

## EXIS = EXploding wire Ignition System

### 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)

Autor: Christoph Cesana

1. Konzept .....	2
1.1 Vorgeschichte .....	2
1.2 EXIS - Prinzip .....	3
1.3 Zündfunken .....	4
1.4 Simulation / Messungen .....	6
1.5 Funkenbilder .....	9
2. Installation von EXIS .....	10
2.1 Anschluss an die 20L-Kugel .....	10
2.2 Anschluss an Messausrüstung KSEP333 .....	11
2.3 Anschluss an Messausrüstung KSEP332 .....	12
3. Bedienung .....	13
3.1 Versuchsbedingung .....	14
3.2 Druckverlauf: Auswertung .....	15
3.3 Prozeduren .....	16
3.4 Zündart und Zündenergie .....	17
4. EXIS - Technik .....	19
4.1 Vergleichsversuche .....	19
4.2 Technische Daten .....	24

## 1. Konzept

### 1.1 Vorgeschichte

Vor 50 Jahren, damals noch bei der Firma „Kühner AG“, wurde bei der Entwicklung der 20-L-Kugel eine Zündquelle auf dem Prinzip „explodierender Schmelzdraht“ gebaut. Die Verlängerung vom Zündfunken durch eine Induktivität wurde dabei zu wenig beachtet. Die Schockwelle vom explodierenden Draht und dessen Plasma hat den Staub eher weggeblasen als gezündet. Die Ergebnisse waren unbefriedigend. Von Dr. Wolfgang Bartknecht wurde damals zu Gunsten der bewährten pyrotechnischen Zünder von Sobbe entschieden und das Projekt „explodierender Draht“ begraben.

Unsere 20-L-Kugel ist inzwischen weltweit sehr verbreitet, aber der Import der pyrotechnischen Zünder von Sobbe oder Simex wird zunehmend schwieriger. Wir haben sogar Kunden, die deswegen die pyrotechnischen Zünder selbst herstellen müssen. Ein zunehmend unbefriedigender Zustand.

Es ist Zeit für eine Renaissance vom „explodierenden Schmelzdraht“ als Zündquelle. Von den neuen Publikationen zu diesem Thema sind folgende besonders zu empfehlen:

**[1] Validation of the New Ignition Source “Exploding Wire” for Dust Explosion Testing in the 20-L-Sphere**

Arne Krietsch, Yolada Kwangvitayanon, Martin Schmidt, Alexander Klippel and Volkmar Schröder, Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM), Department 2 “Chemical Safety Engineering”, D-12200 Berlin, Germany

**Dr. Marc Scheid**, Syngenta Crop Protection, Münchwilen AG, CH-4333 Münchwilen, Switzerland  
SYMPOSIUM SERIES NO 159 HAZARDS 24 © IChemE

**[2] Comparative study on standardized ignition sources used for explosion testing**

**Dr. Stefan Spitzer**, Enis Askar, Arne Krietsch & Volkmar Schröder  
Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin, Germany

**[3] Influence of the ignition source on Safety Characteristics of hybrid dust-gas mixtures**

Dissertation for the attainment of the academic degree Doktoringenieur (**Dr. -Ing.**)  
by M. Eng. **Stefan H. Spitzer**, Otto-von-Guericke University Magdeburg

## 1.2 EXIS - Prinzip

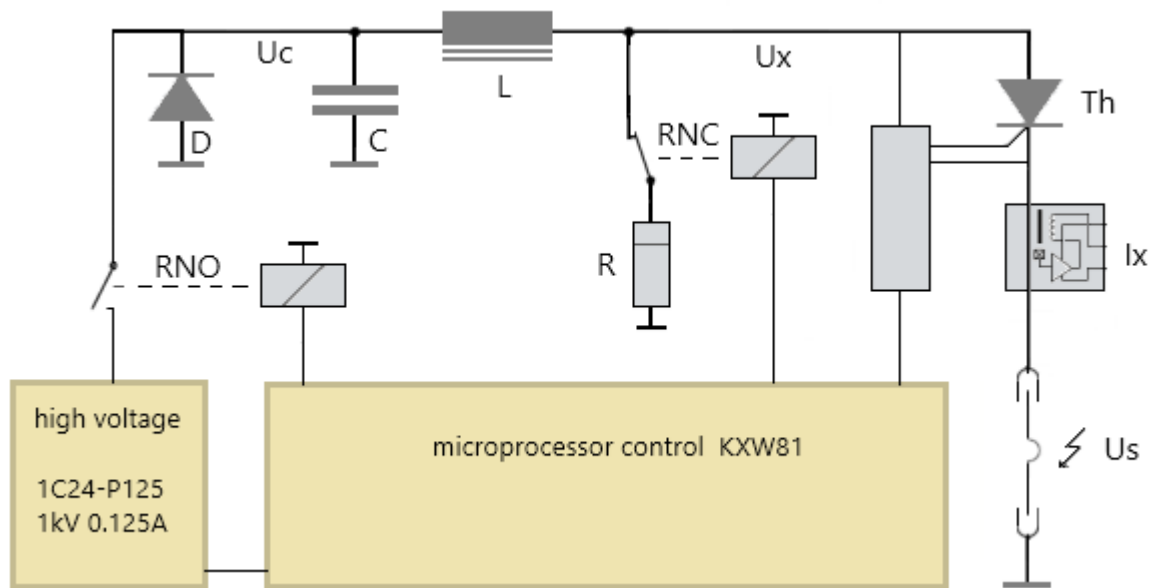


Bild. 1.2.1 Schema

<b>C</b>	Kondensator	<b>5.05mF</b>
<b>L</b>	Induktivität	<b>1mH bei 1900A</b>
<b>Uc</b>	Ladespannung	<b>995V</b>
<b>E</b>	Energie	<b>2.5kJ = 0.5 * 5.05mF * 995^2</b>

### Startbedingungen:

- Sicherheitsschalter an der Kugel ist geschlossen.
- Der Schmelzdraht ist verbunden (kleiner Messstrom).

### Sind die Startbedingungen erfüllt, dann ist der Ablauf:

- Sicherheitsrelais RNC öffnet und das Relais RNO schliesst.
- Kondensator C wird entsprechend der gewünschten Energie auf  $U_c$  geladen.
- Ist alles bereit, dann kann der automatische Prüfablauf gestartet werden.

### Abbruch und sofortige Rückkehr in sicheren Zustand durch:

- Sicherheitsschalter an der Kugel ist offen.
- Abbruch-Befehl in der Software.
- Netzschalter oder Stromausfall.

### Sicherer Zustand:

- Der Thyristor Th zwischen Kondensator und Elektroden ist hochohmig.
- Sicherheitsrelais RNC (normal geschlossen) entladet den Kondensator.

Kondensator C und Induktivität L bilden zusammen einen Schwingkreis. Im EXIS-Konzept übernimmt die Leistungsdiode D für die negative Halbwelle den Stromfluss. Dies verhindert eine negative Restladung im Kondensator nach Ende des Funkens. Die gesamte gespeicherte Energie wird für den Funken verwendet.

## 1.3 Zündfunken

---

### 1.3.1 Eine oder zwei Funkenstrecken?

---

Unsere Apparatur wird die erste kommerziell erhältliche Apparatur sein und somit einen Standard setzen. Es stellt sich zuerst die Frage: Eine oder zwei Funkenstrecken?

Scheid und Spitzer verwendeten 2 Funkenstrecken mit einer Spannung von 460V und relativ kleinem Elektrodenabstand. Das ist für die Apparatur und in der Bedienung recht aufwändig.

Wir dürfen annehmen, dass nur **eine Funkenstrecke von doppelter Länge** das gleiche Zündverhalten hat. Doppelte Länge bedeutet doppelte Spannung über dem Plasma-Kanal. Das ist durchaus machbar. Wir werden deshalb in unserem Projekt nur **eine** Funkenstrecke vorsehen.

### 1.3.2 Funkenstrecke

---

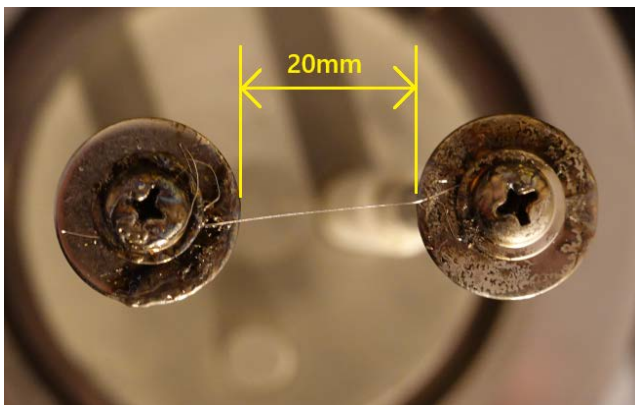


Bild 1.3.1 Funkenstrecke

Elektrodenabstand = 40mm

Karosseriescheibe Ø 20mm

→ Funkenlänge = 20mm

Der Draht wird zwischen Karosseriescheibe und Schraube eingeklemmt. Das geht sehr schnell.

Scheiben und Schrauben sind Verbrauchsmaterial und werden bei Bedarf einfach ersetzt.



Nickel Draht 0.12mm 99.6% rein Ni200

bei Amazon: 25m = €5.90



grosse Karosseriescheibe M5 x 20mm

bei Amazon: 50 Stück = €11.30

Die Schmelztemperatur von rostfreiem Stahl ist 1500°C und von Wolfram 3400°C. Deshalb wurden von Scheid und Spitzer Elektroden aus Wolfram verwendet. Die Temperatur vom Funkenplasma liegt jedoch weit darüber. Von Marc Scheid erfuhr ich, dass der Abbrand bei den Wolfram-Elektroden bei Funken von dieser hohen Energie beträchtlich war und die Elektroden oft gewechselt werden mussten.

Deshalb können wir uns die teuren Wolfram-Teile sparen und gleich billige rostfrei Scheiben verwenden.

### 1.3.3 Funkenenergie

---

ASTM verwendet für die Bestimmung von MEC oder LOC:

“The recommended ignition source for measuring the MEC/LOC of dusts in 20-L chambers is a 2500J pyrotechnic ignitor.” D.h. nur einen Zünder!

EN und ISO verwenden für die Bestimmung von UEG oder SGK:

2 pyrotechnische Zünder von je 1kJ = **2kJ**

Es ist deshalb naheliegend diese beiden Energien **2.5kJ** und **2kJ** anzubieten.

Welche der beiden Werte sich in den Normen durchsetzen wird, bleibt abzuwarten.

Für die Untersuchung von „Zündenergie abhängigen Stäuben“ ergänzen wir nach unten:

**Energie Auswahl:**

E [J]	U[V]
2500	995
2000	890
1000	629
300	345
100	199

Kondensatoren, Induktivität, Leistungshalbleiter und Sicherheitseinrichtung gebaut für einen Spitzenstrom von 2400A wiegen allein 22kg. Das Gesamtgewicht der Apparatur ist bei etwa 30kg.

Funkenenergien von 5kJ oder 10kJ sind zwar prinzipiell machbar, aber ein Gewicht der Apparatur von 60kg oder sogar 120kg ist unrealistisch. Die in den Publikationen vorgestellten Apparaturen sind zwar leichter, verwenden aber Komponenten, die bei weitem nicht für den geforderten Spitzenstrom gebaut sind. Für uns als Hersteller einer kommerziellen Apparatur ist dies unzulässig.

## 1.4 Simulation / Messungen

- Elektrodenabstand = **20mm**
- Kondensatorspannung = **995V**
- Kondensatorkapazität = **5.05mF**
- Energie = **2.5kJ**

### 1.4.1 Simulation mit AutoCAD Spice

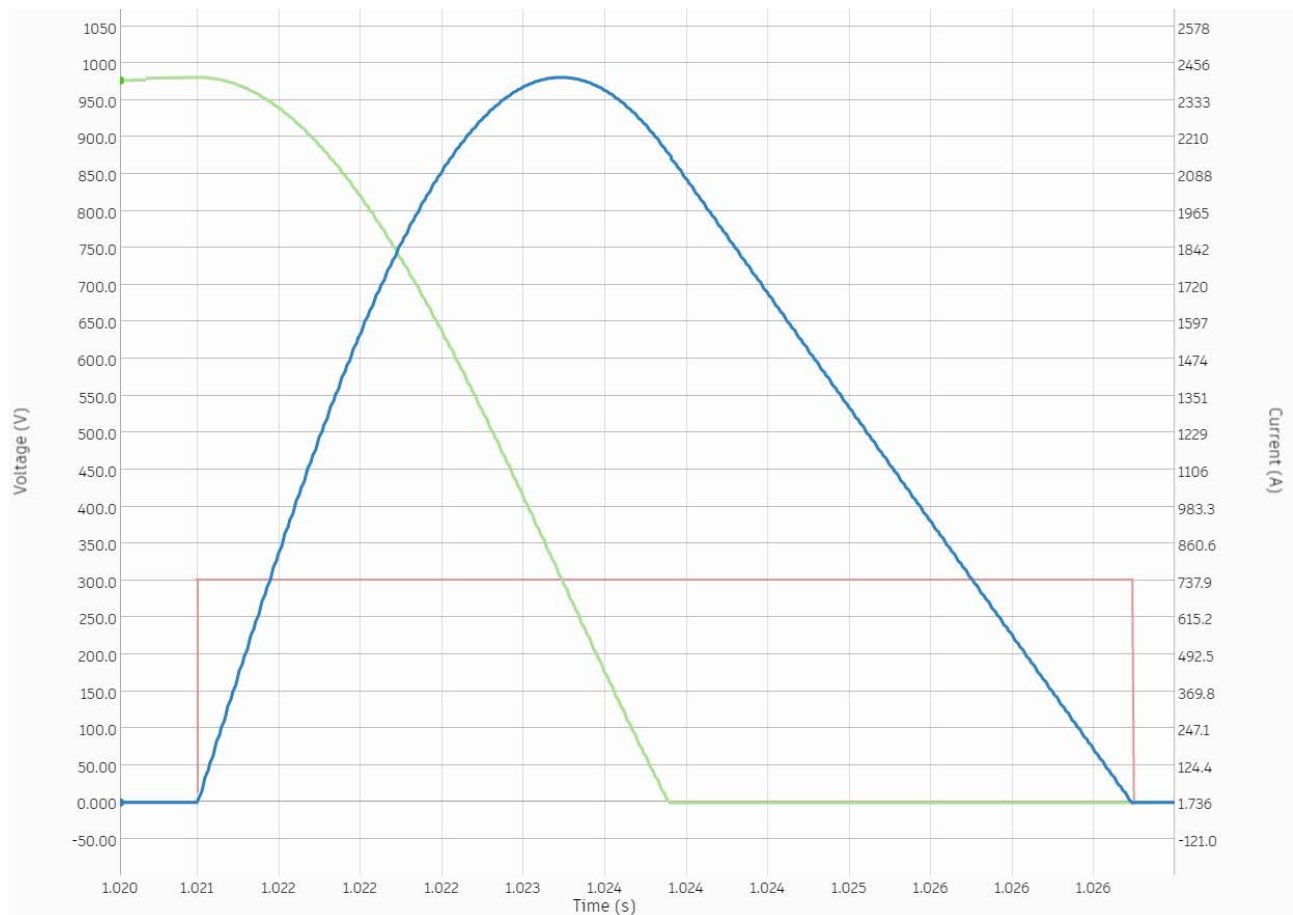


Bild 1.4.1

- Kondensatorspannung **U<sub>c</sub>**
- Funkenstrom **I<sub>x</sub>**
- Funkenspannung **U<sub>x</sub>**

### 1.4.2 Messung bei 2.5kJ

- Elektrodenabstand = **20mm**
- Kondensatorspannung = **995V**
- Kondensatorkapazität = **5.05mF**
- Energie = **2.5kJ**



Bild 1.4.2



Kondensatorspannung  $U_c$  (100V/div)



Funkenspannung  $U_x$  (100V/div)

- Elektrodenabstand = **20mm**
- Kondensatorspannung = **995V**
- Kondensatorkapazität = **5.05mF**
- Energie = **2.5kJ**

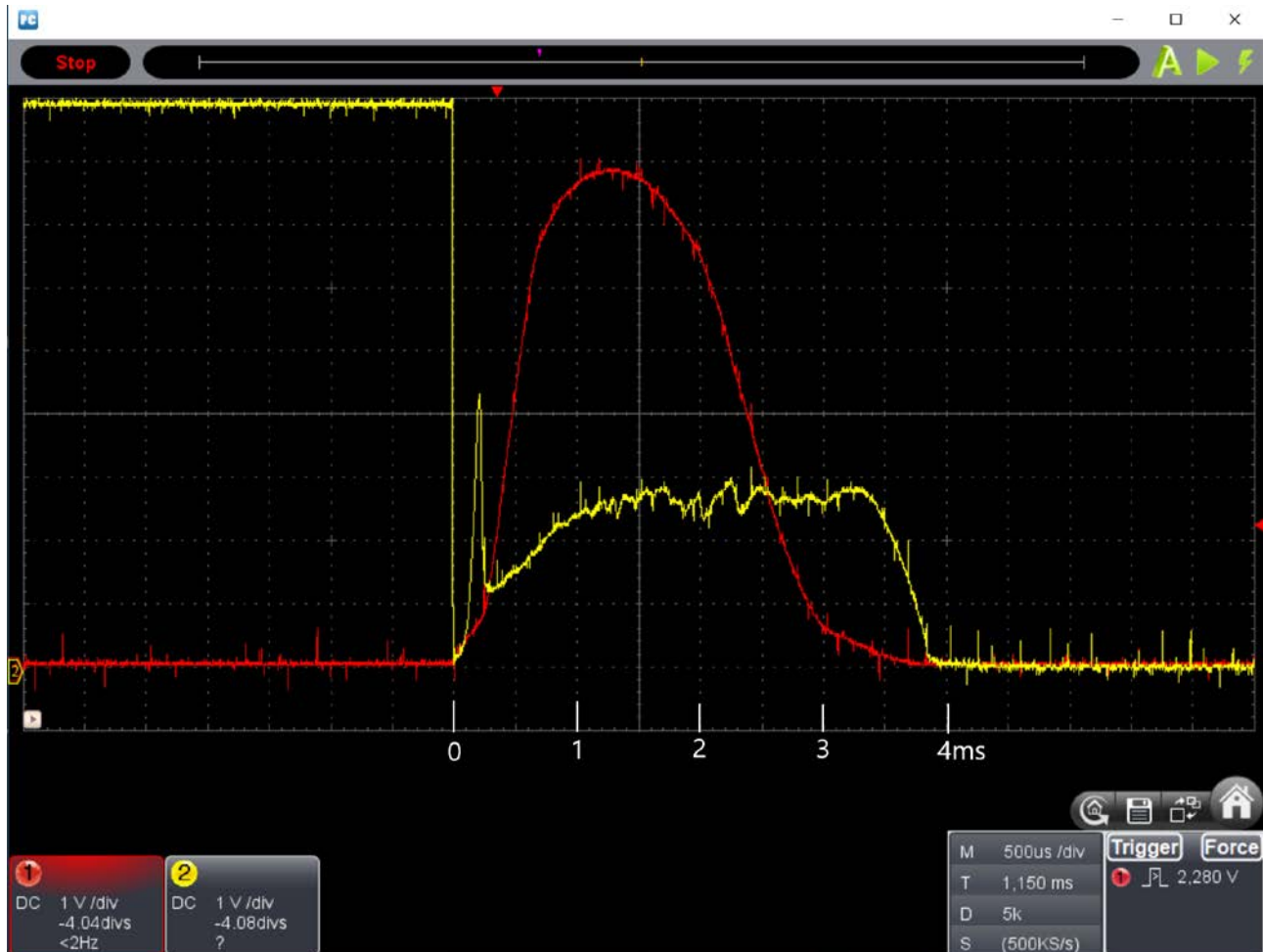


Bild 1.4.3



Funkenstrom  $I_x$  (300A/div) →  **$I_{max} = 2400A$**

Funkenspannung  $U_x$  (100V/div)

Gute Übereinstimmung der Messungen mit der Simulation.

Sehr schön sichtbar ist der Kurzschluss bis zum Schmelzen des Drahtes und dann der Spannungsanstieg.

- Kondensatorspannung = **995V**
- Maximaler Funkenstrom = **2400A**
- Mittelwert Funkenspannung = **250V**
- Funkendauer = **4ms**

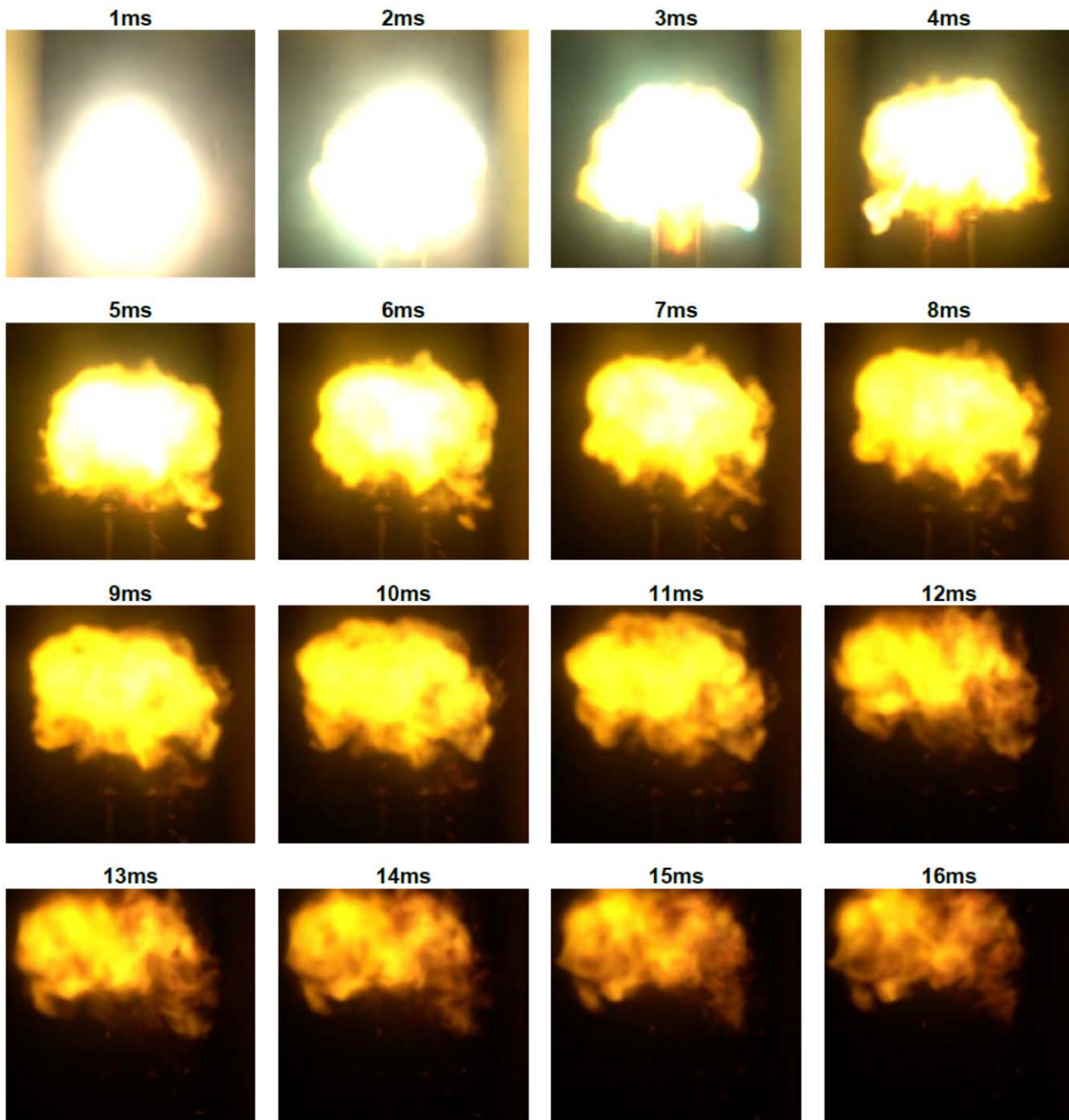


## 1.5 Funkenbilder

- Kamera SONY RX100 VII mit hoher Bildfrequenz von 1ms/Bild
- Alle Aufnahmen ausserhalb der Kugel
- Funkenenergie = **2500J**

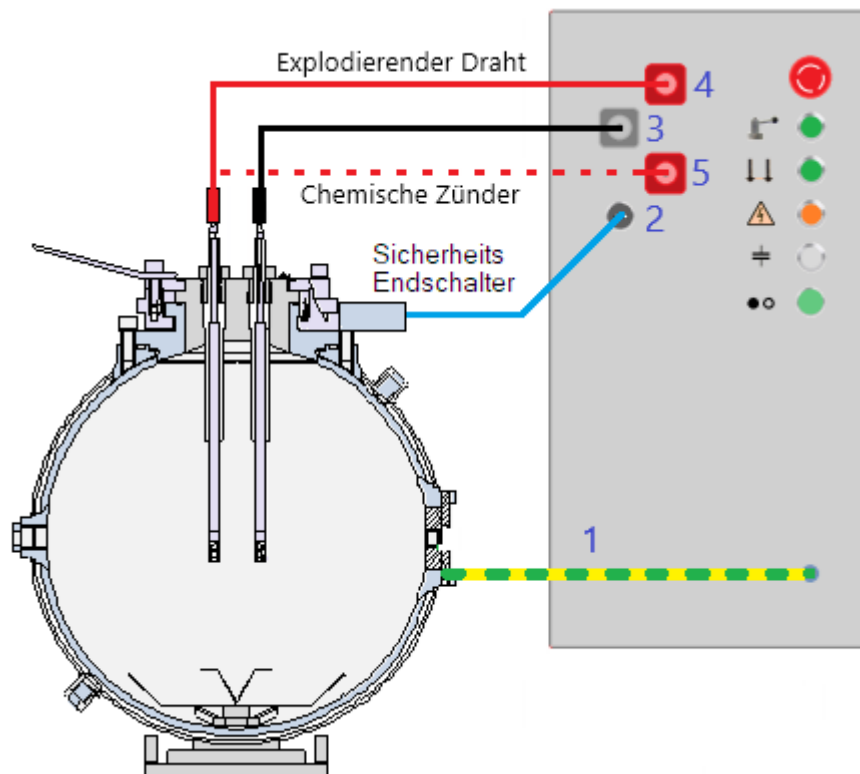
Problematisch war die extreme Helligkeit des Funkens.

Bemerkenswert ist die Beobachtung, dass nach 4ms die Energiezufuhr zum Funken zu Ende ist. Das Funkenplasma aber noch recht lange aktiv bleibt. Im Vergleich zu pyrotechnischen Zündern ist eine Vergrößerung der Induktivität und eine Verlängerung der Funkendauer nicht notwendig.



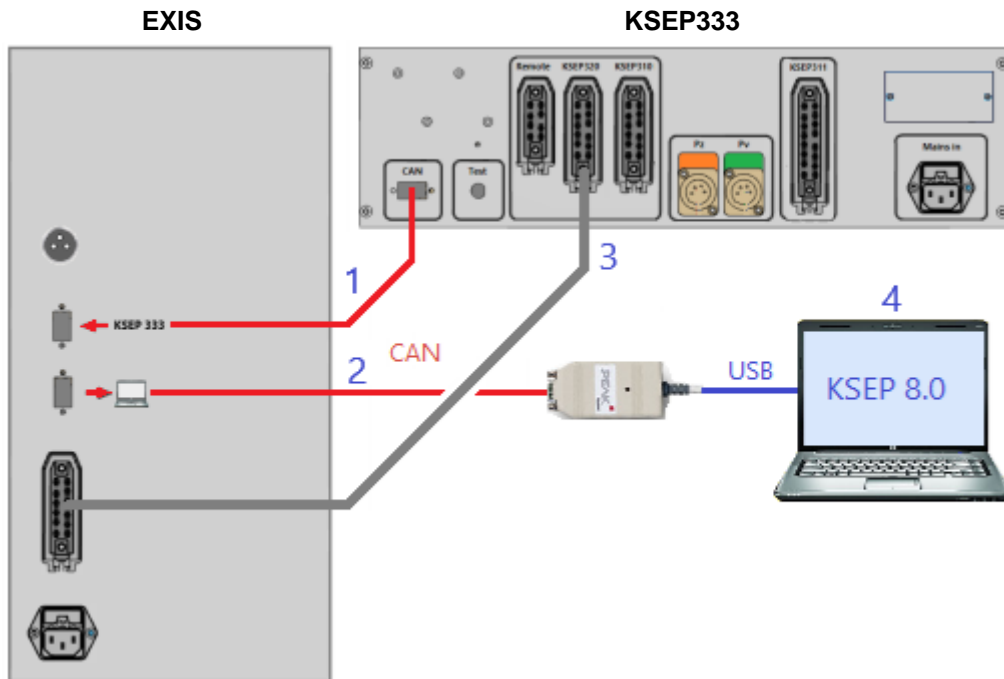
## 2. Installation von EXIS

### 2.1 Anschluss an die 20L-Kugel



- 1 Erdverbindung zwischen Messflansch und EXIS (reduziert Einfluss auf das Messsignal)
- 2 Der Sicherheitsschalter wird direkt am EXIS angeschlossen.
- 3 Gemeinsame Masseverbindung zu den Elektroden.
- 4 Verbindung für den explodierenden Draht
- 5 Verbindung für chemische Zünder (EXIS ist ausgeschaltet)

## 2.2 Anschluss an Messausrüstung KSEP333



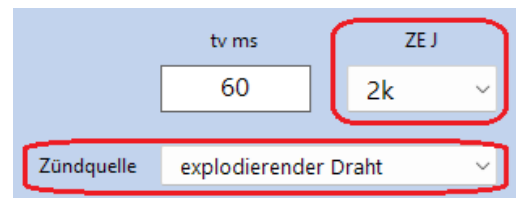
Bei einer Messausrüstung der aktuellen Generation ist der Anschluss besonders einfach:

- 1 CAN-Bus Verbindung KSEP333 -> EXIS (DSUB 9)
- 2 CAN-Bus Verbindung EXIS -> CAN-Adapter (DSUB 9)
- 3 12 poliges Kabel mit DIN-Stecker (Sicherheitsschalter und Zündsignal)
- 4 PC mit Software 8.0 (die EXIS-Bedienung ist integriert)

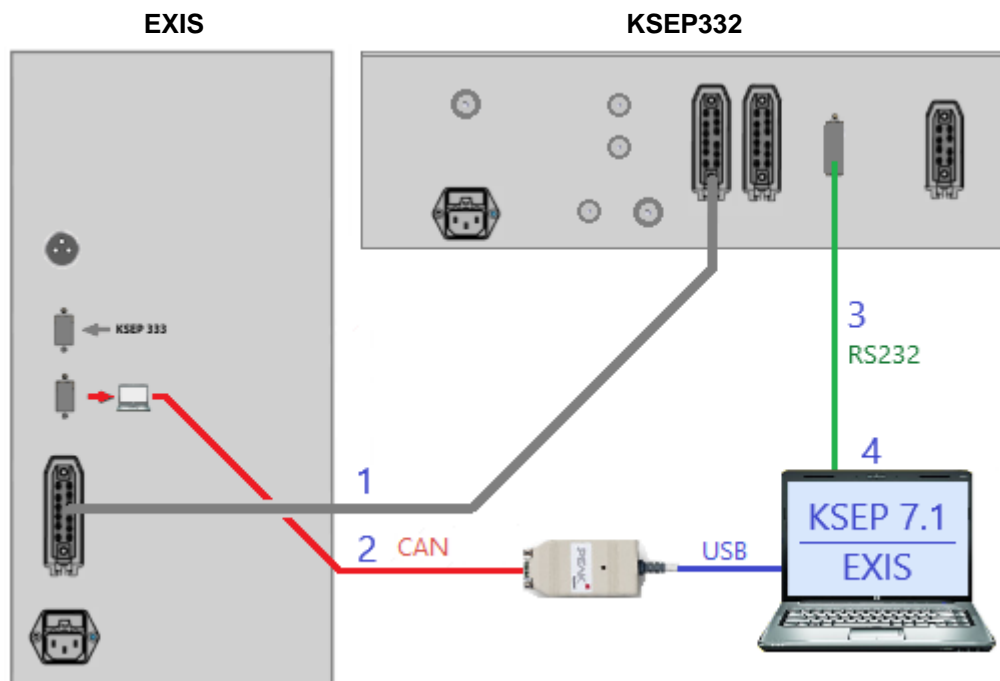


Das **KSEP8** - Programm kennt **EXIS** erst ab Version 2612. Ältere KSEP8-Versionen müssen deshalb aktualisiert werden.

Siehe Webseite [www.cesana-ag.ch](http://www.cesana-ag.ch)

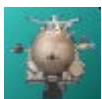


## 2.3 Anschluss an Messausrüstung KSEP332



Ältere Messausrüstung können ebenfalls zusammen mit EXIS verwendet werden

- 1 12 poliges Kabel mit DIN-Stecker (Sicherheitsschalter und Zündsignal)
- 2 CAN-Bus Verbindung EXIS -> CAN-Adapter (DSUB 9)
- 3 RS232 Verbindung zu PC (DSUB)
- 4 PC mit RS232-Software KSEP 7.1 und CAN-Software EXIS (laufen simultan)



Zusätzlich zum Programm **KSEP 7.1** wird das - Programm **EXIS** für die Wahl der Zündenergie benötigt.



Voraussetzung:

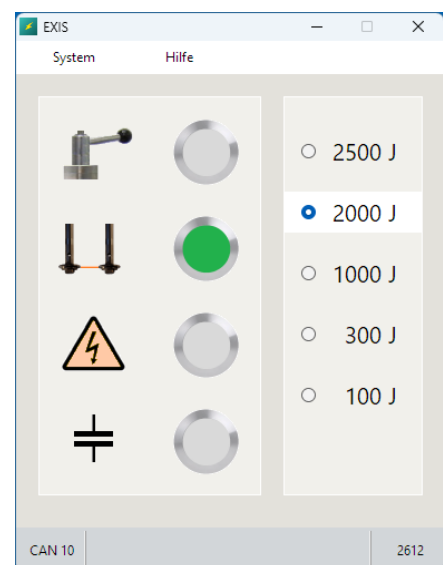
Microsoft-Windows 7...11 (32/64-bit)

Das Installationsprogramm **EXIS\_setup.msi**

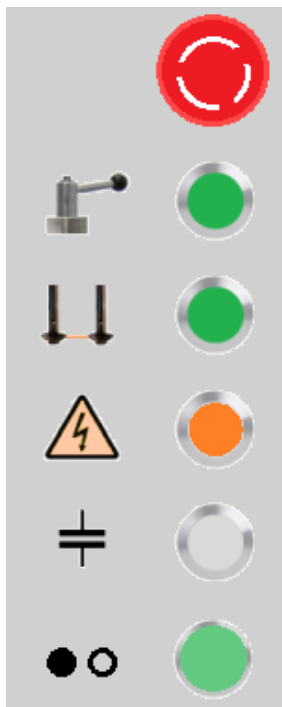
ist auf der Webseite [www.cesana-ag.ch](http://www.cesana-ag.ch)

Die Installation ist mehrsprachig und weitgehend selbsterklärend.

Die beiden Programme können simultan auf dem gleichen PC ausgeführt werden.



### 3. Bedienung



Not-Aus-Schalter, entspricht dem Sicherheitsschalter an der Kugel.  
Jedoch rastend und muss durch Drehen gelöst werden.  
(Ist nach der Maschinenrichtlinie gesetzlich vorgeschrieben!)

**Grün:** Der Sicherheitsschalter an der Kugel ist geschlossen.  
Voraussetzung für die Ladung der Kondensatoren.

**Grün:** Der Schmelzdraht ist angeschlossen.  
Voraussetzung für die Ladung der Kondensatoren.

**Orange:** Spannung der Kondensatoren > 12V  
Zusätzliche Sicherheitsinformation für den Fehlerfall.

**Grün, blinkend:** Kondensatoren werden geladen.

**Grün, dauernd:** Voll geladen und bereit für den Funken.

Netzschalter für die Stromversorgung von EXIS.  
(Bei Anwendung von chemischen Zündern ausgeschaltet.)

#### Startbedingungen:

- c) Not-Aus-Schalter gelöst.
- d) Sicherheitsschalter an der Kugel ist geschlossen.
- e) Der Schmelzdraht muss verbunden sein (kleiner Messstrom).

#### Sind die Startbedingungen erfüllt, dann ist der Ablauf:

- d) Kondensatoren werden entsprechend der gewünschten Energie geladen.
- e) Gleichzeitig wird die Kugel evakuiert und die Vorkammer gefüllt.
- f) Ist alles bereit, dann kann der automatische Prüfablauf gestartet werden.

#### Abbruch und sofortige Rückkehr in sicheren Zustand durch:

- d) Not-Aus-Schalter aktiviert.
- e) Sicherheitsschalter an der Kugel ist offen.
- f) Abbruch-Befehl in der Software.
- g) Netzschalter oder Stromausfall.

#### Sicherer Zustand:

- c) Der Thyristor zwischen Kondensatoren und Elektroden ist hochohmig.
- d) Ein Schütz NC (normal geschlossen) entlädt schnell die Kondensatoren.

### 3.1 Versuchsbedingung

#### 3.1.1 Messausrüstung KSEP333

##### Software KSEP 8.0

The screenshot shows the 'Staub: Pmax, Kmax' window in Software KSEP 8.0. It contains several input fields: 'Serie' (1), 'g/m3' (250), 'g/20L' (5.0), 'tv ms' (60), and 'ZE J' (2k). The 'Zündquelle' (ignition source) is set to 'explodierender Draht' (exploding wire). The 'ZE J' and 'Zündquelle' fields are highlighted with red rectangles.

EXIS ist ein Bestandteil vom Kugel-System und mit diesem über CAN-Bus verbunden.

Die eingestellte Funkenenergie wird automatisch an EXIS übertragen.

Der Ladezustand der Kondensatoren wird angezeigt.

Der Prüfablauf kann erst nach deren vollständiger Ladung gestartet werden.

#### 3.1.2 Messausrüstung KSEP332

##### Software KSEP 7.1

The screenshot shows the 'IE [J]' and 'ignition source' fields in Software KSEP 7.1. The 'IE [J]' field is set to '2k' and the 'ignition source' is set to 'EXIS exploding wire'. Both fields are highlighted with red rectangles.

Die Funkenenergie muss vom Anwender in der Software KSEP 7.1 und EXIS eingestellt werden.

Der Prüfablauf darf erst nach vollständiger Ladung der Kondensatoren gestartet werden.

##### Software EXIS

The screenshot shows the 'EXIS' window in Software EXIS. It displays a list of energy values: 2500 J, 2000 J (selected), 1000 J, 300 J, and 100 J. The '2000 J' option is highlighted with a blue dot. The window also shows 'CAN 8' and '2612' at the bottom.

### 3.2 Druckverlauf: Auswertung

#### 3.2.1 Korrektur vom Explosionsdruck 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. Die Zündquelle hat keinen Einfluss auf diese Korrektur

#### 3.2.2 Korrektur vom Explosionsdruck bei $P_{ex} < 5.5$ bar

Unterhalb von 5.5 bar muss, bedingt durch das geringe Behältervolumen, die Druckäusserung der Zündquelle berücksichtigt werden. Mit wachsendem  $P_{ex}$  wird der Einfluss der Zündquelle durch die Druckäusserung der Explosion selbst verdrängt. Diese Korrektur wird wie folgt berechnet:

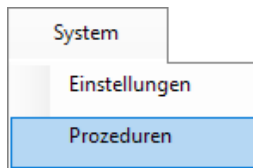
$$P_m = 5.5 \cdot (P_{ex} - P_{ci}) / (5.5 - P_{ci}) \text{ bar}$$

Chemische Zünder	$P_{ci} = 1.6 \text{ bar} \cdot ZE / 10'000$	ZE [J]	$P_{ci}$ [bar]
		10'000	1.60
		2'500	0.40
		2'000	0.32
EXIS	$P_{ci} = 0.16 \text{ bar} \cdot ZE / 2'500$	ZE [J]	$P_{ci}$ [bar]
		2'500	0.160
		2'000	0.128
		1'000	0.064
		300	0.019
		100	0.006

#### 3.2.3 Entscheidung „Zündung / keine Zündung“

	Untere Explosionsgrenze UEG	EN 14034-3	ASTM E1515
	Sauerstoffgrenzkonzentration SGK	EN 14034-4	ASTM E2931
	Zündenergie ZE =	2'000 J	2'500 J
Chemische Zünder	keine Entzündung	$P_{ex} < 0.5 \text{ bar}$	$P_m < 0.2 \text{ bar}$
(gemäss Normen)	Entzündung	$P_{ex} \geq 0.5 \text{ bar}$	$P_m \geq 0.2 \text{ bar}$
EXIS (Vorschlag)	keine Entzündung	$P_{ex} < 0.3 \text{ bar}$	$P_m < 0.1 \text{ bar}$
	Entzündung	$P_{ex} \geq 0.3 \text{ bar}$	$P_m \geq 0.1 \text{ bar}$

### 3.3 Prozeduren



Arbeiten Sie vorwiegend mit EXIS als Zündquelle, dann empfiehlt es sich die „Prozeduren“ auf diese Zündquelle einzustellen. Dies erleichtert wesentlich das Arbeiten mit der Apparatur.

der aktuellen KSEP-Datei  
☒ für eine neue KSEP-Datei

2 Staub: untere Explosionsgrenze

Zündquelle ZE [J] tv [ms]  
 EXIS explodierender Draht 2k 60

Brennstoff  
 Staub

Parameter (XPar)  
 Name  
 Einheit  
 Maximalwert

Kriterium  
 keine Zündung  
 Pex [bar] 0.30  
 Pm [bar] 0.10  
 Inertgas

Berechnen  
☐ Pmax  
☐ dP/dt  
☐ Kmax  
☐ t1 min  
☒ UEG  
☐ SGK

Pm dP/dt  
 Test  
 Mittelwert  
 Maximalwert  
 interpolieren  
 linear



Empfehlung: bei EXIS generell eine Zündenergie von **2kJ** einzustellen.  
 Dies entspricht den EN- und ISO-Normen für die Bestimmung von UEG und SGK.

**aktuelle** KSEP-Datei Die Versuchsparameter der **aktuellen** Datei werden angezeigt und können angepasst werden. Änderungen werden direkt in die Datei übertragen.

**neue** KSEP-Datei Dies sind die generellen Versuchsparameter. Bei jeder **neuen** Prüfung werden diese Parameter automatisch übernommen.



### 3.4 Zündart und Zündenergie

Aus zahlreichen Ergebnissen, die in dem 1m<sup>3</sup>-Behälter und in der 20-l-Apparatur gemessen 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.

#### 3.4.1 Zündenergie unabhängige Stäube

Wie Bild 3.4.1 zeigt, sind die gemessenen Explosionskenngrößen im Rahmen der Messgenauigkeit unabhängig von der angewendeten Zündart und Zündenergie.

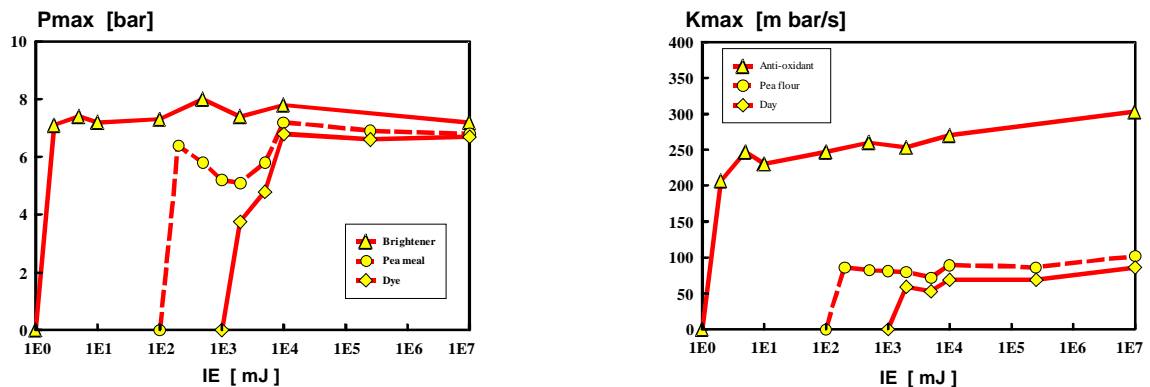


Bild 3.4.1: Definition der Energie **unabhängigen** Stäube

Hieraus ist die Schlussfolgerung zu ziehen, dass es für den Explosionsablauf dieser Energie unabhängigen Stäube also gleichgültig ist, welche Zündart verwendet wird. Schwache Funken oder sehr kräftige chemische Zünder ergeben die gleichen Resultate.

#### 3.4.2 Zündenergie abhängige Stäube

Bei diesen Stäuben bewirkt eine Abnahme der Zündenergie eine Verminderung der Kennzahlen.

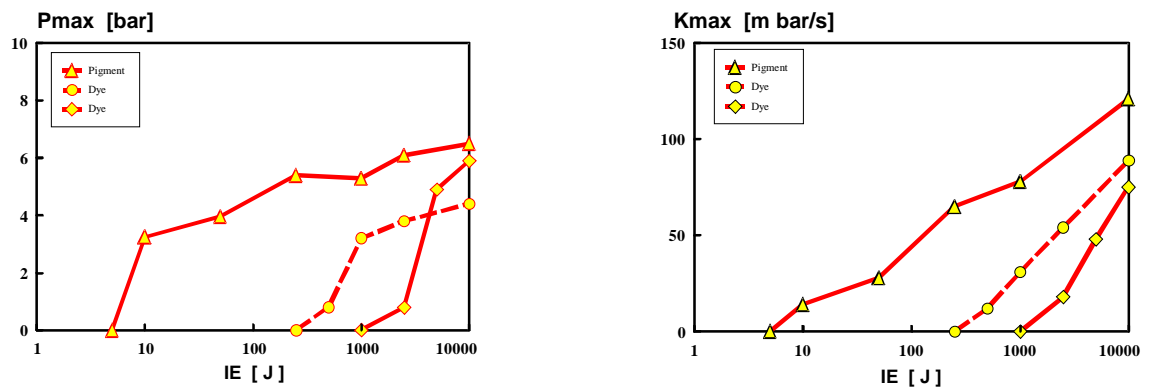
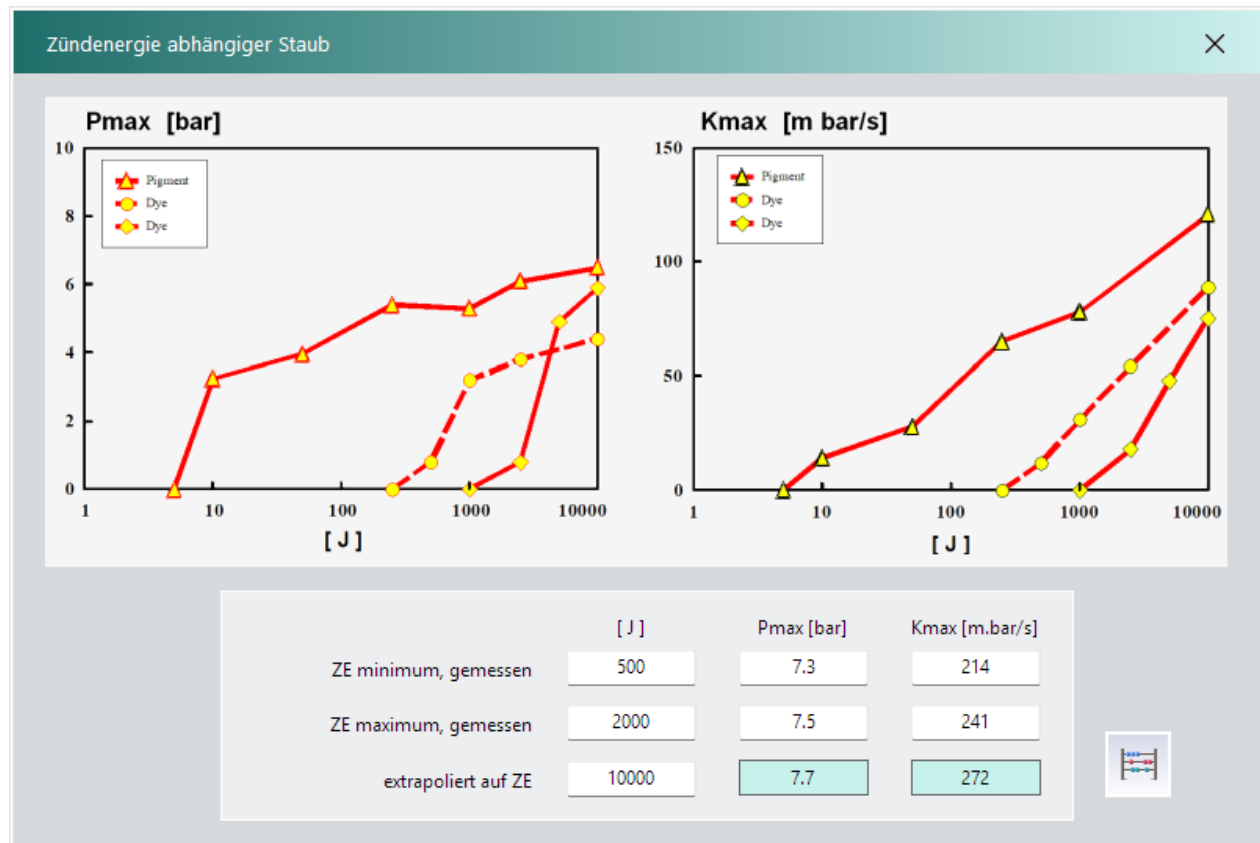


Bild 3.4.2: Definition der Energie **abhängigen** Stäube

### 3.4.3 Extrapolation bei Zündenergie abhängigen Stäuben

Die Sicherheitsbeurteilung von Produktionsanlagen basiert gemäss Norm auf den Kennzahlen ermittelt mit 10'000J (2 x 5kJ). Mit Messwerten, bestimmt mit niedriger Zündenergie, kann im Prinzip auf eine Zündenergie von 10'000J extrapoliert werden. Diese Abschätzung ist im EXIS-Programm enthalten:



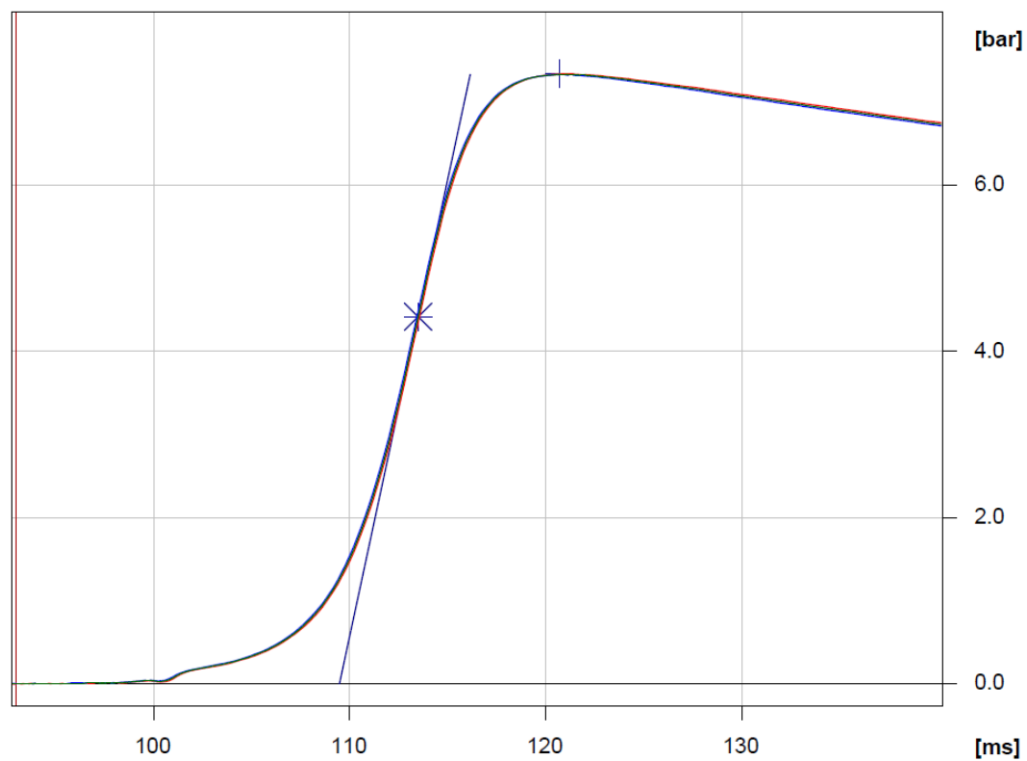
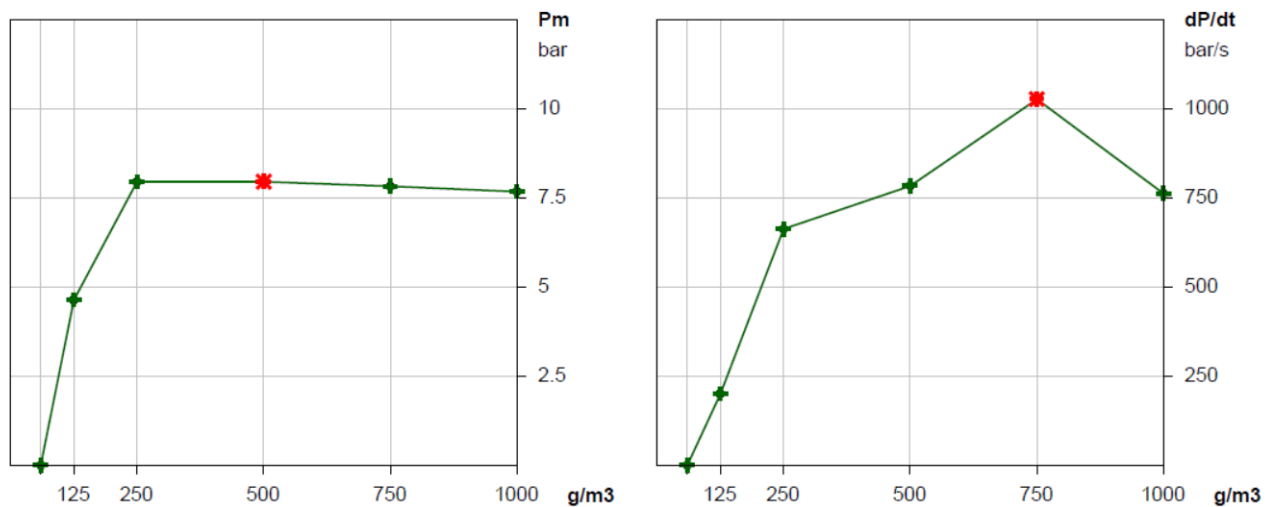
Beispiel: Die Kennzahlen vom „Zündenergie abhängigen Staub“ SYLOBLOC 250H wurden mit 2000J und 500J gemessen und in die Tabelle eingetragen.

## 4. EXIS - Technik

### 4.1 Vergleichsversuche

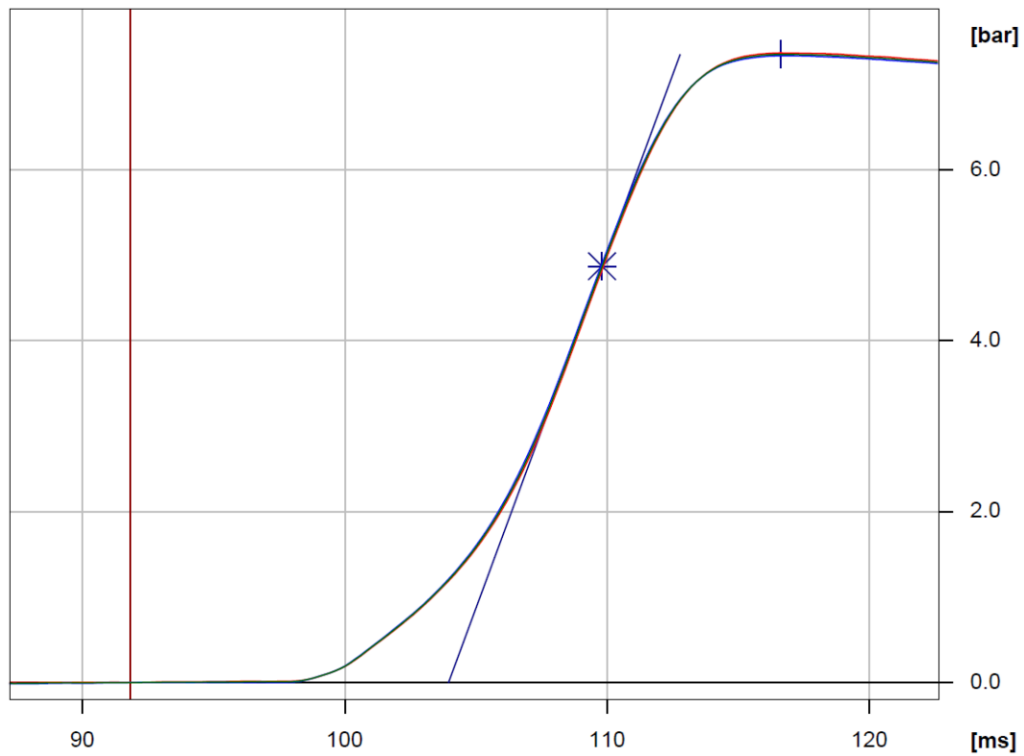
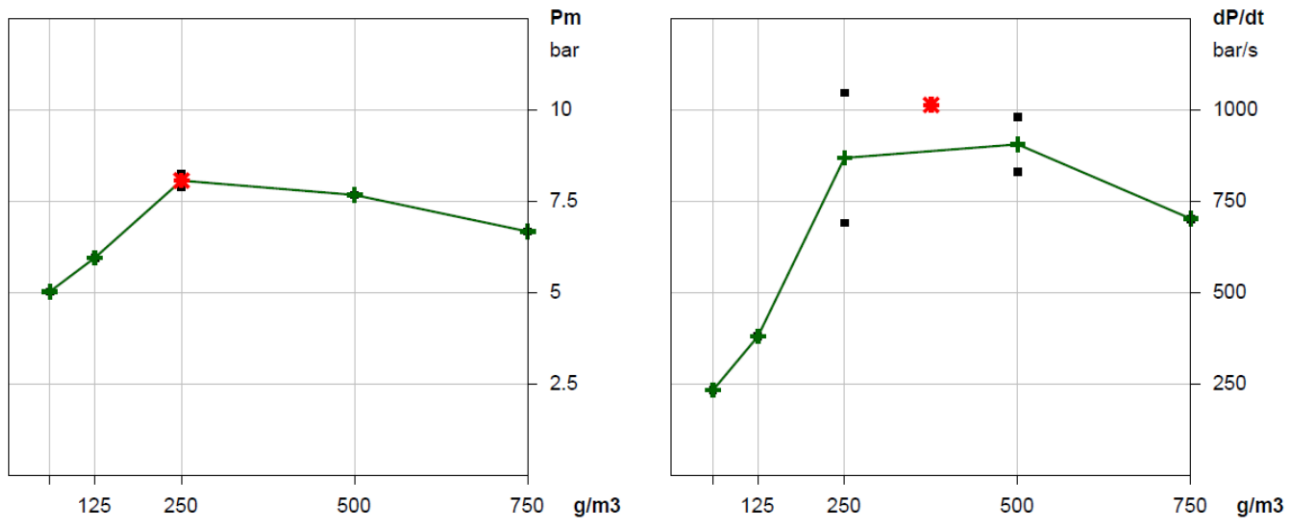
#### 4.1.1 EXIS 2kJ - Niacin CaRo25

Max. Explosionsdruck	$P_{max}$	=	8,0 bar	± 10%
Max. zeitlicher Druckanstieg	$(dP/dt)_{max}$	=	1028 bar/s	± 10%
Spezifische Kenngröße	$K_{max}$	=	279 m·bar/s	± 10%
min. Verbrennungsdauer	$t_1 \text{ min}$	=	26 ms	



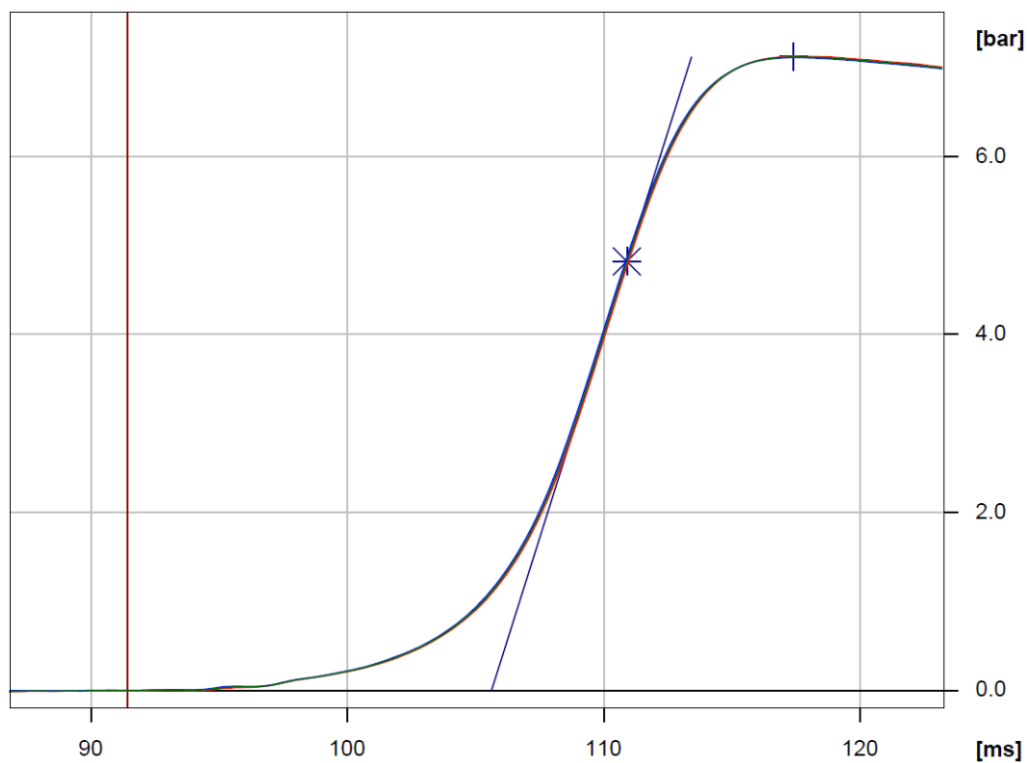
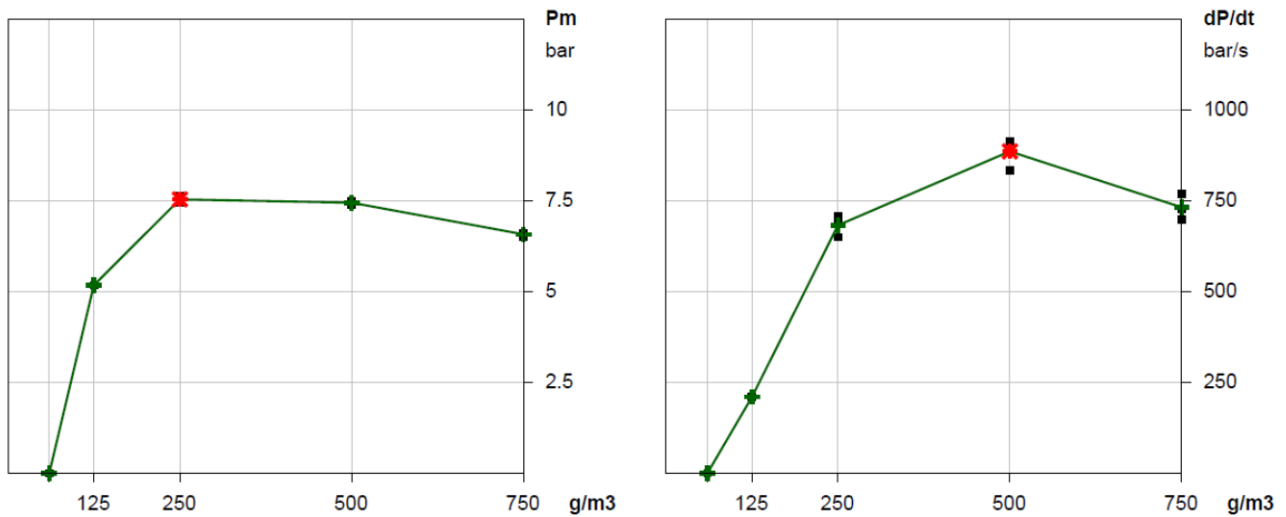
#### 4.1.2 SOBBE 2 x 5kJ - SYLOBLOC 250H

Max. Explosionsdruck	$P_{\max}$	=	<b>8,1</b> bar	± 10%
Max. zeitlicher Druckanstieg	$(dP/dt)_{\max}$	=	<b>1015</b> bar/s	± 10%
Spezifische Kenngröße	$K_{\max}$	=	<b>275</b> m-bar/s	± 10%
min. Verbrennungsdauer	$t_1$ min	=	<b>23</b> ms	



#### 4.1.3 EXIS 2kJ - SYLOBLOC 250H, Funkenstrecke = 20mm

Max. Explosionsdruck	P <sub>max</sub>	=	<b>7,5</b> bar	± 10%
Max. zeitlicher Druckanstieg	(dP/dt) <sub>max</sub>	=	<b>887</b> bar/s	± 10%
Spezifische Kenngröße	K <sub>max</sub>	=	<b>241</b> m·bar/s	± 10%
min. Verbrennungsdauer	t <sub>1 min</sub>	=	<b>30</b> ms	

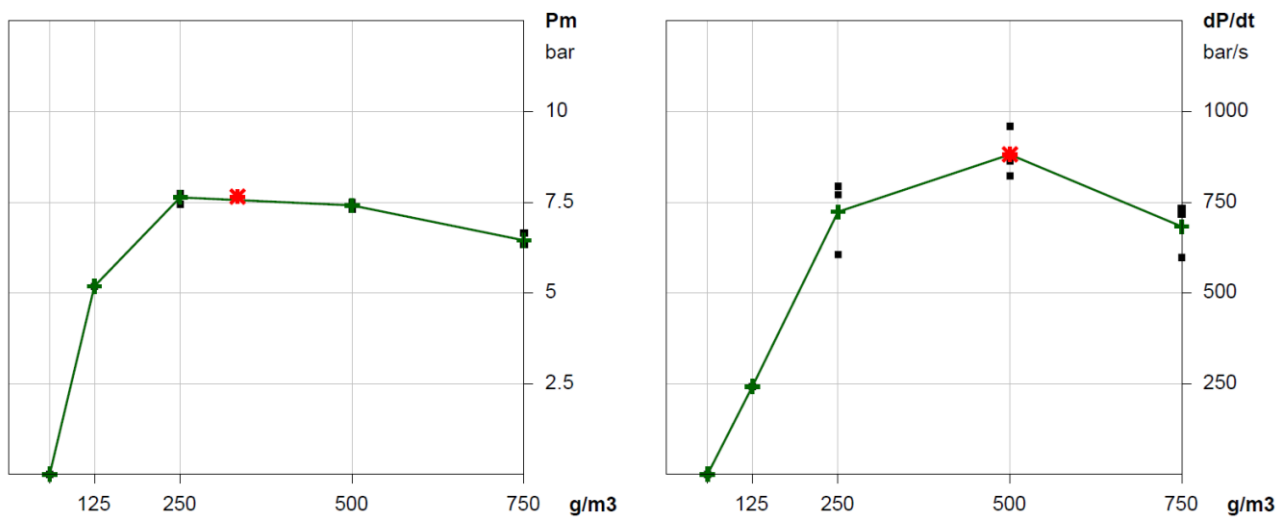


#### 4.1.4 EXIS 2kJ - SYLOBLOC 250H, Funkenstrecke = 2 x 20mm

Wiederholung der Versuche mit doppelter Funkenlänge:



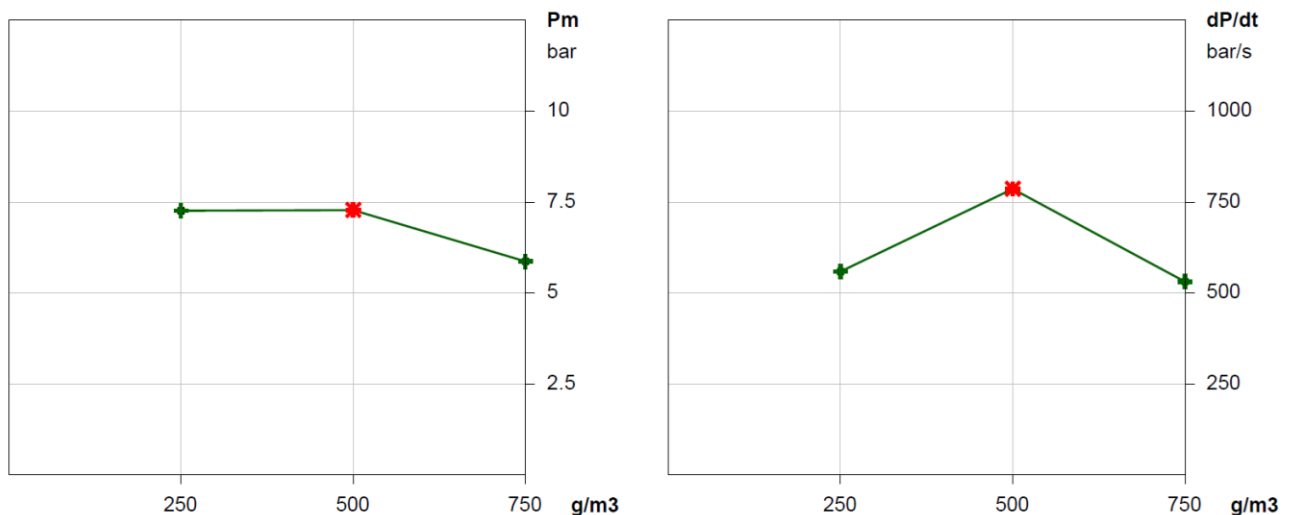
Max. Explosionsdruck	$P_{max}$	=	<b>7,7</b> bar	± 10%
Max. zeitlicher Druckanstieg	$(dP/dt)_{max}$	=	<b>882</b> bar/s	± 10%
Spezifische Kenngröße	$K_{max}$	=	<b>239</b> m·bar/s	± 10%
min. Verbrennungsdauer	$t_1 \text{ min}$	=	<b>31</b> ms	



Im Rahmen der Messgenauigkeit brachte dieser Mehraufwand keine Verbesserung der Messwerte.  
Wir verzichten deshalb in Zukunft auf diese Änderung.

#### 4.1.5 EXIS 500J - SYLOBLOC 250H, Funkenstrecke = 20mm

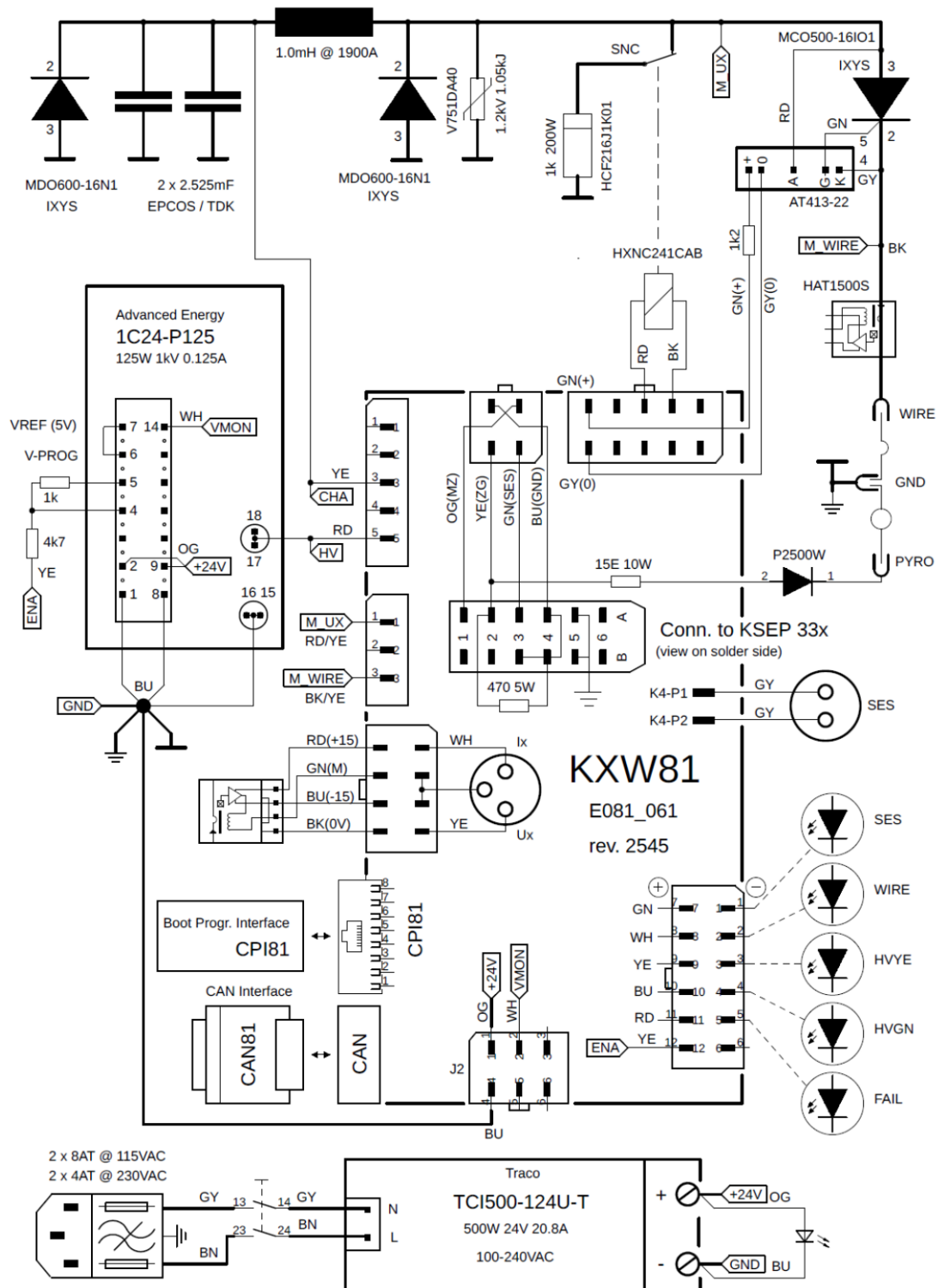
Max. Explosionsdruck	P <sub>max</sub>	=	7,3 bar	± 10%
Max. zeitlicher Druckanstieg	(dP/dt) <sub>max</sub>	=	787 bar/s	± 10%
Spezifische Kenngröße	K <sub>max</sub>	=	214 m·bar/s	± 10%
min. Verbrennungsdauer	t <sub>1 min</sub>	=	36 ms	



Es wurde eine signifikante Reduzierung der Messwerte festgestellt. SYLOBLOC gehört offensichtlich zu der eher seltenen Kategorie „**Zündenergie abhängige Stäube**“. Unterstützt wird dies durch unsere Beobachtung bei der Bestimmung der Mindestzündenergie. Bei kleinen Energien (z.B. 3mJ) hat die Zündung den Charakter einer Flamme und nicht der einer Explosion.

Siehe: 3.4.3 Extrapolation bei Zündenergie abhängigen Stäuben

## 4.2 Technische Daten



Netzanschluss: 100...240VAC, 500W  
Abmessungen: B x H x T = 220 x 480 x 460 mm  
Gewicht: 30kg