versuchen ist die Apparatur wie folgt genau zu überprüfen:

##### Druckluft

- Es darf nur normale Kompressor-Druckluft (aus Flaschen) verwendet werden.
- Der Druck in der Flasche muss mindestens 40 bar betragen.

##### Dichtigkeit

- Den Staubvorratsbehälter mit Druckluft auf 20 bar füllen. Wenn die Manometeranzeige in 1 Minute um mehr als 1 bar fällt, dann sind die Dichtungen am Auslassventil zu prüfen.

##### Betriebstemperatur

- Das Kühlwasser muss mit mindestens 0.5 Liter / Minute fließen.
- Die Austrittstemperatur des Kühlwassers darf 25°C nicht überschreiten.

#### 5.1.3 Kontrollversuch (siehe auch 4.1)

Als Kontrollversuch wird ein automatischer Prüfablauf ohne Staub und ohne chemische Zünder bezeichnet. Dadurch wird auf einfache Weise das korrekte Funktionieren der Anlage überprüft. Es empfiehlt sich, diesen Versuch vor jeder neuen Serie zu wiederholen.

1. Prüfverfahren = **Kontrollversuch**
2. Staubkonzentration = 0 g/m<sup>3</sup>
3. Zündenergie = 0 J
4. Zündverzögerung = 60 ms
5. Druckluft auf 20 bar (21 bar absolut) einregulieren.
6. Die Apparatur auf 0,4 bar absolut evakuieren (Anzeige = -0,6 bar).
7. Den automatischen Prüfablauf starten
8. Entlüftungshahn (links) langsam öffnen, es darf keine Luft aus- oder einströmen.  
D.h. in der Apparatur muss Definitionsgemäss Atmosphärendruck herrschen.



Ein Vergleich mit dem Umgebungsdruck ist nur dann zulässig, wenn dieser nicht wesentlich von 1013mbar abweicht. Andernfalls muss für diese Prüfung ein absolut messendes Manometer an den Entlüftungskugelhahn angeschlossen werden.

## 5.2 Staub - Kenngrößen: $P_{max}$ , $(dP/dt)_{max}$ , $K_{max}$

---

Referenz: EN 14034-1&2, ASTM E1226

### 5.2.1 Prüfbedingungen

---

|                           |    |  |
|---------------------------|----|--|
| Prüfverfahren (procedure) | =  | <b>Staub: <math>P_{max}</math>, <math>K_{max}</math></b> |
| Zündquelle                | =  | Chemische Zünder   |
| Zündenergie               | ZE | = <b>2 x 5 kJ</b>  |
| Zündverzögerungszeit      | tv | = 60 ms  |

### 5.2.2 Prüfablauf

---

In einer ersten Versuchsreihe werden der maximale Explosionsdruck und der maximale zeitliche Druckanstieg ermittelt. Beginnend mit einer niedrigen Staubkonzentration von 60g/m<sup>3</sup> (1.2g / 20-l), wird die Staubkonzentration solange in Stufen vergrößert, bis die Höchstwerte des Explosionsdruckes und des zeitlichen Druckanstiegs eindeutig erfasst sind. Die folgenden Stufen sind zu verwenden:

60; 125; 250; 500; 750; 1000; 1250; 1500 g/m<sup>3</sup>

Nach der ersten Versuchsreihe wird nur noch der Nahbereich der Optima ( $P_{max}$ ,  $(dP/dt)_{max}$ ) kontrolliert, d.h. die Versuche bei der Optimalkonzentration und die Versuche mit der nächsthöheren bzw. mit der nächstniedrigeren Konzentrationsstufe werden wiederholt. Ein Beispiel: (Vorausgesetzt, die Maxima von  $P_m$  und  $dP/dt$  liegen bei 250 bzw. 500 g/m<sup>3</sup>)

|           |     |      |      |      |      |                       |
|-----------|-----|------|------|------|------|-----------------------|
| 1. Serie: | 60, | 125, | 250, | 500, | 750, | 1000 g/m <sup>3</sup> |
| 2. Serie: |     | 125, | 250, | 500, | 750  |                       |
| 3. Serie: |     | 125, | 250, | 500, | 750  |                       |

### 5.2.3 Berechnung der Explosionskenngrößen

---

Als Kenngrösse für den maximalen Explosionsdruck  $P_{max}$  und den maximalen zeitlichen Druckanstieg  $(dP/dt)_{max}$  wird der **Mittelwert** aus den **Maximalwerten** einer jeden Serie angegeben, kurz Mittel aus Maxima genannt.

$P_m$  [Serie n] = Maximalwert einer jeden Serie

$$P_{max} = (P_m \text{ [Serie 1]} + P_m \text{ [Serie 2]} + P_m \text{ [Serie 3]}) / 3$$

$(dP/dt)_m$  [Serie n] = Maximalwert einer jeden Serie

$$(dP/dt)_{max} = (dP/dt \text{ [Serie 1]} + dP/dt \text{ [Serie 2]} + dP/dt \text{ [Serie 3]}) / 3$$

$$K_{max} = 0.27144 \times (dP/dt)_{max}$$

#### 5.2.4 Überprüfung der Explosionskenngrößen

---

**P<sub>max</sub>** ist der Mittelwert aus den Maxima von 3 Serien.

Jedes der Maxima darf nicht mehr als **10%** von **P<sub>max</sub>** abweichen.

Andernfalls muss diese Serie wiederholt werden !

**(dP/dt)<sub>max</sub>** ist der Mittelwert aus den Maxima von 3 Serien.

Jedes der Maxima darf nicht mehr, als wie folgt angegeben, abweichen.

Andernfalls muss diese Serie wiederholt werden !

| <b>(dP/dt)<sub>max</sub></b> | <b>K<sub>max</sub></b> | <b>Abweichung</b> |
|------------------------------|------------------------|-------------------|
| <b>≤ 185</b>                 | <b>≤ 50</b>            | <b>± 30 %</b>     |
| <b>186 - 370</b>             | <b>51 - 100</b>        | <b>± 20 %</b>     |
| <b>371 - 740</b>             | <b>101 - 200</b>       | <b>± 12 %</b>     |
| <b>&gt; 740</b>              | <b>&gt; 200</b>        | <b>± 10 %</b>     |

Diese Überprüfung erfolgt automatisch. Fehlerhafte Serien werden mit roter Farbe hervorgehoben.

### 5.3 Staub - Untere Explosionsgrenze (UEG)

Referenz: EN 14034-3, ASTM E1515

#### 5.3.1 Prüfbedingungen

|                           |    |                                       |
|---------------------------|----|---------------------------------------|
| Prüfverfahren (procedure) |    | = <b>Staub: UEG</b>                   |
| Zündquelle                |    | = Chemische Zünder                    |
| Zündenergie               | ZE | = <b>EN: 2 x 1kJ, ASTM: 1 x 2.5kJ</b> |
| Zündverzögerungszeit      | tv | = 60 ms                               |

#### 5.3.2 Prüfablauf

**EN 14034-3:** Dieses Verfahren ist mit einer Staubkonzentration von 125 g/m<sup>3</sup> oder einer anderen Konzentration, bei der eine Explosion auftritt, zu beginnen und durch Verringerung in Schritten von 50 % der vorherigen Konzentration zu wiederholen, wie nachfolgend dargestellt.

750; 500; 250; 125; 60; 30 g/m<sup>3</sup>

Dieses Verfahren ist bis hinunter zu der Konzentration zu wiederholen, bei der keine Explosion erfolgt. Die höchste Konzentration von brennbarem Staub, bei der bei **drei** aufeinander folgenden Prüfungen kein Entzünden erfolgt, wird als die untere Explosionsgrenze (UEG) angegeben.

**ASTM E1515** fordert für die Kalibrierung: Die UEG muss auf ±10 % oder 5 g/m<sup>3</sup> übereinstimmen, je nachdem, welcher Wert größer ist. Wir empfehlen deshalb, die Schrittweite der Staubkonzentrationen im Bereich Zündung / Nichtzündung auf **5 g/m<sup>3</sup>** zu reduzieren.

**Auswertung** (EN-14034-3 mit ZE = 2 x 1kJ)

| Pex [bar] | Pm [bar] | Entscheidung:           |
|-----------|----------|-------------------------|
| < 0.5     | < 0.2    | <b>keine</b> Entzündung |
| ≥ 0.5     | ≥ 0.2    | Entzündung              |



Diese Bestimmung ist naturgemäß sehr empfindlich auf Produktrückstände aus vorausgehenden Versuchen. Es hat sich deshalb als zweckmässig erwiesen, zwischen den einzelnen Versuchen mit Staub, einen Blindversuch (nur Zünder, aber ohne Staub) einzufügen, um die Rückstände nach der Reinigung zu beseitigen.

## 5.4 Staub - Explosionsfähigkeit

Referenz: ISO/IEC 80079-20, ASTM E1226

### 5.4.1 Prüfbedingungen

|                           |   |  |
|---------------------------|---|--|
| Prüfverfahren (procedure) | = | <b>Staub: Explosionsfähigkeit</b>        |
| Zündquelle                | = | Chemische Zünder                         |
| Zündenergie ZE            | = | <b>ISO/IEC: 2 x 1kJ, ASTM: 1 x 2.5kJ</b> |
| Zündverzögerungszeit tv   | = | 60 ms                                    |

### 5.4.2 Prüfablauf

Vor jedem Versuch müssen 20-I-Kugel und Staubvorratsbehälter gründlich gereinigt werden.

In der Regel werden Staubkonzentrationen von  $30 \text{ g/m}^3$  ...  $2000 \text{ g/m}^3$  untersucht:

z.B. 30, 60, 125, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500, 1750,  $2000 \text{ g/m}^3$

**Auswertung** (ISO/IEC 80079-20 mit ZE = 2 x 1kJ)

| Pex [bar] | Pm [bar] | Entscheidung:           |
|-----------|----------|-------------------------|
| < 0.5     | < 0.2    | <b>keine</b> Entzündung |
| ≥ 0.5     | ≥ 0.2    | Entzündung              |



Ein Staub, der über einen breiten Konzentrationsbereich ( $30 \dots 2000 \text{ g/m}^3$ ) mit einer Zündenergie von ZE = 2 x 1kJ (chemische Zünder) nicht zur Explosion gebracht werden kann, wird als **nicht staubexplosionsfähig** klassifiziert.

Das heisst, der Staub kann höchstwahrscheinlich gar nicht zur Explosion gebracht werden, oder nur bei Anwendung einer noch stärkeren Zündenergie (ZE > 2kJ).



Entscheidungsschwellen für eine Entzündung:

ISO/EC 80079-20, 20-I-Kugel,  $P_{ex} \geq ( *Z\ddot{u}nderdruck + 0.3 \text{ bar} )$   
 \*Zünderdruck berechnet (siehe 1.4.2) = 0.3 bar ->  $P_{ex} \geq ( P_m + 0.3 ) == 0.5 \text{ bar}$   
 \*Zünderdruck gemessen, typisch = 0.2 bar ->  $P_{ex} \geq ( 0.2 + 0.3 ) == 0.5 \text{ bar}$



## 5.5 Staub - Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK)

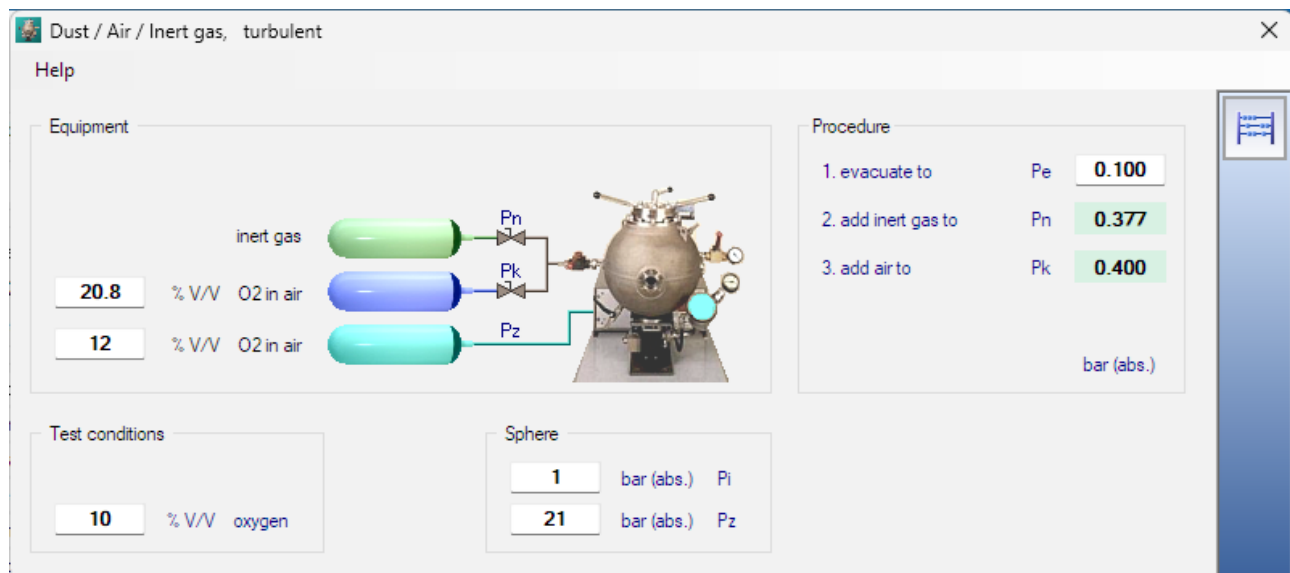
Referenz: EN 14034-4, ASTM E2931

### 5.5.1 Prüfbedingungen

|                           |    |                                       |
|---------------------------|----|---------------------------------------|
| Prüfverfahren (procedure) | =  | <b>Staub: SGK</b>                     |
| Zündquelle                | =  | Chemische Zünder                      |
| Zündenergie               | ZE | = <b>EN: 2 x 1kJ, ASTM: 1 x 2.5kJ</b> |
| Zündverzögerungszeit      | tv | = 60 ms                               |

### 5.5.2 Prüfablauf

Im Allgemeinen wird als Inertgas Stickstoff verwendet. Deshalb basieren die folgenden Ausführungen nur auf Stickstoff. Die gewünschten Stickstoff/Luft-Gemische können nach dem Partialdruckverfahren erstellt werden. Es hat sich als nützlich erwiesen, das so erzeugte Stickstoff/Luft-Gemisch von Zeit zu Zeit mittels geeigneter Messgeräte zu überprüfen.



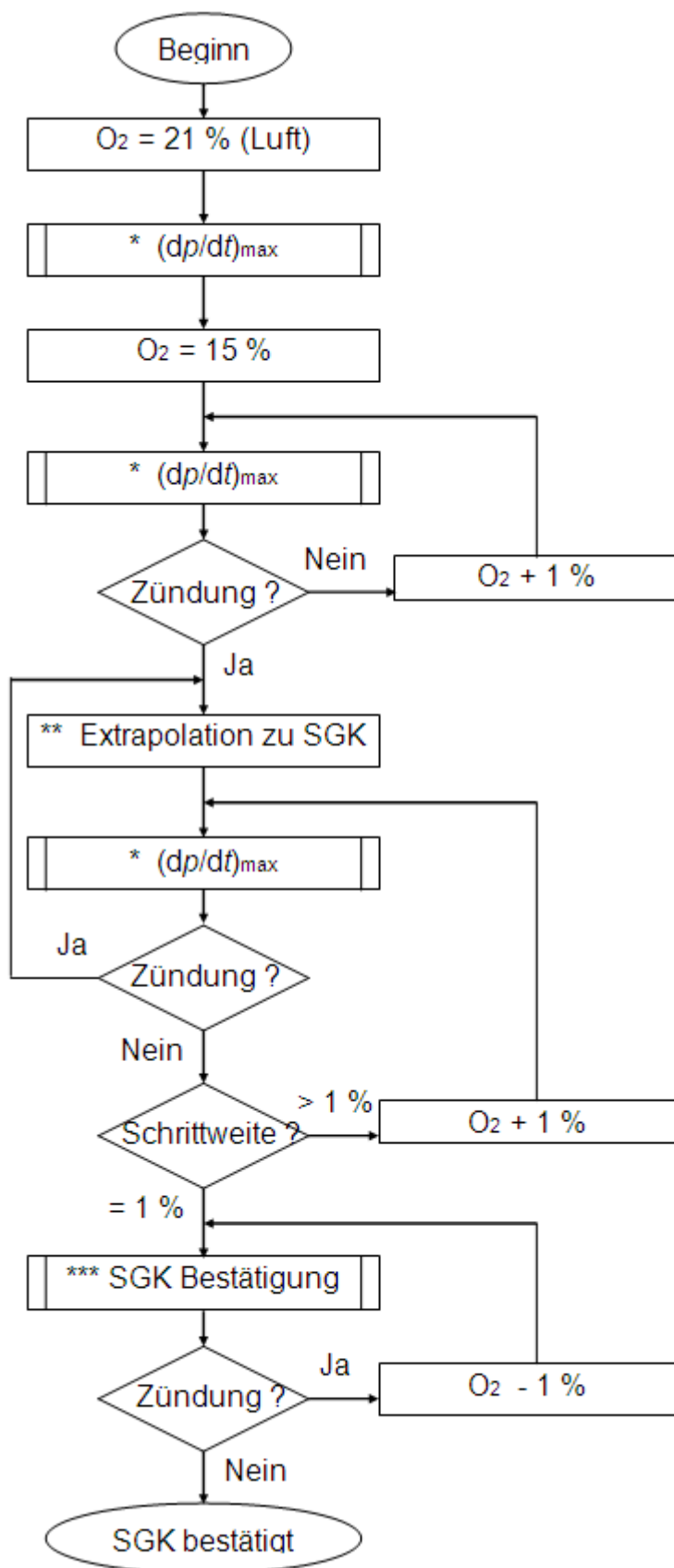
**Methode 1** (EN-14034-4): Nach einer ersten Versuchsreihe in Normalluft ( $O_2 = 21\%$ ) werden Messungen über einen breiten Konzentrationsbereich des Staubes bei z.B. 15%  $O_2$  durchgeführt.

Sind diese Versuche positiv, so kann durch Extrapolation der beiden  $K_{max}$ -Werte gegen 0 m-bar/s ein Grenzwert abgeschätzt werden. Bei diesem Wert werden nun Explosionsversuche über einen breiten Konzentrationsbereich des Staubes durchgeführt. Verlaufen diese positiv, so werden die Versuche mit einem um 1% V/V verringertem, bei negativem Verlauf mit einem um 1% V/V erhöhten  $O_2$ -Gehalt in  $N_2$  wiederholt und in diesem Sinne weitergeführt, bis eben keine Entzündungen der Staub/Luft-Gemische mehr eintreten.

Es müssen **3** Nichtzündungsversuche pro Staubkonzentration durchgeführt werden.

**Auswertung** (EN-14034-4 mit ZE = 2 x 1kJ)

| Pex [bar] | Pm [bar] | Entscheidung:           |
|-----------|----------|-------------------------|
| < 0.5     | < 0.2    | <b>keine</b> Entzündung |
| ≥ 0.5     | ≥ 0.2    | Entzündung              |

**Methode 1 (EN-14034-4)****\* (dp/dt)<sub>max</sub>-Bestimmung**

Bestimmung von (dp/dt)<sub>max</sub> durch Verändern der Staubkonzentration.

Die folgenden Stufen sind zu verwenden: 60, 125, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500g/m<sup>3</sup>

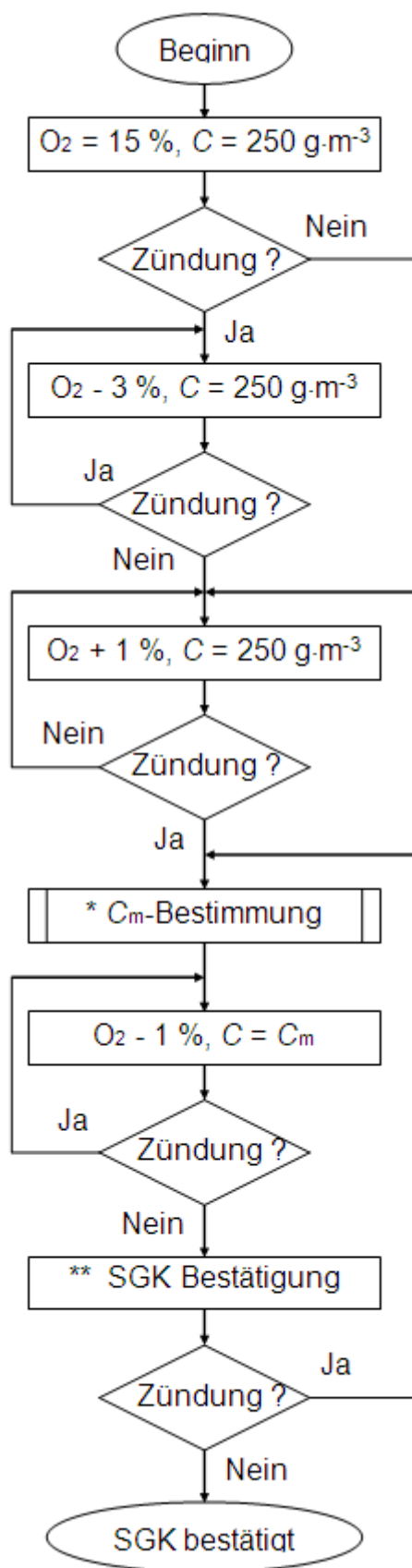
Bei den meisten Stäuben mit einer Staubkonzentration von 500g/m<sup>3</sup> beginnen.

**\*\* Extrapolation zur SGK**

Die Werte von (dp/dt)<sub>max</sub> werden über O<sub>2</sub> aufgetragen, um einen Schätzwert für die SGK durch lineare Extrapolation zu (dp/dt)<sub>max</sub> = 0 bar/s zu erhalten.

**\*\*\* SGK-Bestätigung**

Bestätigung der SGK durch 3 Prüfungen ohne Entzündung bei jeder Staubkonzentration, die bei einer um 1 % höheren O<sub>2</sub>-Konzentration zu einer Explosion führte.

**Methode 2 (EN-14034-4)**

Bei den meisten Stäuben ist es ratsam, mit einer Staubkonzentration von  $C = 250 \text{ g/m}^3$  und einer Sauerstoffkonzentration von 15% zu beginnen.

**\* C<sub>m</sub>-Bestimmung**

C<sub>m</sub> ist die Staubkonzentration, bei der bei jeder vorgegebenen O<sub>2</sub>-Konzentration der höchste Explosionsdruck P<sub>ex</sub> auftritt.

Die folgenden Stufen sind zu verwenden:  
60, 125, 250, 500, 750, 1000, 1250, 1500 g/m<sup>3</sup>

**\*\*\* SGK-Bestätigung**

Bestätigung der SGK durch 3 Prüfungen ohne Entzündung bei jeder Staubkonzentration, die bei einer um 1 % höheren O<sub>2</sub>-Konzentration zu einer Explosion führte.

## 6. Prüfverfahren für Gase und Lösungsmitteldämpfe (ruhend)

### 6.1 Allgemeine Regeln

Es ist üblich die Explosionskenngrößen von Gasen und Lösungsmitteldämpfen soweit möglich bei Raumtemperatur und Normaldruck zu bestimmen, und eine Dauerfunkenstrecke als Zündquelle zu benutzen, deren Energie in der Größenordnung von 10 J liegt.

Die Bestimmung der Explosionskenngrößen kann prinzipiell entweder im ruhenden oder im turbulenten Zustand der Gas(Lösungsmitteldampf)/Luft-Gemische erfolgen. Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass sich die Gasgemische im Augenblick der Entzündung im ruhenden Zustand befinden. Deshalb wird an Stelle der Staubverteilungsanordnung ein Verschlusszapfen eingeschraubt, der die Apparatur nach unten dicht abschliesst.

Die gewünschten Gas/Luft-Gemische können einfach nach dem Partialdruckverfahren erstellt werden. Es hat sich als nützlich erwiesen, das so erzeugte Gas/Luft-Gemisch von Zeit zu Zeit mittels geeigneter Messgeräte zu überprüfen.

Gas / Air, quiescent

Help

Equipment

fuel gas

air

Pg

Pi

Procedure

1. evacuate to  $P_e$  0.100
2. add fuel gas to  $P_g$  0.147
3. add air to  $P_i$  1.000

bar (abs.)

Test conditions

4.7 % V/V fuel gas

Sphere

1 bar (abs.)  $P_i$



Bei Untersuchungen im ruhenden Zustand erfolgt die Zumischung des Brennstoffes direkt in die 20-I-Kugel und nicht über den Staubvorratsbehälter. Somit ergibt sich auch kein Expansionsdruck der Vorratsbehälterluft ( $P_d = 0$  bar). Setzen Sie deshalb  $t_v = 0$  ms. Das Zündsignal erfolgt dann unmittelbar nach Auslösung des Versuchs und die Auswertung von  $P_d$  und  $t_d$  wird unterdrückt.

## 6.2 Gas - Kenngrößen: $P_{\max}$ , $(dP/dt)_{\max}$ , $K_{\max}$

### 6.2.1 Prüfbedingungen

|                           |    |   |
|---------------------------|----|---|
| Prüfverfahren (procedure) |    | = Gas: $P_{\max}$ , $K_{\max}$ , UEG        |
| Zündquelle                |    | = Dauerfunkenstrecke                        |
| Zündenergie               | ZE | = 10 J                                      |
| Zündverzögerungszeit      | tv | = 0 ms                                      |
| Zerstäubungsdruck         | Pz | = 0 bar (1 bar absolut, kein Vorevakuieren) |

### 6.2.2 Prüfablauf

In einer ersten Versuchsreihe wird der maximale Explosionsdruck und der maximale zeitliche Druckanstieg über einen breiten Gaskonzentrationsbereich ermittelt. Jeweils ausgehend von einer Gaskonzentration grösser als die UEG wird eine Steigerung oder eine Verringerung der Gaskonzentration in Schritten von maximal 1% V/V, solange vorgenommen, bis die Höchstwerte des Explosionsdruckes und des zeitlichen Druckanstieges eindeutig erfasst sind.

Nach der ersten Versuchsreihe wird nur noch der Nahbereich der Optima ( $P_{\max}$ ,  $(dP/dt)_{\max}$ ) kontrolliert, d.h. die Versuche bei der Optimalkonzentration und die Versuche mit der nächsthöheren bzw. mit der nächstniedrigeren Konzentrationsstufe werden wiederholt. Ein Beispiel:

(Vorausgesetzt, die Maxima von  $P_m$  und  $dP/dt$  liegen bei 4.5 % V/V)

|           |      |      |      |      |      |      |           |
|-----------|------|------|------|------|------|------|-----------|
| 1. Serie: | 2.0, | 3.0, | 3.5, | 4.0, | 4.5, | 5.0, | 5.5 % V/V |
| 2. Serie: |      |      |      | 4.0, | 4.5, | 5.0  |           |
| 3. Serie: |      |      |      | 4.0, | 4.5, | 5.0  |           |

### 6.2.3 Berechnung der Explosionskenngrößen



Als Kenngröße für den maximalen Explosionsdruck  $P_{\max}$  und den maximalen zeitlichen Druckanstieg  $(dP/dt)_{\max}$  wird der **Mittelwert** aus den **Maximalwerten** einer jeden Serie angegeben, kurz Mittel aus Maxima genannt.

$P_m$  [Serie n] = Maximalwert einer jeden Serie

$$P_{\max} = (P_m [\text{Serie 1}] + P_m [\text{Serie 2}] + P_m [\text{Serie 3}]) / 3$$

$(dP/dt)_m$  [Serie n] = Maximalwert einer jeden Serie

$$(dP/dt)_{\max} = (dP/dt [\text{Serie 1}] + dP/dt [\text{Serie 2}] + dP/dt [\text{Serie 3}]) / 3$$

$$K_{\max} = 0.27144 \times (dP/dt)_{\max}$$

## 6.3 Gas - Untere Explosionsgrenze (UEG)

### 6.3.1 Prüfbedingungen

|                           |    |   |
|---------------------------|----|---|
| Prüfverfahren (procedure) |    | = <b>Gas: Pmax, Kmax, UEG</b>               |
| Zündquelle                |    | = Dauerfunkenstrecke                        |
| Zündenergie               | ZE | = <b>10 J</b>                               |
| Zündverzögerungszeit      | tv | = 0 ms                                      |
| Zerstäubungsdruck         | Pz | = 0 bar (1 bar absolut, kein Vorevakuieren) |

### 6.3.2 Prüfablauf

Die Versuchsreihe wird mit einem Vielfachen von 0.25 % V/V z.B. 2 oder 3 % V/V begonnen.

Die Versuchsreihe wird unter systematischer Erhöhung der Gaskonzentration solange weitergeführt, bis eine Entzündung des Gas/Luft-Gemisches erfolgt. Anschliessend werden die Versuche bei einer um 0.25 % V/V niedrigeren Gaskonzentration weitergeführt und die Konzentration solange reduziert, bis diejenige Konzentration erreicht wird bei der eben gerade keine Explosion mehr in **drei** aufeinanderfolgenden Versuchen erfolgt.

Für die Bestimmung der **oberen Explosionsgrenze OEG** ist sinngemäss zu verfahren.

Um einen exakten Wert zu erhalten, sind die Versuche auf insgesamt drei Nichtzündungen pro Konzentration auszudehnen.

### 6.3.3 Auswertung (ZE = 10 J)

| Pex [bar] | Pm [bar] | Entscheidung:           |
|-----------|----------|-------------------------|
| < 0.1     | < 0.1    | <b>keine</b> Entzündung |
| ≥ 0.1     | ≥ 0.1    | Entzündung              |



Als UEG bzw. OEG ist diejenige Konzentration anzugeben, die eben gerade keine Explosion in 3 aufeinander folgenden Versuchen mehr ergibt.

Wird dieses Verfahren nur einmal durchgeführt (1 negativer Versuch), so ist der Wert als UEG oder OEG = ca. ...% V/V anzugeben

## 6.4 Gas - Sauerstoffgrenzkonzentration (SGK)

### 6.4.1 Prüfbedingungen

|                           |    |   |
|---------------------------|----|---|
| Prüfverfahren (procedure) |    | = <b>Gas: SGK</b>                           |
| Zündquelle                |    | = Dauerfunkenstrecke                        |
| Zündenergie               | ZE | = <b>10 J</b>                               |
| Zündverzögerungszeit      | tv | = 0 ms                                      |
| Zerstäubungsdruck         | Pz | = 0 bar (1 bar absolut, kein Vorevakuieren) |

### 6.4.2 Prüfablauf

Da im allgemeinen Stickstoff als Inertgas verwendet wird, basieren die folgenden Ausführungen nur auf Stickstoff. Die gewünschten Stickstoff/Luft-Gemische können einfach nach dem Partialdruckverfahren erstellt werden. Es hat sich als nützlich erwiesen, das so erzeugte Stickstoff/Luft-Gemisch zeitweise mittels geeigneter Messgeräte zu überprüfen.

Nach einer ersten Versuchsreihe in Normalluft ( $O_2 = 20.8\% \text{ V/V}$ ) werden Messungen über einen breiten Konzentrationsbereich des Gases bei z.B.  $17\% \text{ V/V } O_2$  in  $N_2$  durchgeführt. Anschliessend werden die Versuche weitergeführt durch systematisches Verringern der  $O_2$ -Konzentration in  $N_2$ , bis eben keine Entzündungen der Gas/Luft-Gemische mehr eintreten. Es müssen mindestens 3 Nichtzündungsversuche pro Gaskonzentration durchgeführt werden.

### 6.4.3 Auswertung (ZE = 10 J)

| Pex [bar] | Pm [bar] | Entscheidung:           |
|-----------|----------|-------------------------|
| < 0.1     | < 0.1    | <b>keine</b> Entzündung |
| ≥ 0.1     | ≥ 0.1    | Entzündung              |



Die Sauerstoffkonzentration bei der in einem Gas/Luft/Inertgas-Gemisch bei drei aufeinanderfolgenden Zündversuchen gerade keine Gasexplosion mehr möglich ist, wird als Sauerstoffgrenzkonzentration bezeichnet.

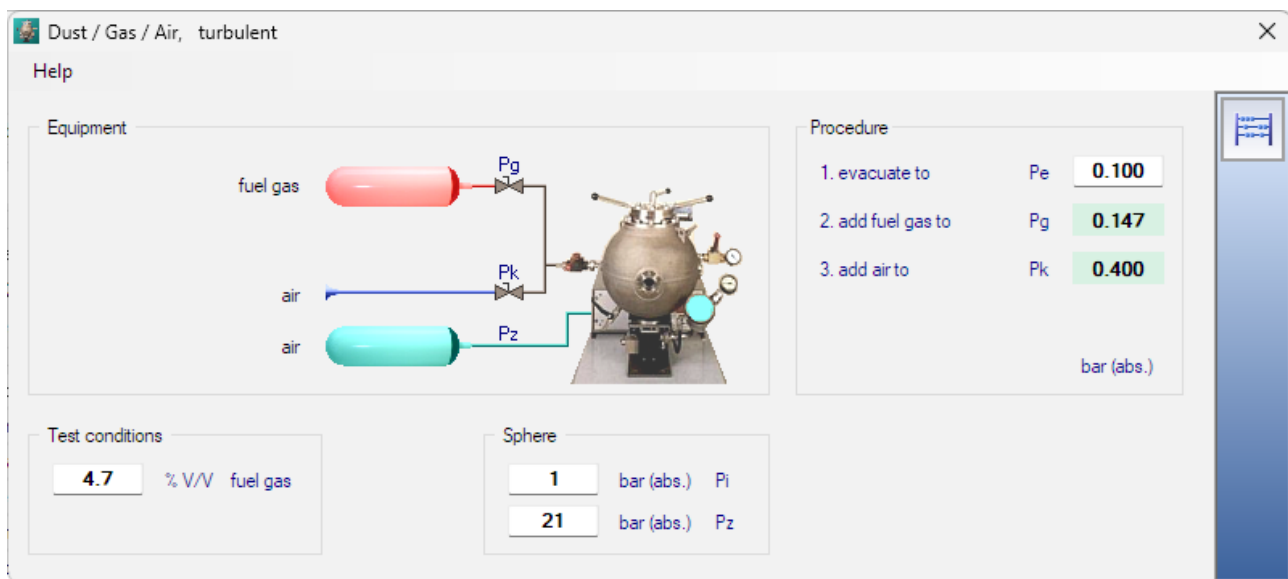
## 7. Prüfverfahren für Hybride Gemische

Für die Erstellung der hybriden Gemische wird in abgestuften Konzentrationen Propan, als Ersatzbrenngas für die Lösungsmitteldämpfe, der Verbrennungsluft beigefügt.

### 7.1 Kenngrößen: $P_{max}$ , $(dP/dt)_{max}$ , $K_{max}$

#### 7.1.1 Prüfbedingungen

|                           |    |   |
|---------------------------|----|---|
| Prüfverfahren (procedure) |    | = <b>Hybrid: <math>P_{max}</math>, <math>K_{max}</math></b> |
| Zündquelle                |    | = Chemische Zünder  |
| Zündenergie               | ZE | = <b>2 x 5 kJ</b>   |
| Zündverzögerungszeit      | tv | = 60 ms   |
| Zerstäubungsdruck         | Pz | = 20 bar (21 bar absolut, Vorevakuieren)                    |



#### 7.1.2 Prüfablauf

Nach der ersten Untersuchung in Normalluft (siehe [5.2 Staub-Kenngrößen](#)) werden die Versuche mit einem zusätzlichen Anteil an Brenngas in der Normalluft wiederholt. Die Versuche erfolgen wiederum über einen breiten Staub-Konzentrationsbereich bis die Maximalwerte des hybriden Gemisches deutlich überschritten sind. Anschliessend sind zwei weitere Versuchsreihen - wie oben beschrieben - durchzuführen.

Als Brenngaskonzentration wird diejenige gewählt, die für die Sicherheitsbeurteilung von Bedeutung ist. Werden keine Forderungen gestellt, so ist es sinnvoll, die Untersuchungen über einen breiten Brenngasanteil durchzuführen. Dadurch können die Maximalwerte des hybriden Gemisches erhalten werden.

#### 7.1.3 Auswertung



Die Maximalwerte des hybriden Gemisches stellen sich bei der optimalen Brenngaskonzentration für den  $K_{max}$ -Wert ein. Für Propan beträgt diese ca. 4,25 - 4,5% V/V



## 8. Literatur

|                        |  |
|------------------------|--|
| VDI-GL 2263            | Staubbrände und Staubexplosionen, Gefahrenbeurteilung und Schutzmassnahmen, Beuth-Verlag GmbH, Berlin und Köln, 1986   |
| W. Bartknecht          | Dust Explosions; Course, Prevention, Protection<br>Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1989  |
| R. Siwek               | Explosion Characteristics and Influencing Factors,<br>International Symposium on Control & Prevention of Dust Explosions<br>Basel, 1982  |
| ISO/DIS 6184/1         | International Standard "Explosion Protection Systems", Part 1: Test methods for the determination of explosion indices of combustible dusts in air"  |
| R. Siwek               | Reliable Determination of the Safety Characteristics in 20-l-apparatus. Symposium on Flammable Dust Explosion; St. Louis Missouri, USA, 1988   |
| W. Bartknecht          | Explosionsschutz; Grundlagen und Anwendung<br>Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1993   |
| G. Pellmont            | Explosions- und Zündverhalten von hybriden Gemischen aus brennbaren Stäuben und Brenngasen. Dissertation ETH Zürich, Nr. 6498, 1979  |
| T. Glarner             | Temperatureinfluss auf das Explosions- und Zündverhalten brennbarer Stäube, Dissertation ETH Zürich, Nr. 7350, 1983  |
| T. Glarner             | Mindestzündenergie - Einfluss der Temperatur<br>VDI-Berichte Nr. 494, Seite 109-118, 1984  |
| R. Siwek<br>Ch. Cesana | Assessment of the fire and explosion hazard of combustible products for unit operations; Butterworth - Heinemann, International conference, Singapore, 1993  |
| R. Siwek<br>Ch. Cesana | Ignition behaviour of Dusts<br>28th Loss Prevention, Atlanta, 1994   |
| R. Siwek<br>Ch. Cesana | Methods for Determination of the Explosion Characteristics according to international Standards, Proceedings of the „First International Seminar on Fire and Explosion Hazard of Substances, Venting of Deflagrations“, July 17-21, Moskau, Russia, 1995 |
| EN 14034-1             | Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen<br>Teil 1: Bestimmung des maximalen Explosionsdruckes $p_{max}$<br>September 2004   |
| EN 14034-2             | Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen<br>Teil 2: Bestimmung des maximalen zeitlichen Druckanstiegs $(dp/dt)_{max}$<br>Mai 2006  |
| EN 14034-3             | Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen<br>Teil 3: Bestimmung der unteren Explosionsgrenze UEG<br>Mai 2006  |
| EN 14034-4             | Bestimmung der Explosionskenngrößen von Staub/Luft-Gemischen<br>Teil 4: Bestimmung der Sauerstoffgrenzkonzentration SGK<br>September 2004  |