

MIKE4-CAN



REMBE® Research+Technology Center GmbH

Zur Heide 39, D-59929 Brilon, Deutschland

www.rembe-rtc.de info@rembe-rtc.de

Cesana AG

Baiergasse 56, CH-4126 Bettingen, Schweiz

www.cesana-ag.ch info@cesana-ag.ch

Autor: Christoph Cesana

MIKE3-CAN

Neue und verbesserte Version des bisherigen MIKE3
Prüfbedingung: Atmosphärisch

MIKE4-CAN

Erweiterte Apparatur für Prüfungen unter folgenden Bedingungen:
Atmosphärisch, hoher Temperatur, reduziertem Sauerstoff

1. Grundlagen	2
1.1 Einleitung	2
1.2 Einflussgrößen	2
1.3 Prüfverfahren	8
1.4 Prüfapparatur MIKE	14
2. Installation	20
2.1 Apparatur	20
2.2 PC-Hardware	22
2.3 PC-Software	23
3. Bedienung	25
3.1 Programmstart	25
3.2 Hauptbildschirm	25
3.3 MIKE - Dateien	28
3.4 Prüfverfahren	30
3.5 Prüfbedingung	35
3.6 Tabellen	39
3.7 Kalibrierung	40
4. Dienstprogramme	41
4.1 Sprachen	41
4.2 Prüfbericht	42
4.3 Export	43
4.4 Info	43
4.5 Update	44
4.6 Flash-Programmierung	45
5. Überprüfung des MIKE	46
5.1 Fehlermeldungen	46
5.2 Zündfunken	47
5.3 Ein- und Ausgänge	48
5.4 Zeitablauf	49
5.5 Temperatur-Aufzeichnung	50
6. Literatur	52



Diese Information ist hilfreich!



Achtung: Zuerst diesen Sicherheitshinweis lesen!

1. Grundlagen

1.1 Einleitung

Für die Beurteilung der Gefahrensituation in Staub verarbeitenden Anlagen, ist die Kenntnis der Mindestzündenergie unerlässlich. Dieser Wert kann unter Umständen den Umfang und damit den Kostenaufwand von Schutzmassnahmen bestimmen.

Unter Mindestzündenergie (MZE) versteht man den niedrigsten Energiewert, den eine Hochspannungs-Kondensatorentladung aufbringen muss, um das zündwilligste Staub/Luft-Gemisch zur Entzündung zu bringen. Die Staubkonzentration und die Zündverzögerungszeit sind dabei systematisch so zu variieren, bis ein Minimalwert für die MZE gefunden wird.

Bei MIKE3-CAN werden alle Versuche bei Atmosphärendruck und Raumtemperatur durchgeführt.

1.2 Einflussgrössen

Eingehende Untersuchungen haben ergeben, dass die Mindestzündenergie eines brennbaren Staubes von folgenden Parametern beeinflusst wird:

1.2.1 Induktivität im Entladekreis

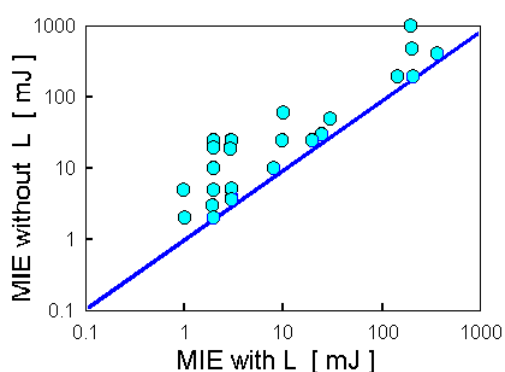
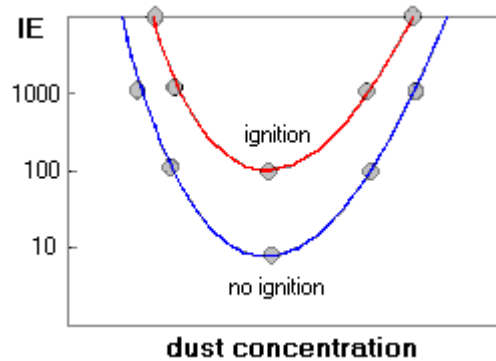


Bild 1.2.1: Einfluss der Induktivität auf die Mindestzündenergie

Die Angaben über die Mindestzündenergie beziehen sich gemäss Definition auf zeitlich gedehnte Kondensatorentladungen. Diese sind im Allgemeinen deutlich zündwilliger als rein kapazitive Entladungen. Eine Übertragung auf betriebliche Verhältnisse ist nur dann möglich, wenn auch hier Kapazitäten über Induktivitäten entladen werden. Um daher die Zündwirksamkeit von elektrischen Entladungen - speziell von elektrostatischen Entladungen - gegenüber Staub/Luft - Gemischen beurteilen zu können, ist die Mindestzündenergie auch ohne Induktivität im Entladekreis zu bestimmen. Wie Bild 1.2.1 zeigt, ist diese Einflussnahme nicht eindeutig sondern unterschiedlich und von der Staubart abhängig.

1.2.2 Staubkonzentration



Zwischen der Staubkonzentration und der Zündenergie besteht ein parabelförmiger Zusammenhang. Die Bestimmung der MZE muss deshalb über einen weiten Bereich der Staubkonzentration erfolgen.

Bild 1.2.2: Einfluss der Staubkonzentration auf die Zündenergie

1.2.3 Turbulenz, Zündverzögerungszeit

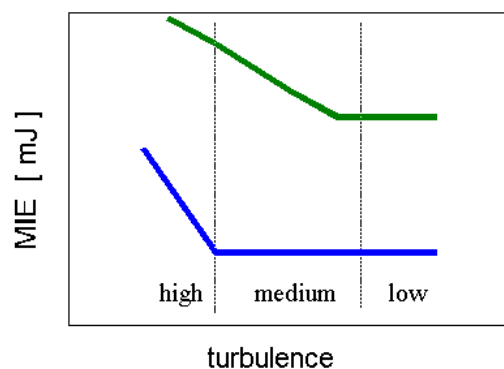
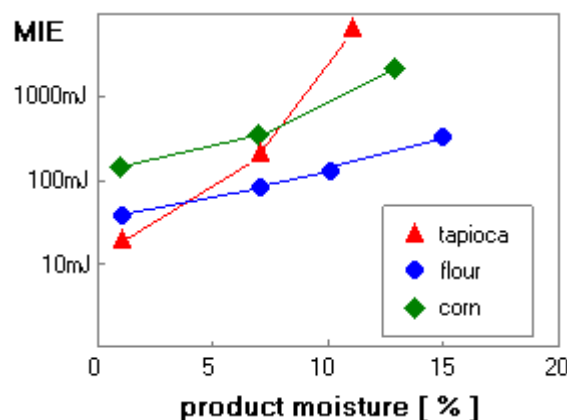


Bild 1.2.3:
Einfluss der Zündverzögerungszeit
auf die Mindestzündenergie

Das wohl einfachste Mass für die Turbulenz der Staub/Luft-Gemische ist die Zündverzögerungszeit t_v zwischen dem Aktivieren des Auslassventils und dem Funksprung. Kurze Zündverzögerungszeiten ergeben eine hohe, lange hingegen eine niedrige Turbulenz. Die Bestimmung der MZE sollte bei möglichst niedriger Turbulenz erfolgen. Zu lange Zeiten können eine Trennung des Staubes bewirken und das Ergebnis ist nicht mehr sinnvoll.

Die optimale Zündverzögerungszeit, die den niedrigsten Wert für die MZE ergibt, ist nicht konstant, sondern von der Staubprobe abhängig. Die Zündverzögerungszeit muss deshalb in Stufen solange variiert werden, bis ein Minimalwert für die MZE gefunden wird

1.2.4 Produktfeuchte (Wasserfeuchte)



Wie nebenstehendes Bild zeigt, wird die Mindestzündenergie eines Staubes unterschiedlich von der Wasserfeuchte im Staub beeinflusst. Im Allgemeinen deutet sich an, dass unterhalb von 5% der Einfluss gering, oberhalb von 10% aber der Wert für die Mindestzündenergie um ca. 1 (eine) Energiedekade oder mehr erhöht wird.

Bild 1.2.4: Einfluss der Wasserfeuchte auf die Mindestzündenergie

1.2.5 Korngrösse, Medianwert

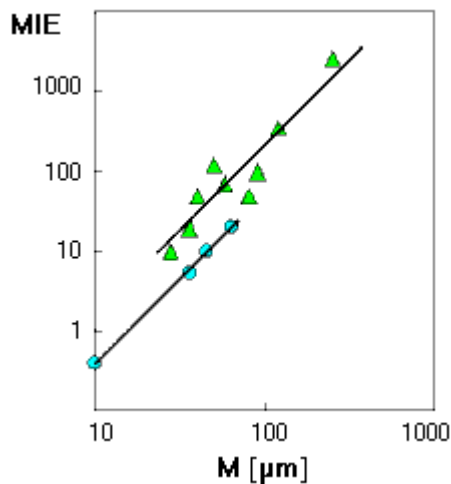


Bild 1.2.5:
Einfluss des Medianwertes auf die MZE

Die Korngrösse, bzw. der Medianwert kann die Mindestzündenergie wesentlich beeinflussen. Dieser Energiegrenzwert steigt nach Modellrechnungen mit der 3. Potenz des Medianwertes eines Staubes an. Je feiner ein Staub ist, umso leichter lässt er sich entzünden. Eine Abschätzung der MZE nach folgender Gleichung ist konservativer und gibt eine bessere Übereinstimmung mit den experimentell erhaltenen Resultaten:

$$MZE_2 = MZE_1 \cdot (M_2 / M_1)^{2.5}$$

Index 1: gemessen

Index 2: abgeschätzt

Siehe MIKE-Software: [Calculate / MIE - influence of Median](#)

1.2.6 Temperatur

a) Abschätzverfahren nach Glarner

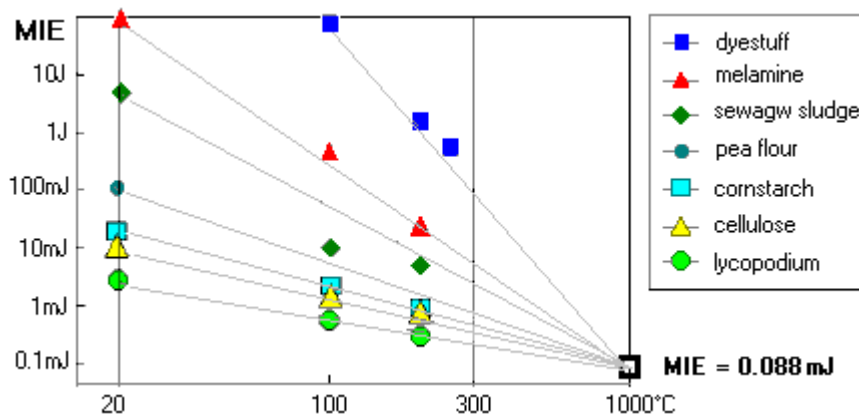


Bild 1.2.6a: Einfluss der Temperatur auf die Mindestzündenergie

Auch die Mindestzündenergie unterliegt dem Einfluss der Temperatur. Die Abnahme ist bei den schwer entzündlichen Stäuben stärker als bei den leicht entzündlichen. Das hat zur Folge, dass sich in doppelt logarithmischer Darstellung Geraden ergeben, die sich in einem Punkt (1000 °C; 0.088 mJ) treffen. Bei Kenntnis der Mindestzündenergie eines Staubes bei Raumtemperatur beschreibt also die Verbindungsgerade zum erwähnten Schnittpunkt die Temperaturabhängigkeit seiner Mindestzündenergie bis zu Temperaturen von 300 °C.

Mit folgender Gleichung kann die MZE im Bereich von 25 bis 300°C abgeschätzt werden:

$$MZE(T) = 10^{-4.056 + (1.873 - 0.624 \log T) \cdot (\log MZE(25^\circ\text{C}) + 4.056)}$$

T [°C], MZE [J]

Siehe MIKE-Software: [Calculate / MIE - influence of Temperature](#)

b) Messungen mit MIKE4

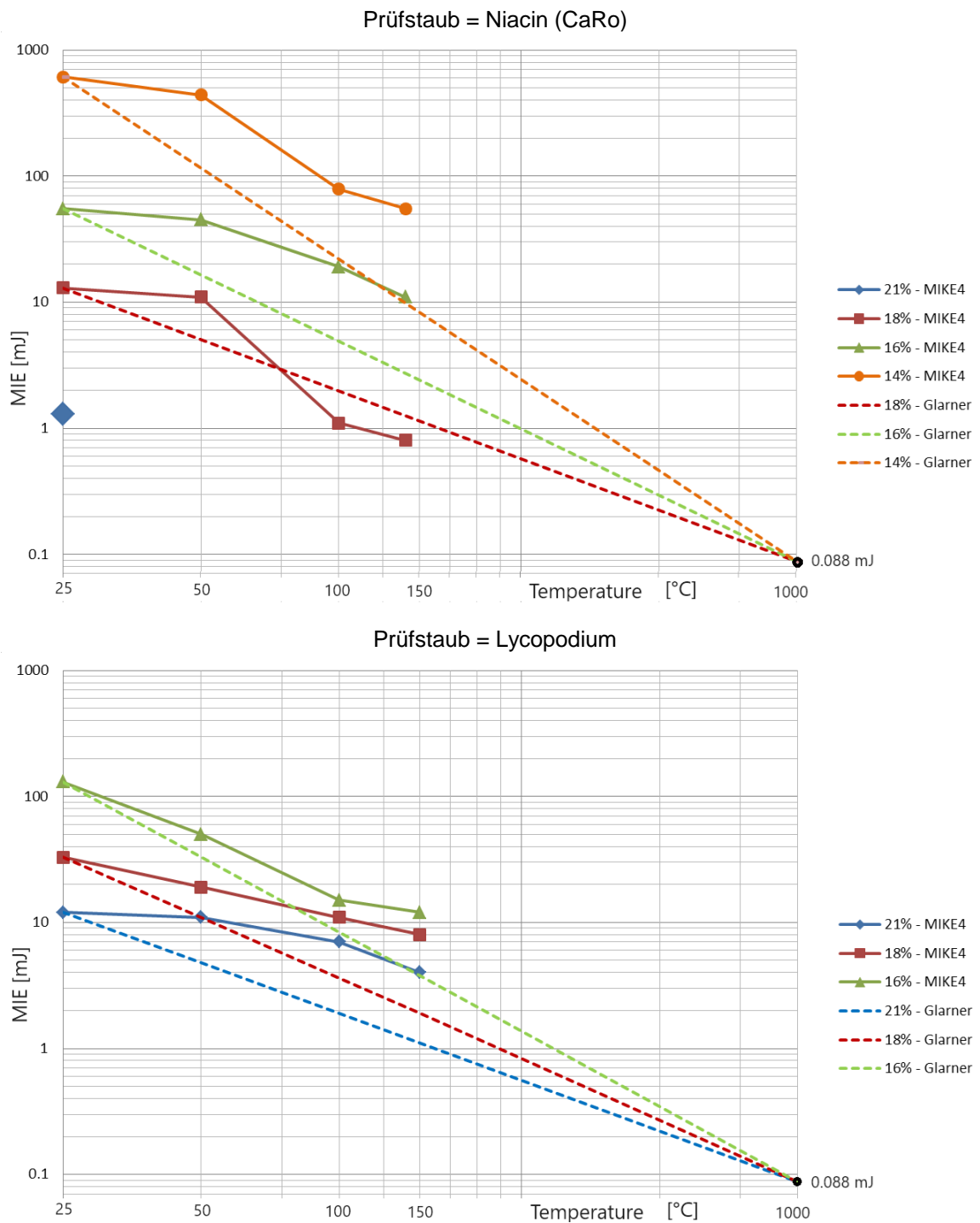


Bild 1.2.6b: Temperaturabhängigkeit der MZE für verschiedene Temperaturen in einer doppelt logarithmischen Darstellung. Die mit der Glarner-Formel berechneten Werte sind als gestrichelte Kurven dargestellt.

Die Formel-Werte von Glarner können erheblich von den experimentellen Ergebnissen abweichen. In dieser Hinsicht bietet die einfache Bestimmung der MZE für erhöhte Temperaturen einen echten Mehrwert, wenn es um die Bewertung von Explosionsrisiken und die Entwicklung von Schutzkonzepten geht.

1.2.7 Sauerstoffkonzentration

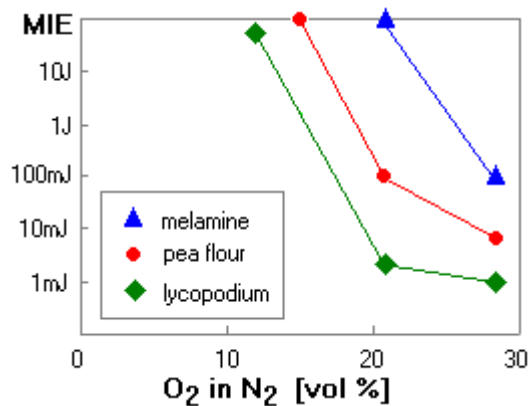
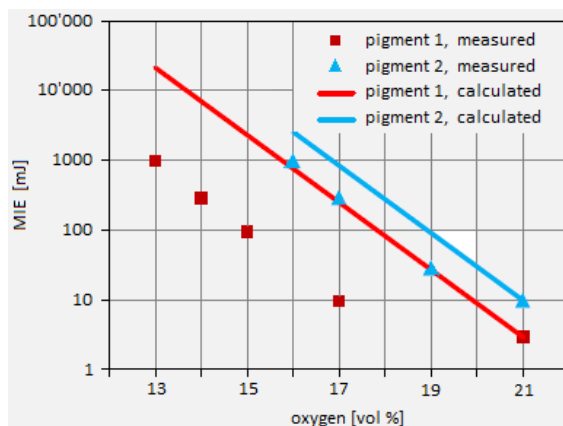


Bild 1.2.7: Einfluss des O₂-Gehaltes in der Verbrennungsluft auf die MZE

Die Mindestzündenergie hängt wie nebenstehendes Bild zeigt entscheidend vom O₂-Gehalt in der Verbrennungsluft ab. Speziell bei Sauerstoffmangel steigt die MZE in halblogarithmischer Darstellung linear an. Diese rasche Verminderung der Zündfreudigkeit resp. Erhöhung der MZE ist vor allem auf den zusätzlichen Stickstoff, der als Ballaststoff wirkt, zurückzuführen. Sauerstoffüberschuss führt dagegen zu einer Reduzierung der Mindestzündenergie bei Verflachung der Kurvenzüge.

a) Abschätzverfahren nach Glor und Schwenzfeuer



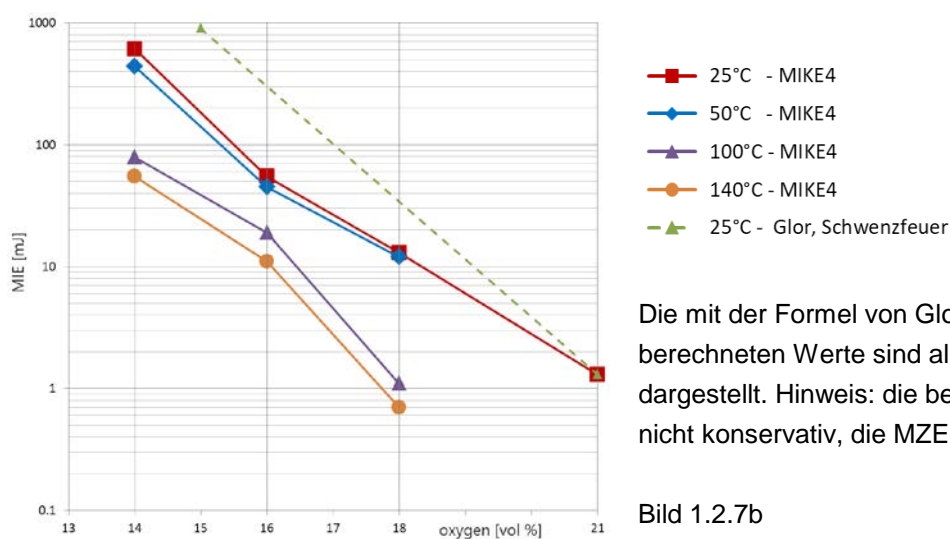
Untersuchungen zum Verhalten der Mindestzündenergie unter sauerstoffreduzierten Atmosphären wurden von Glor und Schwenzfeuer publiziert. Diese untersuchten 22 verschiedene Stäube in einem MIKE 3 und entwickelten dazu ein Abschätzverfahren.

Siehe MIKE-Software:

[Calculate / MIE - influence of Oxygen](#)

Bild 1.2.7a

b) Messung mit MIKE4 (Niacin)



Die mit der Formel von Glor und Schwenzfeuer berechneten Werte sind als gestrichelte Kurve dargestellt. Hinweis: die berechneten Werte sind nicht konservativ, die MZE-Werte sind zu hoch.

Bild 1.2.7b

1.2.8 Zusatz von Brenngas

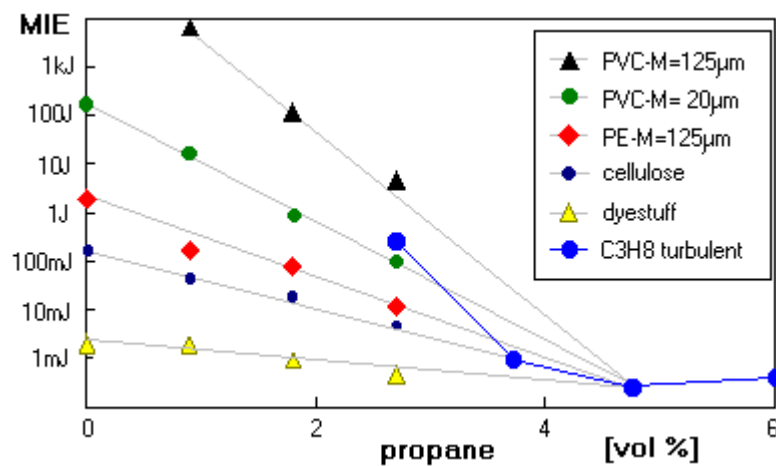


Bild 1.2.8: Einfluss von Brenngaszusatz auf die Mindestzündenergie

Zusatz von Brenngasen (Lösemitteldämpfe) zur Verbrennungsluft vermindert die Mindestzündenergie brennbarer Stäube, und zwar umso mehr, je schwerer entzündlich sie sind. In halblogarithmischer Darstellung ergeben sich Geraden zum zusätzlichen Brenngasgehalt, die in dem Punkt enden, der bestimmend für die Mindestzündenergie des Brenngases selbst ist.

Siehe MIKE-Software: [Calculate / MIE - influence of Gas](#)

1.3 Prüfverfahren

1.3.1 Normen

- a) EN13821: Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen
- b) ASTM E2019: Standardtestmethode der Mindestzündenergie einer Staubwolke in Luft
- c) ISO/IEC 80079-20-2: Explosionsfähige Atmosphären - Prüfverfahren für brennbare Stäube

Staubkonzentration [mg]:

ASTM E2019, EN13821	300	600	900	1200	1500	1800	2400	3000
ISO/IEC 80079		750		1200		2000		3000

Zündverzögerungszeit t_v [ms]:

ASTM E2019, EN13821	60	90	120	150	180
ISO/IEC 80079	60		120		180

Die Norm ISO/IEC 80079 ist hinsichtlich Staubkonzentration und Zündverzögerungszeit eine Teilmenge der Normen ASTM E2019 und EN13821.

Prüfverfahren:

Das Prüfverfahren nach ISO/IEC 80079 ist eine Kurzform des Verfahrens gemäss ASTM E2019 und EN13821. Details, siehe: [1.3.4 Prüfverfahren, Beispiel](#)

Kalibrier-Ringversuch CaRo:

Beim Prüfverfahren nach ISO/IEC 80079, ohne Berücksichtigung der statistischen Energie E_s , ist die alleinige Angabe des Energiebereiches (E_1 , E_2) zu wenig genau. Ein Vergleich der Resultate von verschiedenen Apparaturen und deren Kalibrierung ist nicht möglich.

Empfehlung:

Prüfungen nach ASTM E2019, EN13821 sind für ISO/IEC 80079 gültig! Aber **nicht** umgekehrt. Deshalb empfehlen wir:

- a) Prüfung gemäss ASTM E2019, EN13821, oder
- b) Prüfung gemäss ISO/IEC 80079, jedoch mit E_s

Geschichte:

Bei der Entwicklung der Mindestzündenergie-Apparatur „MIKE“ im Jahr 1992 haben wir die Konzentrationsstufen vom 1m³-Behälter und der 20L-Kugel übernommen:

g / m ³	250	500	750	1000	1250	1500	2000	2500
mg / 1.2L	300	600	900	1200	1500	1800	2400	3000

1.3.2 Prüfverfahren, allgemein

Ausgehend von einem zur Entzündung sicher ausreichenden Energiebetrag wird die Zündenergie bei dem zu untersuchenden Staub, unter **Variation** der **Staubkonzentration** und der **Zündverzögerungszeit** (Turbulenz), so lange halbiert, bis bei **mindestens 10** aufeinanderfolgenden Versuchen keine Entzündung erfolgt. Die Mindestzündenergie (MZE) liegt zwischen der niedrigsten Energie (E2), bei der eine Entzündung auftrat und der Energie (E1), bei der, in mindestens 10 aufeinanderfolgenden Versuchen, keine Entzündung beobachtet wurde.

Der so bestimmte Energiegrenzbereich wird als die Mindestzündenergie eines brennbaren Staubes in Mischung mit Luft bezeichnet. Oft jedoch wird zur Vereinfachung nur der untere Grenzwert (E1) als Mindestzündenergie MZE angegeben.

$$E1 < MZE < E2$$

Für die Beurteilung, inwiefern Zündgefahr durch betriebliche Funkenentladungen, speziell elektrostatische Entladungen, für Staub/Luft-Gemische besteht, ist die Mindestzündenergie MZE mit rein kapazitiver Funkenentladung (ohne Induktivität) nach dem oben beschriebenen Verfahren zu bestimmen.



Bei Brenngasen hat die Induktivität im Allgemeinen keinen Einfluss auf die MZE. Leicht entzündliche Stäube zeigen oft das gleiche Verhalten.

1.3.3 Statistische Zündenergie (Es)

Für den Vergleich der Resultate von verschiedenen Apparaturen und deren Kalibrierung ist die alleinige Angabe des Energiebereiches (E1, E2) zu wenig genau. Deshalb muss für die Kalibrierung mit Hilfe der Zündwahrscheinlichkeit (ZW) ein einzelner statistischer Energiewert (Es) an Stelle des Energiebereiches (E1, E2) wie folgt abgeschätzt werden:

$$E_s = 10^{\log E_2 - I[E_2] \cdot (\log E_2 - \log E_1) / ((NI+I)[E_2] + 1)}$$

wobei gilt: $I[E_2]$ = Anzahl der Versuche mit Zündung bei der Energie E2

$(NI+I)[E_2]$ = gesamte Anzahl der Versuche bei der Energie E2

z.B.:

	ZE \ mg	300	600	900	1200	1500		ZW
E2 =	30 mJ	NI	I	I	I	NI	→	3 aus 5
E1 =	10 mJ		NI	NI	NI			

$$E_s = 10^{\log E_2 - 3 \cdot (\log E_2 - \log E_1) / (5 + 1)} = 17 \text{ mJ}$$

wobei gilt: **I** = Zündung des Staubes

NI = keine Zündung des Staubes in 10 Versuchen

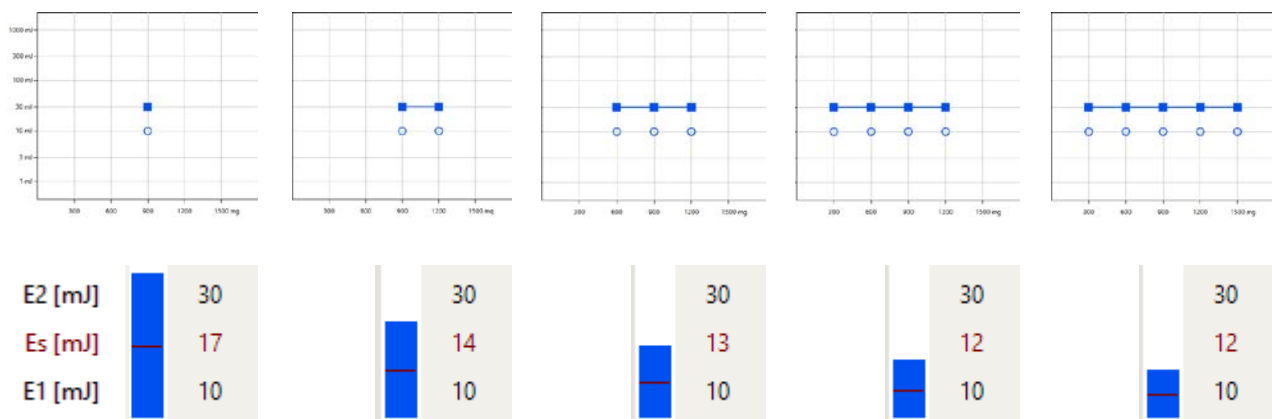
Genauigkeit der Es - Abschätzung

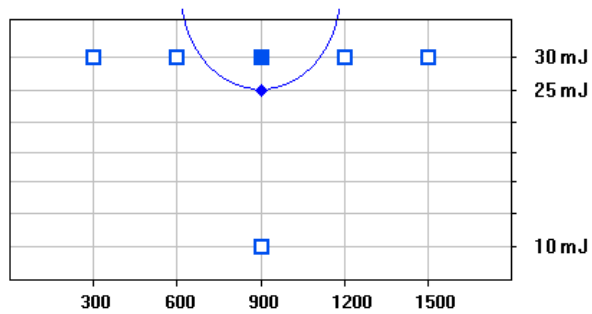
Aus der Anzahl der Versuche lässt sich die Genauigkeit von Es abschätzen:

$$S_{\max} = 10^{\log E_s + I[E_2] \cdot (\log E_2 - \log E_1) / ((NI+I)[E_2] + 1)}$$

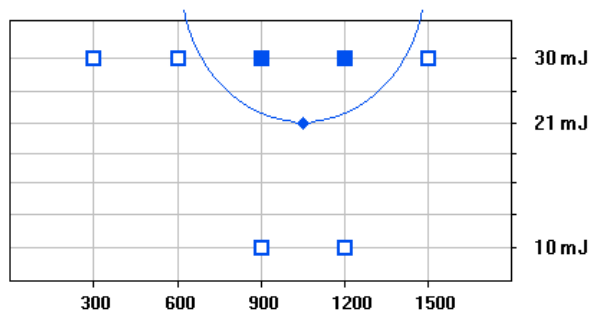
$$S_{\min} = 10^{\log E_s - I[E_2] \cdot (\log E_2 - \log E_1) / ((NI+I)[E_2] + 1)}$$

Beispiele zu Genauigkeit der Es - Abschätzung

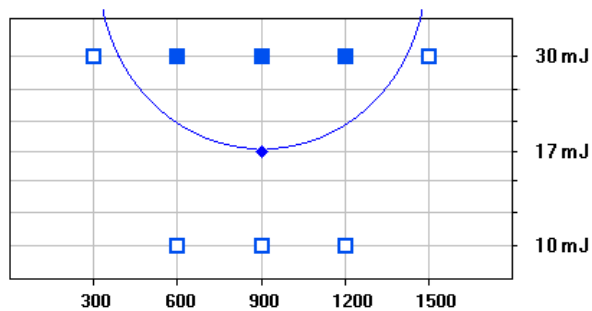


Beispiele zu statistischer Zündenergie (E_s)

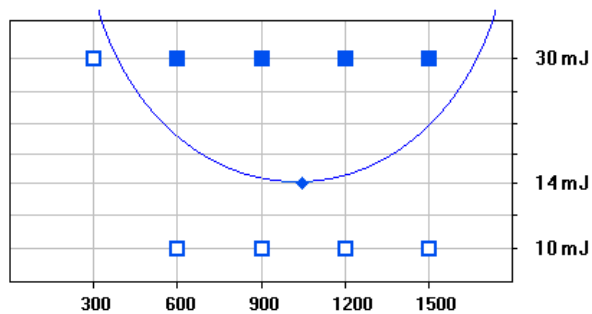
$E_2 = 30\text{mJ} / E_1 = 10\text{mJ}$
 Zündwahrscheinlichkeit = 1 aus 5
 $E_s = 25\text{mJ}$



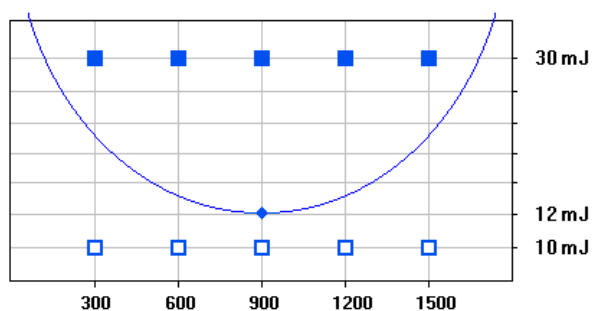
$E_2 = 30\text{mJ} / E_1 = 10\text{mJ}$
 Zündwahrscheinlichkeit = 2 aus 5
 $E_s = 21\text{mJ}$



$E_2 = 30\text{mJ} / E_1 = 10\text{mJ}$
 Zündwahrscheinlichkeit = 3 aus 5
 $E_s = 17\text{mJ}$



$E_2 = 30\text{mJ} / E_1 = 10\text{mJ}$
 Zündwahrscheinlichkeit = 4 aus 5
 $E_s = 14\text{mJ}$



$E_2 = 30\text{mJ} / E_1 = 10\text{mJ}$
 Zündwahrscheinlichkeit = 5 aus 5
 $E_s = 12\text{mJ}$

Statistische Zündenergie (Es) bei Nicht-Atmosphärischen Prüfbedingungen

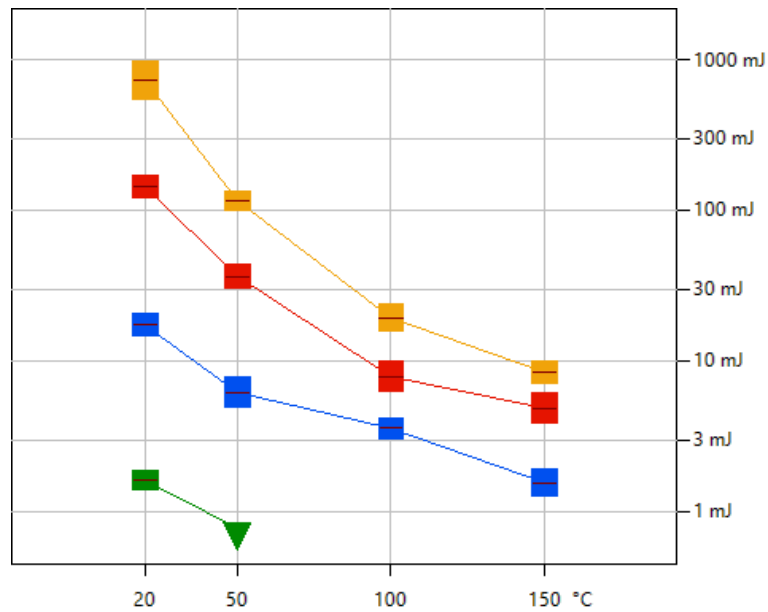


Bei Prüfungen mit erhöhter Temperatur und/oder reduziertem Sauerstoffgehalt ist die Angabe der Zündwahrscheinlichkeit E_s für eine sinnvolle Darstellung zwingend notwendig.

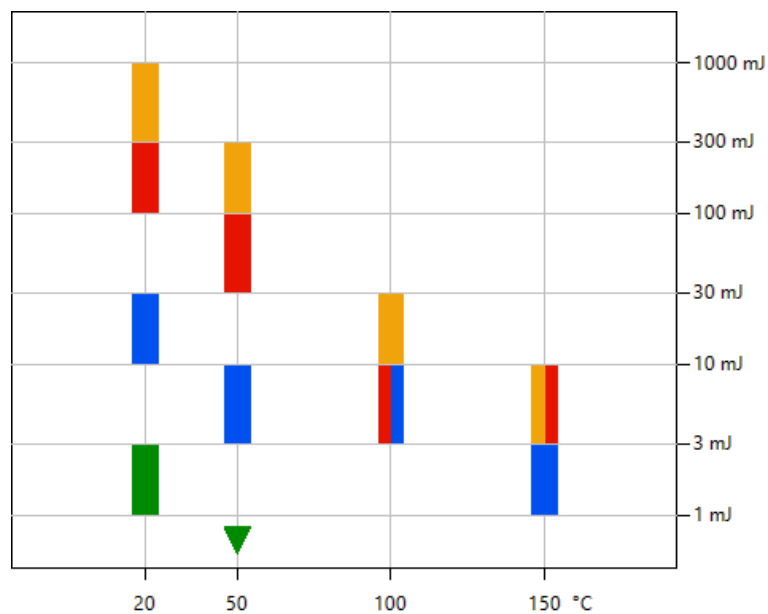
Parameter

oxygen	
	21%
	18%
	16%
	14%

Darstellung MZE vs Temperatur **mit** E_s



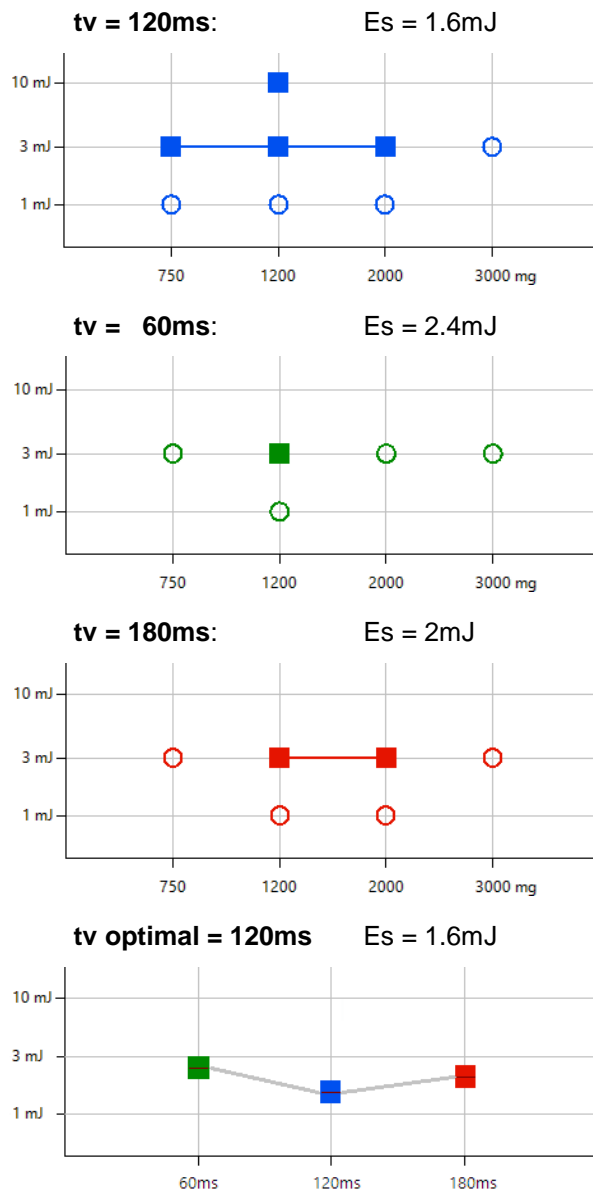
Darstellung MZE vs Temperatur **ohne** E_s



1.3.4 Prüfverfahren, Beispiel

ASTM E2019, EN13821

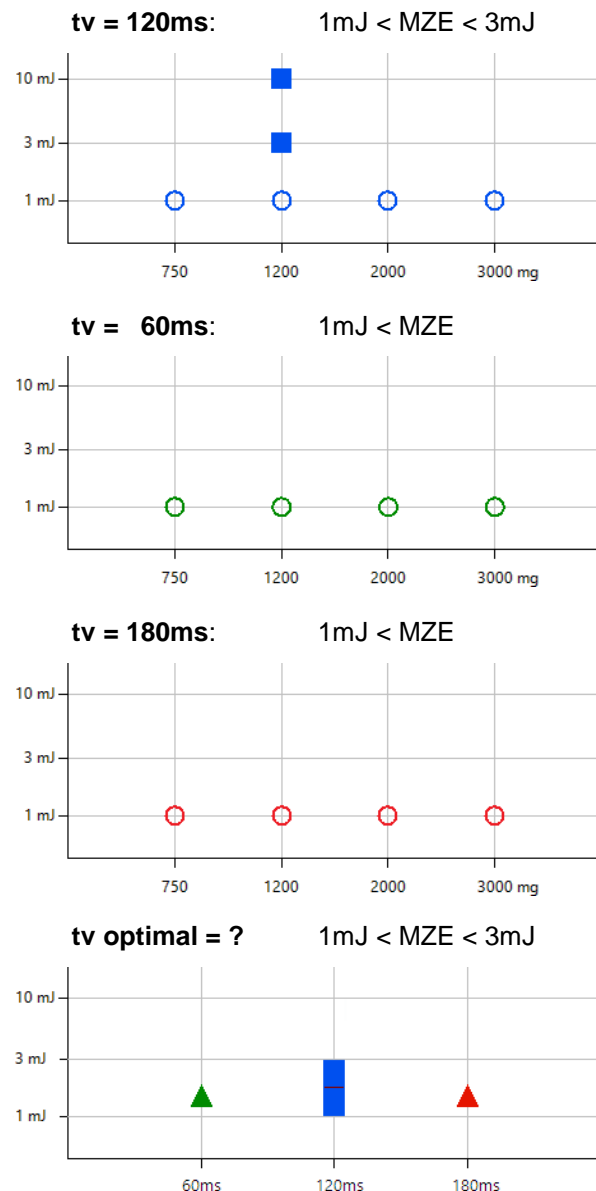
ISO/IEC 80079 mit Es



Empfohlenes Prüfverfahren.

Alle Normen werden berücksichtigt.
Der Mehraufwand ist im Verhältnis zum
genaueren Ergebnis gering.

ISO/IEC 80079 ohne Es



Bei diesem Verfahren wird bei tv=60ms und
tv=180ms nur bestätigt, dass keine tieferen MZE-
Werte vorhanden sind. Über die optimale Zünd-
verzögerungszeit tv ist keine Aussage möglich.

1.4 Prüfapparatur MIKE

Aufgrund der im Kapitel 1.2 dargestellten Ergebnisse wurden die folgenden Minimalbedingungen für eine Apparatur zur Bestimmung der Mindestzündenergie brennbarer Stäube international festgelegt:

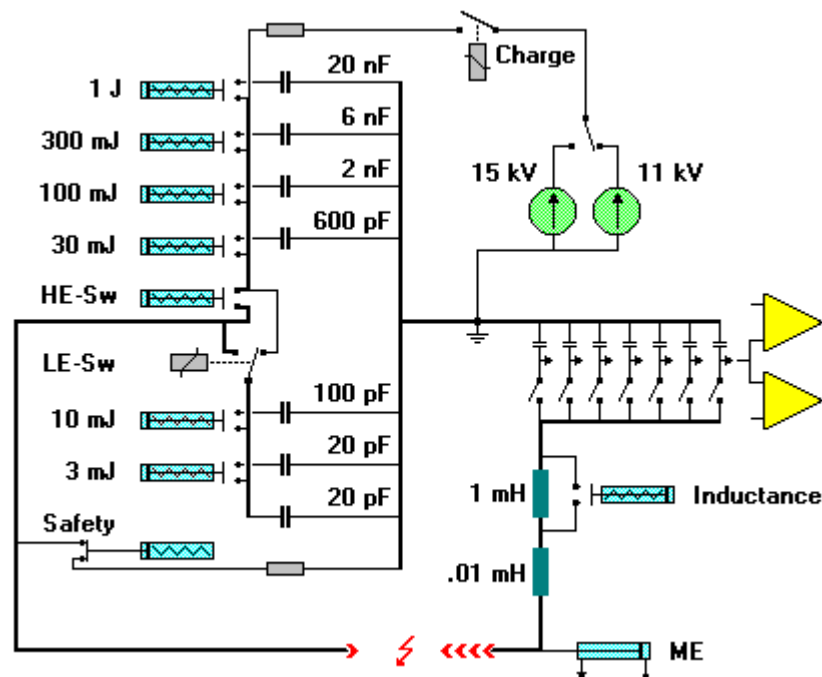
- mit Induktivität im Entladekreis: $L = 1 \text{ mH} - 2 \text{ mH}$
- ohne Induktivität im Entladekreis: $L \leq 0.025 \text{ mH}$
- Elektrodenmaterial: Wolfram oder rostfreier Stahl
- Elektrodendurchmesser: $d = 2 \text{ mm}$
- Elektrodenabstand: mindestens 6 mm

Als Explosionsgefäß wird ein modifiziertes Hartmannrohr aus Glas mit einem Volumen von 1.2 Liter verwendet. Das Staubverteilungssystem am Boden des Rohres ist vom Typ "Pilz", auf das die Probe lose aufgebracht wird. Durch einen Druckluftstoss von 7 bar wird der Staub im Glaszylinder aufgewirbelt und durch einen Funken zwischen zwei Elektroden entzündet.

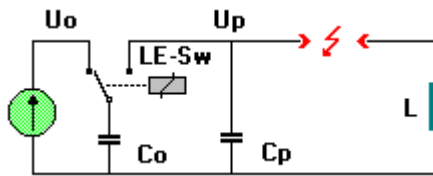
Untersuchungen zeigten, dass Staub/Luft-Gemische durchaus MZE-Werte von weniger als 10 mJ aufweisen können. Der Messbereich des MIKE wurde deshalb speziell für die kleinen Zündenergien ausgelegt. Durch pneumatisch betätigte Hochspannungsschalter sind die parasitären Kapazitäten vernachlässigbar klein.

Eine weitere Idealisierung der Versuchseinrichtung bringt der direkte Zusammenbau der Kondensatorentladungsapparatur mit dem modifizierten Hartmannrohr. Lange Zuleitungen entfallen und die Hochspannungseinheit sowie das Explosionsgefäß sind im gleichen Faraday-Käfig angeordnet.

1.4.1 Prinzipschema



1.4.2 Entladekreis für 1 mJ , 3 mJ - Triggerung durch Relais



U_0 = Ladespannung

U_p = Entladespannung

C_0 = Entladekondensator

C_p = parasitärer Kondensator

L = Induktivität (0.01mH / 1mH)

LE-Sw = Hochspannungsrelais

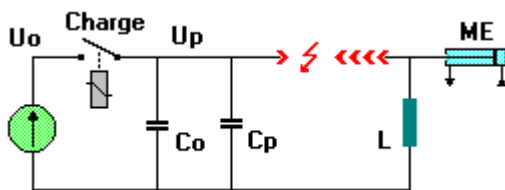
Der Entladekondensator C_0 erhält die Ladung $Q_0 = U_0 \cdot C_0$. Nach dem Umschalten des speziellen Hochspannungsrelais "LE-Sw" bleibt die **Ladung** erhalten, die Spannung U_0 hingegen erniedrigt sich auf U_p entsprechend der folgenden Gleichung:

$$U_p = U_0 \cdot C_0 / (C_0 + C_p)$$

Daraus resultiert eine reduzierte Funkenenergie E_p gemäss MZE-Definition von:

$$E_p = 0.5 \cdot (C_0 + C_p) \cdot U_p^2$$

1.4.3 Entladekreis für 10 mJ ... 1 J - Triggerung durch bewegte Elektrode



U_0 = Ladespannung

U_p = Entladespannung

C_0 = Entladekondensator

C_p = parasitärer Kondensator

L = Induktivität (0.01mH / 1mH)

ME = bewegte Elektrode

Charge = Laderelais

Zu Beginn ist die bewegte Masse-Elektrode in Ruhestellung. Der Elektrodenabstand beträgt dann ca. 25 mm. Auch bei einer Ladespannung $U_0 = 15$ kV wird die Durchschlagsspannung bei weitem nicht erreicht. Nach dem Öffnen des Laderelais "Charge" wird die Elektrode pneumatisch schnell auf den eingestellten minimalen Elektrodenabstand von 6 mm bewegt. Noch bevor die Endposition erreicht wird, springt der Funke.

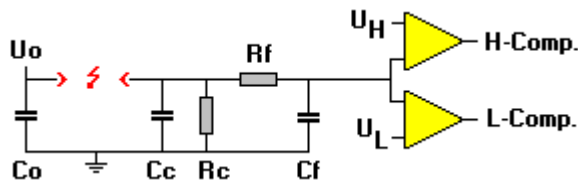
Die Funkenenergie E_p berechnet sich gemäss MZE-Definition nach folgenden Gleichungen:

$$U_p = U_0$$

$$E_p = 0.5 \cdot (C_0 + C_p) \cdot U_p^2$$

1.4.4 Funkenüberwachung

Bei der Bestimmung der Mindestzündenergie wird auf Nichtzündungen geprüft. Es muss deshalb darüber Gewissheit herrschen, dass der Entladungsfunken den korrekten Energiewert aufwies, er aber das Staub/Luft-Gemisch nicht Entzünden konnte. Die durch den Funken übertragene Ladung wird bei jedem Zündversuch gemessen und auf Einhaltung von Grenzwerten überprüft:



H-Comp = oberer Grenzwert
 L-Comp = unterer Grenzwert
 Co = Entladekondensator
 Cc = Messkondensator
 Rc = Ableitwiderstand
 Cf, Rf = Filter

Die Ladung des Entladekondensators Co wird auf den Messkondensator Cc übertragen. Der vor dem Funkensprung fließende, langsam ansteigende Coronastrom wird ebenfalls im Messkondensator Cc gesammelt, jedoch durch den Widerstand Rc wieder abgeleitet. Nur die Ladungsübertragung des eigentlichen Funkens mit seinem, für kurze Zeit fließenden, hohen Strom wird mit dieser Schaltung erfasst.

Der Spannungsverlauf über Cc entspricht, wie auch der Funkenstrom, einer gedämpften Schwingung. Das nachgeschaltete Filter (Cf, Rf) bildet nun daraus den gesuchten Mittelwert für die Funkenüberwachung. Der Scheitelwert dieser Ladungsmessung muss innerhalb der Grenzen U_L und U_H liegen, um als gültiger Wert anerkannt zu werden.

1.4.5 Energiebereich

Definitionsgemäss gilt für die MZE die in einem Kondensator gespeicherte Energie. Aber nicht nur der vor dem Funkensprung fliessende Coronastrom verringert die Ladung des Kondensators, und somit die Funkenenergie, auch verschmutzte Isolatoren und allenfalls leitfähige Stäube lassen beträchtliche Ladungsmengen abfliessen.

Energieangaben, die sich nur auf die Anfangsladung des Kondensators beziehen, sind irreführend. Der tatsächliche Energiewert des Funkens ist **immer** unterhalb von diesem theoretischen Maximalwert und liegt damit, vom Gesichtspunkt des Sicherheitsdenkens, leider auf der falschen Seite; z.B. der Funken der den Staub noch zur Entzündung brachte hatte eine niedrigere Energie als angegeben wurde !

Nominal	Maximal	Minimal	Triggerung	Spannung
1 mJ	1.8 mJ	0.7 mJ	Relais	15 kV
3 mJ	4 mJ	1.8 mJ	Relais	15 kV
10 mJ	13 mJ	7 mJ	Relais	15 kV
(10 mJ)	* 18 mJ	7 mJ	bewegte Elektrode	15 kV
30 mJ	40 mJ	18 mJ	bewegte Elektrode	11 kV
100 mJ	133 mJ	70 mJ	bewegte Elektrode	11 kV
300 mJ	400 mJ	230 mJ	bewegte Elektrode	11 kV
1 J	1.33 J	650 mJ	bewegte Elektrode	11 kV

Maximal = theoretischer Maximalwert

Minimal = unterer Grenzwert der Funkenüberwachung



10 mJ (Werkseinstellung = Relais)

* Relativ grosse Coronaverluste sind zu berücksichtigen.

Nach dem Paschen-Gesetz und Kugelelektroden kann der Temperatureinfluss auf die Durchschlagsspannung bei 6mm Elektrodenabstand abgeschätzt werden:

19kV bei 20°C und 13kV bei 150°C

Bei Triggerung durch „bewegte Elektrode“ werden die Coronaverluste an der Elektrodenspitze auf der Hochspannungsseite der Funkenstrecke bei erhöhter Temperatur zunehmen.

1.4.6 Prinzip MIKE4

Wichtig ist, dass zum Zeitpunkt der Zündung Temperatur und Gaszusammensetzung homogen sind.

Für eine hohe Temperaturhomogenität werden der metallische Fuss und das Hartmann-Rohr auf die gewünschte Temperatur geregelt.

Die Gaszusammensetzung im Inneren des Hartmann-Rohrs und im Behälter für die Staubaufwirbelung muss identisch sein. Das Gasmischung wird mit einer Ringdüse am Boden des Hartmann-Rohrs eingeblasen.

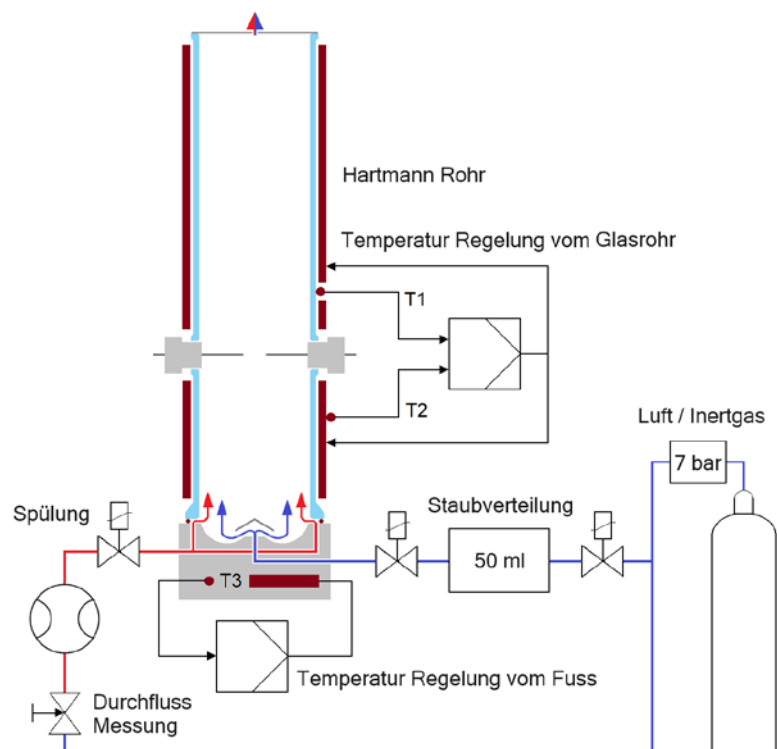


Bild 1.4.6a Prüfeinrichtung

Temperatur-Regelung

Die Temperatur vom metallischen Fuss zur Staubverteilung ist einfach regelbar. Hingegen eine homogene Temperaturverteilung im Glasrohr zu erreichen, ist sehr aufwändig. Mit einem einfachen Heizmantel um das Glasrohr wird dies nicht erreicht. Der MIKE4 verwendet deshalb Aluminium Heizschalen mit definiertem Luftspalt zum Glasrohr. Die Oberflächentemperatur vom Glas wird gemessen und in Kaskade zu den Heizschalentemperaturen geregelt. Für einen schnellen Wechsel vom Glasrohr kann die vordere Heizschale zur Seite gedreht werden.

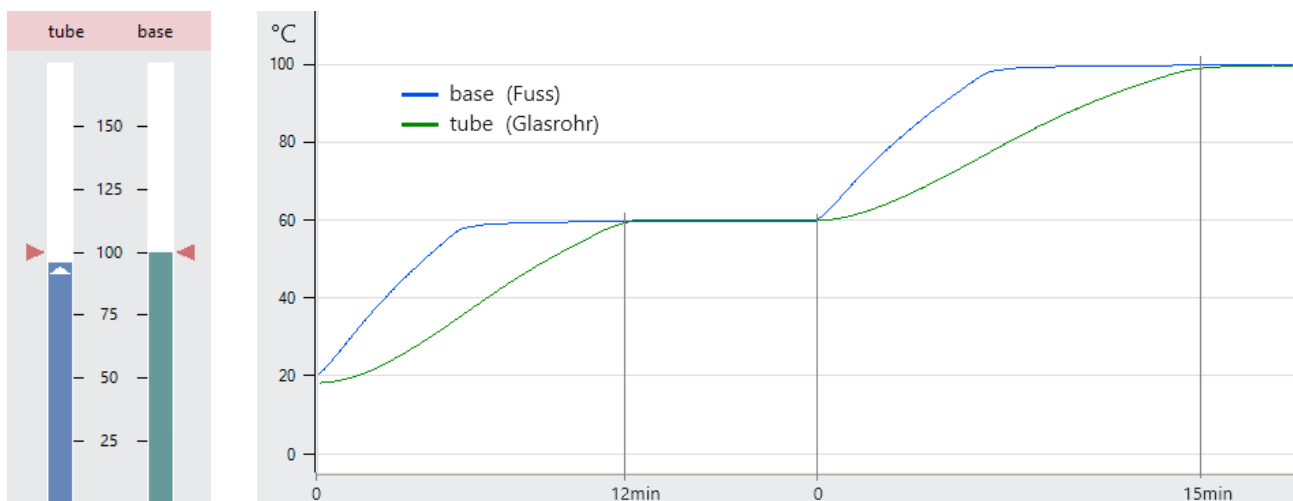


Bild 1.4.6b: Die aktuellen Temperaturen werden numerisch und graphisch dargestellt (links). Der MZE-Versuch kann erst bei korrekten Temperaturen gestartet werden. Das MIKE4-Programm enthält eine Temperaturaufzeichnung (rechts).

Sauerstoff-Einstellung

Für Prüfungen unter verschiedenen Sauerstoffkonzentrationen werden Gasgemische mit definierter Zusammensetzung aus Gasflaschen verwendet. So können die Bediener sich auf die MZE-Prüfungen konzentrieren und müssen sich nicht um die Stabilität des Gasgemischs kümmern. Das Gasgemisch wird mit einer Ringdüse am Boden des Hartmann-Rohrs (1.2L) eingeblasen und mit insgesamt 3L von unten gespült. Messungen mit einer optischen O₂-Sonde von Presens zeigten, dass mit 5L/min und einer Menge von total 3L, die gewünschte Konzentration schnell erreicht wird. In der Praxis muss die Messverzögerung der Sonde nicht berücksichtigt werden und es darf mit höherem Durchfluss gespült werden. Zwischen den Prüfungen ohne Zündung ist es nicht notwendig mit der vollen Menge von 3L zu spülen. Der MIKE4 berechnet die Nachfüllmenge und spart somit Gasgemisch und Zeit.

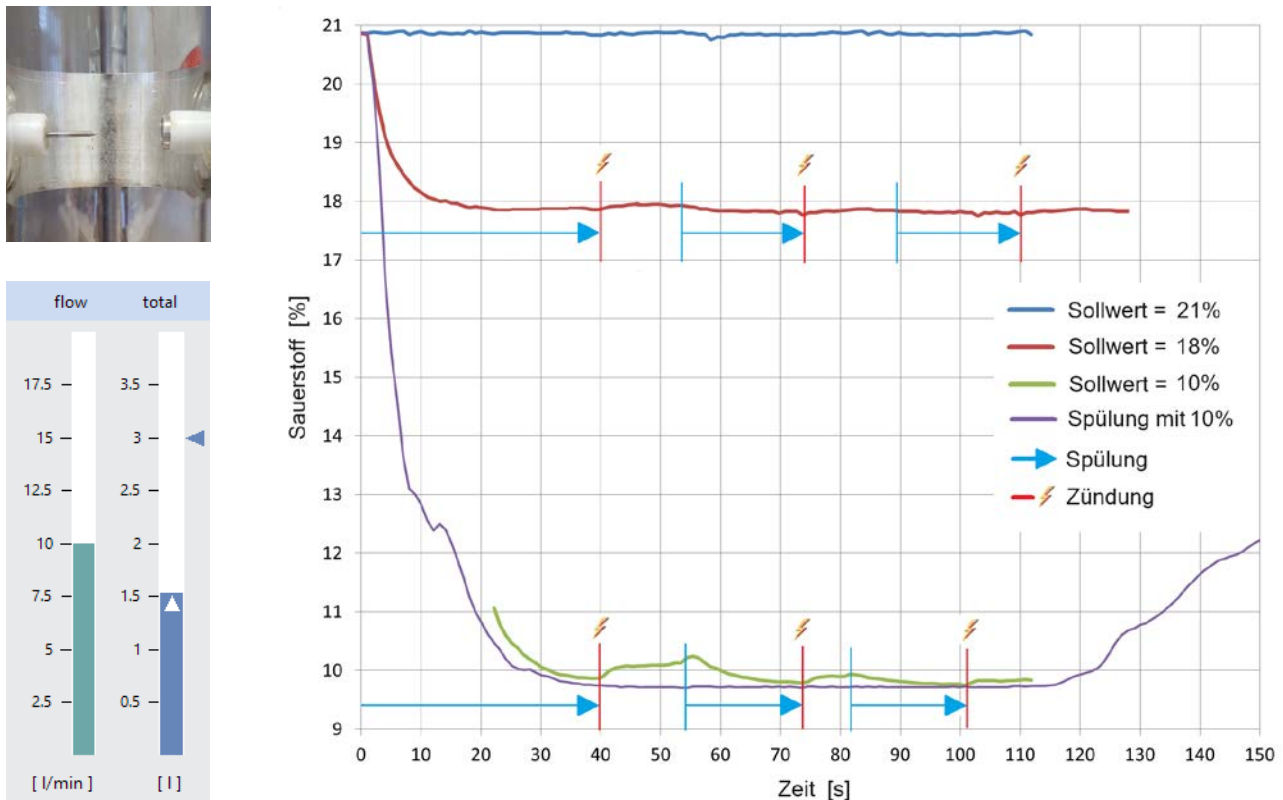
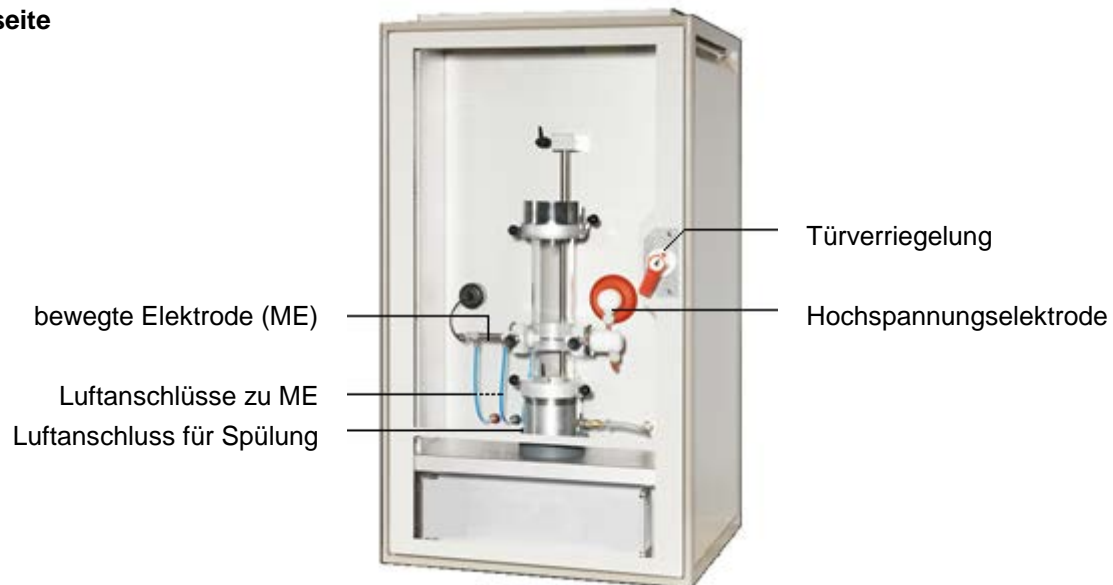


Bild 1.4.6c: Presens-Sonde (oben links). Jeweils 3 Prüfungen ohne Entzündung vom Staub (rechts). Der aktuelle Zustand der Gasfüllung wird immer angezeigt (unten links).

2. Installation

2.1 Apparatur

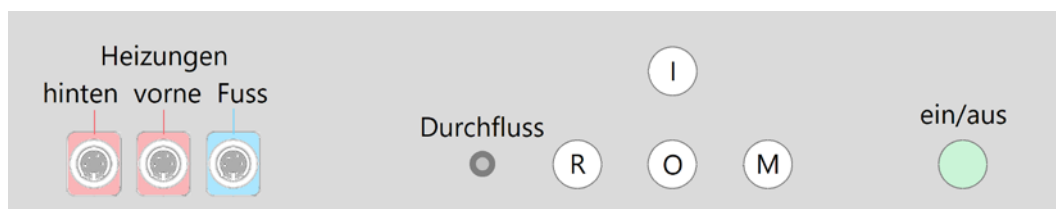
Frontseite



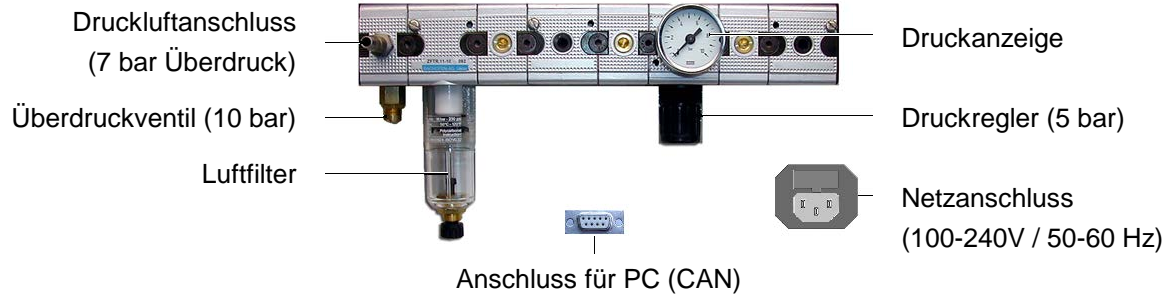
Türverriegelung mit 3 Stellungen:

1. Tür offen (Einstellen der Elektroden und Reinigung):
Die Hochspannung ist **ausgeschaltet** und die Tasten sind **aktiv**.
2. Tür geschlossen (Spülung mit Druckluft nach einem Test)
Die Hochspannung ist **ausgeschaltet** und die Tasten sind **aktiv**.
3. Tür geschlossen (der MIKE ist bereit für den Test)
Die Hochspannung ist **eingeschaltet** und die Tasten sind **gesperrt**.

Frontplatte:



- I** Einlassventil, Vorratsbehälter füllen
- O** Auslassventill, Vorratsbehälter entleeren
- M** Bewegte Elektrode (Umschaltfunktion)
- R** Spülung. Einstellung vom Durchfluss (typisch 10 L/min)

Anschlüsse (Rückseite)**Druckluftanschluss:**

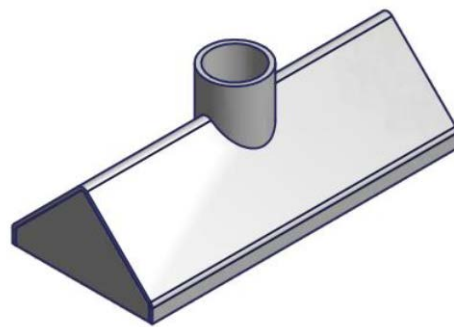
Die Druckluft wird einerseits als Steuerluft für die Pneumatik und andererseits für die Staubaufwirbelung benötigt. Nennwert = **7 bar Überdruck = 8 bar absolut**.

Für Prüfungen unter **atmosphärischen** Bedingungen darf **nur normale Kompressor-Druckluft** verwendet werden. Mit synthetischer Druckluft wird eine stark abweichende Mindestzündenergie gemessen.

Abluft

Abzugshaube zu MIKE3 (Option)
 Außendurchmesser des Rohrs = 90 mm
 Innendurchmesser = 75 mm

Luftmenge vom Abzug ca. 500 m³/h

**Industriestaubsauger**

Sind für den Betrieb der Apparatur notwendig, werden aber **nicht** mitgeliefert und müssen vom Anwender beige stellt werden:

ATEX geprüft Beispiele: <https://howatec.ch/industriesauger-atex.html>
<https://www.delfinindustriesauger.de>

Sicherheitshinweise

Üblicherweise wird der MIKE in einer ventilierten Laborkapelle aufgestellt. Bei einer direkten Ableitung in die Ventilation sind die Druckwelle und die Flamme bei heftig reagierenden Stäuben zu berücksichtigen.



Aus Sicherheitsgründen muss bei allen Manipulationen an den Elektroden der Hochspannungsstecker an der Elektrode (rechts) ausgezogen werden. Die bewegte Elektrode (links) ist immer auf Erdpotential und somit ungefährlich.

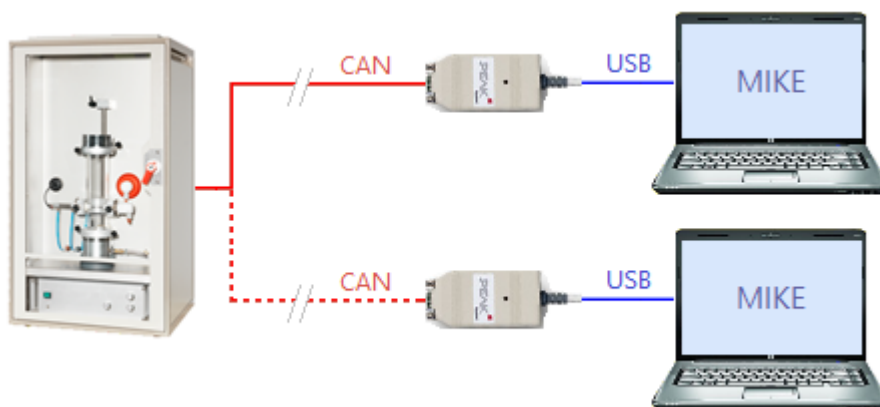


Bevor das Gerät elektrisch angeschlossen wird, bitte zuerst die Angaben auf dem Typenschild mit den Daten Ihres Netzanschlusses vergleichen.

2.2 PC-Hardware

Konzept: Der CAN-Bus (Controller Area Network) ist ein serielles Bussystem. Der CAN-Bus wurde 1983 vom Unternehmen Bosch für das Automobil entwickelt, ist international genormt und heutzutage auch in der Industrie als Feldbus unter diversen Bezeichnungen und Datenprotokollen sehr weit verbreitet. Dieser Bus zeichnet sich durch seine Robustheit aus. Sogar Leitungslängen von bis zu 100m zwischen MIKE und CAN-USB-Adapter sind möglich.

Anschluss von einem MIKE an einem oder mehreren PC's:



Personal Computer (PC):

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

USB Anschluss (USB 1.1, USB 2.0 oder USB 3.0) am Computer

Monitor-Auflösung mindestens 1200 x 800

Verbindungsmöglichkeiten MIKE - PC:

Kabel DSUB 9 polig
Standard



Lichtwellenleiter
(Option)



Ethernet
(Option)

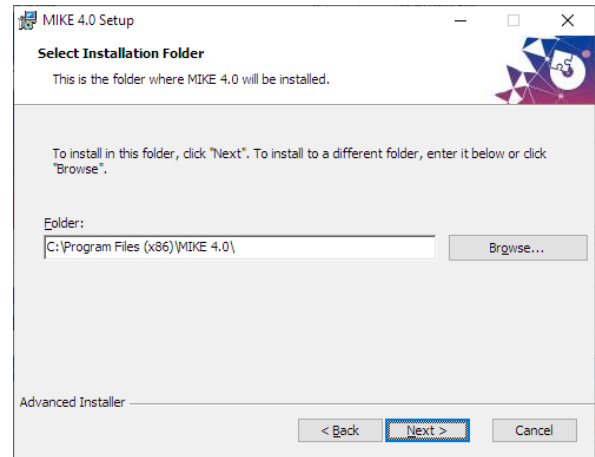


WLAN
(Option)



2.3 PC-Software

Installation: Bitte die folgende Windows-Setup-Datei ausführen: **MIKE40_setup.exe**
Für die Installation vom CAN-Treiber, sind **Administrator-Rechte** erforderlich.



Die MIKE-Software starten und die Anweisungen befolgen:



Sprachen

Für die Bedienerführung und den Prüfbericht sind neben Deutsch und Englisch viele weitere Sprachen verfügbar. Ist Ihre Sprache nicht dabei, dann bitte Mitteilung an: info@cesana-ag.ch

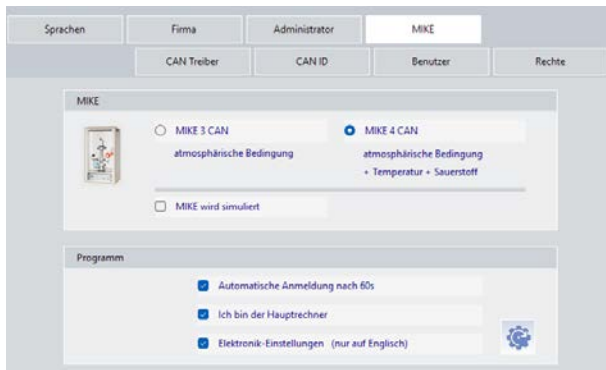


Administrator

Der 1. Administrator wird hier definiert. Weitere Anwender können in „**Benutzer**“ hinzugefügt werden.

MIKE-filename starts with ...

Automatisch erstellte Dateinamen beginnen damit, gefolgt vom Datum der Eröffnung der Datei. Der darauf folgende Buchstabe unterscheidet Dateien, die am gleichen Tag erstellt wurden. Beispiel: Lab_230224A.MIE Diese automatisch erstellten Dateinamen sind nur ein Vorschlag. Selbstverständlich können Sie einen eigenen Dateinamen (z.B. Auftragsnummer) eingeben. Die Erweiterung des Dateinamens ist immer „MIE“ und wird automatisch hinzugefügt.



MIKE 4 CAN

MIKE wird simuliert:

Die meisten Funktionen des MIKE können auch ohne Apparat simuliert werden (im Büro).

Automatic login:

automatischer Programmstart nach 60s.

Master: sind mehrere PC's am MIKE angeschlossen, so darf nur einer Master sein.



CAN-Treiber

Für die Installation benötigen Sie Administrator-Rechte. Für die spätere Benutzung jedoch sind keine besonderen Rechte notwendig.

Keine USB-Verlängerungskabel zwischen CAN-USB-Adapter und PC verwenden..

Installation

- CAN-Adapter **nicht** anschliessen.
- Den Peak-Treiber installieren.
- CAN-Adapter an USB-Port anschliessen.
- Windows benachrichtigt über neue Hardware.
- Das MIKE-Programm neu starten.

Info

Am CAN-USB Adapter ist eine rote LED:

Konstant leuchtend: mit Windows verbunden

Langsam blinkend: mit MIKE verbunden

Schnell blinkend: Daten werden übertragen



CAN-ID

Falls an Ihrem PC mehrere CAN-Adapter angeschlossen sind, müssen diese eindeutig identifiziert werden.

Bei einem neuen Adapter ist diese Nummer üblicherweise 255 (0xFF).

Benutzer				
Benutzer	Vollständiger Name	Berechtigung	aktiviert	Status
1 CC	Ch. Cesana	Administrator	✓	aktiv
2 TH	T. Hanks	Service	✓	neu
3 TE	T. Hill	Supervisor	✓	neu
4 BS	B. Spencer	Operator	✓	neu
5				

Benutzer

Der 1. Administrator wird bei **Administrator**

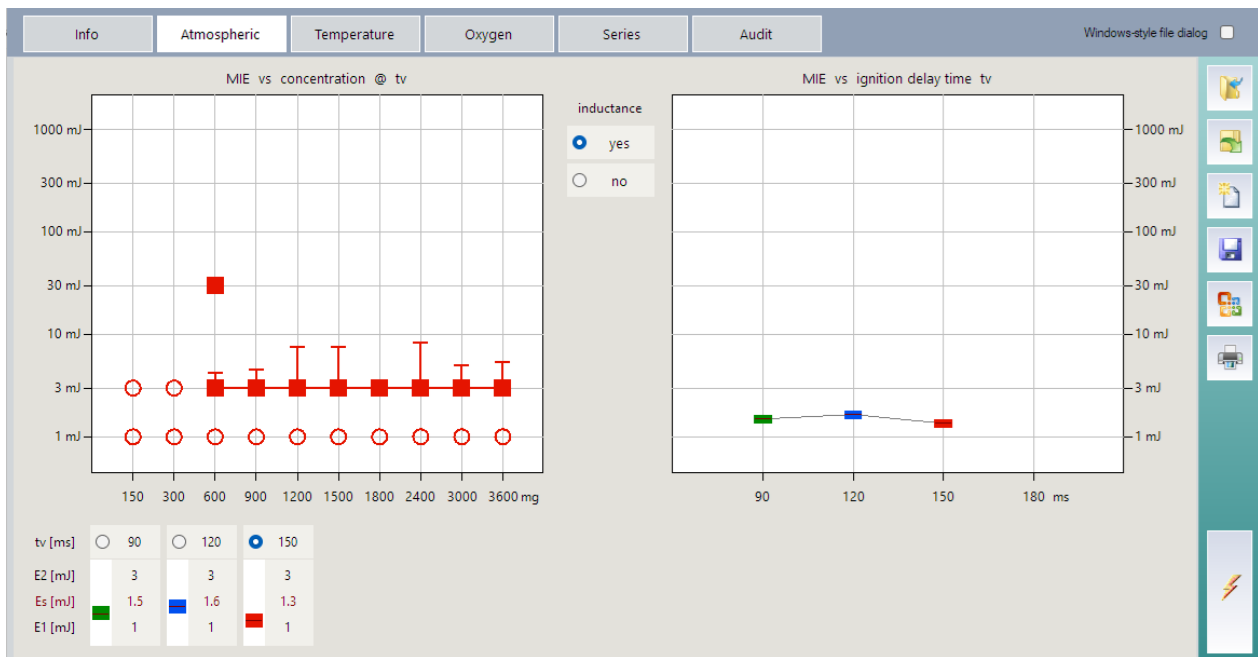
definiert. Weitere Benutzer können hier hinzugefügt werden:

Rechte				
	Administrator	Service	Supervisor	Operator
1 Neue Tests	✓	✓	✓	✓
2 Dateimanager (neu, speichern)	✓	✓	✓	✓
3 Tabellenänderung	✓	✓	✓	✓
4 Testbedingungen	✓	✓	✓	
5 Software-Update	✓	✓		
6 System - Einstellungen	✓			

Rechte

Die Rechte der 4 Benutzergruppen können hier vom Administrator definiert werden.

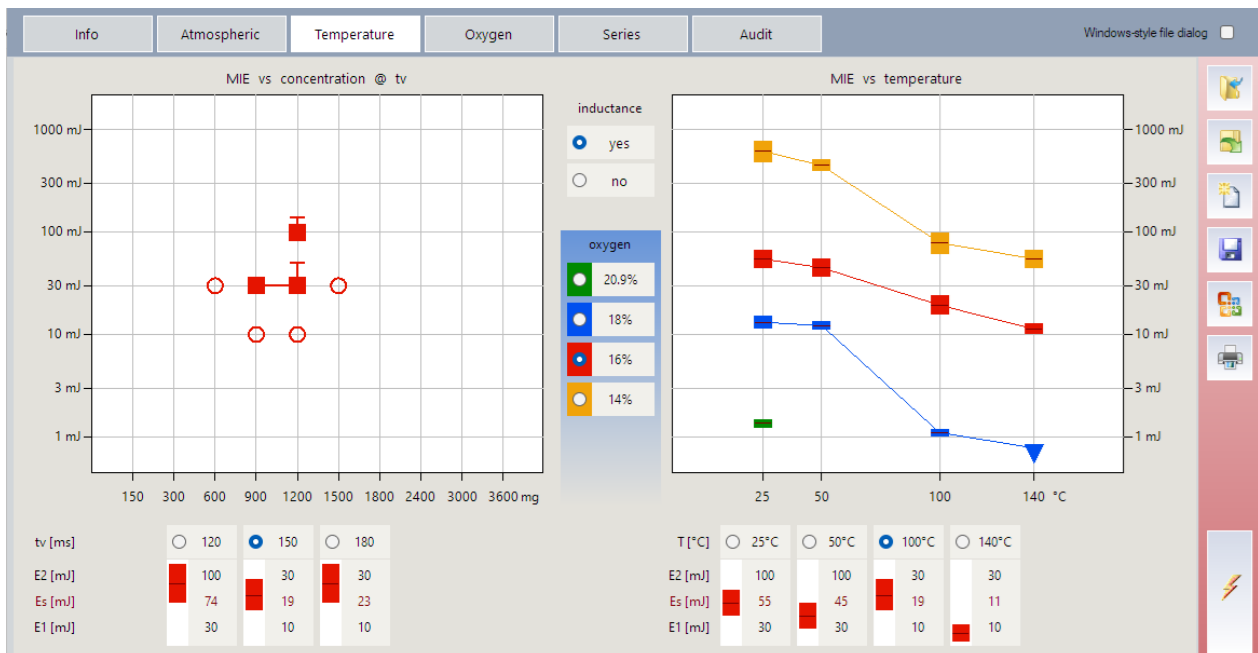
3.2.2 Atmosphärisch



MZE vs Staubkonzentration
Parameter = Zündverzögerungszeit tv

MZE vs Zündverzögerungszeit tv

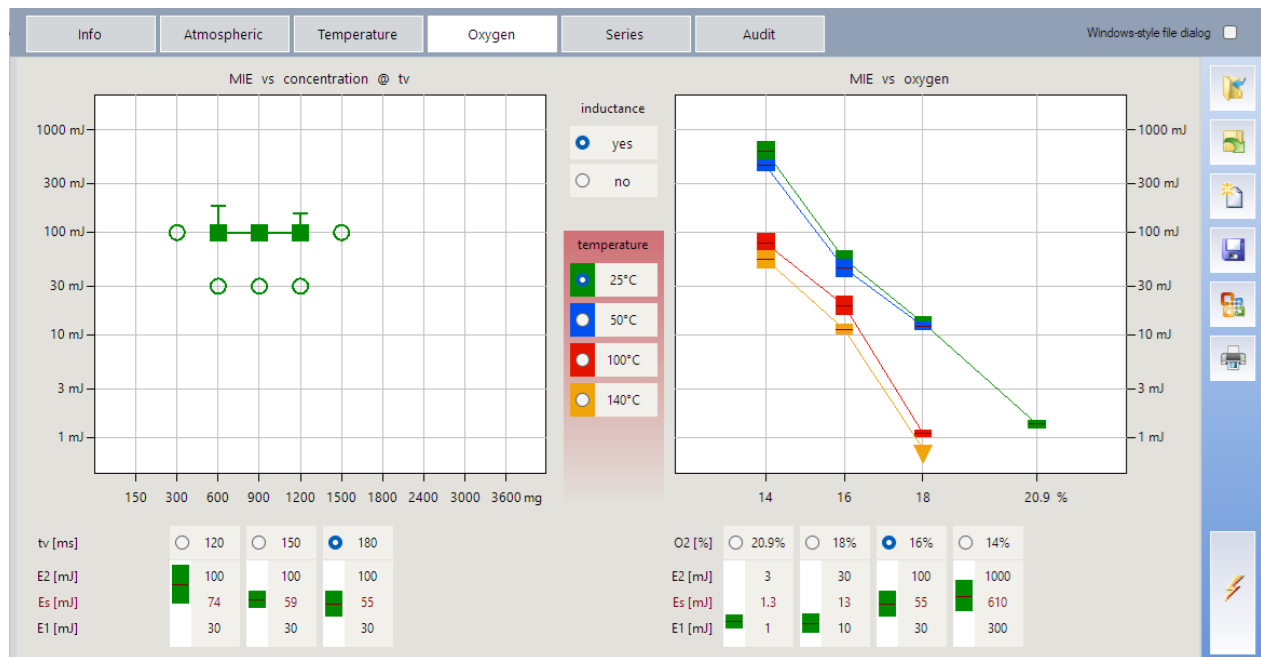
3.2.3 Temperatur



MZE vs Staubkonzentration
Parameter = Zündverzögerungszeit tv

MZE vs Temperatur
Parameter = Sauerstoffgehalt

3.2.4 Sauerstoffgehalt



MZE vs Staubkonzentration
Parameter = Zündverzögerungszeit tv

MZE vs Sauerstoffgehalt
Parameter = Temperatur

3.3 MIKE - Dateien



Neues Produkt, neue Datei

Bei Prüfungsbeginn mit einem neuen Produkt wird eine neue Datei eröffnet. Der Dateinamen 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: 2.3 PC-Software, 3. Administrator) gefolgt vom Datum. Der anschliessende Buchstaben unterscheidet Dateien, die am gleichen Tag erstellt wurden.

Beispiel 1: Identität_201122A.MIE

Beispiel 2: Identität_201122B.MIE (am gleichen Tag erstellt wie Beispiel 1)

- B:** Beispiel 3: mein_Produkt.MIE (maximale Länge des Dateinamens = 126 Zeichen)



Bestehendes Produkt, Datei öffnen

Ein Verzeichnis von MIKE-Dateien mit Angabe des Produktes wird angezeigt. Für die Auf- bzw. Absteigende Sortierung auf das entsprechende Feld (*filename*, *date*, *product*) klicken.

E:\PROGNET_C\MIKE4_INT\bin\MIKEDAT\		
Dateinamen	Datum	Produkt
Demo_Mike4_Lycopodium.MIE	11.01.2021	Lycopodium
Demo_Mike4_Niacin.MIE	11.01.2021	Niacin CaRo18



Datei sichern als ...

Alle Daten werden immer **automatisch** gesichert. Bei Bedarf können Sie die gesamte Aufzeichnung unter einem neuen Dateinamen in einer separaten Datei speichern.



Dateien kopieren

Ein einfach zu bedienender Dateimanager für das Kopieren von MIKE-Dateien ist eingebaut. Es werden dabei nur MIKE-Dateien angezeigt.

Windows-style file dialog ☐

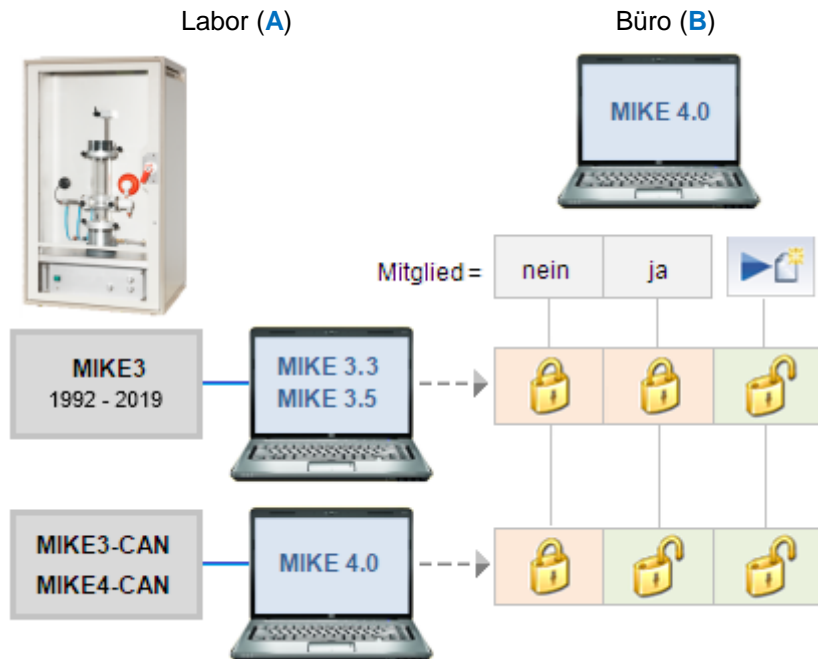
Dateiauswahl im Windows-Stil oder mit Produktanzeige.

3.3.1 Zugriffsrechte



Im Prüflabor muss die Software passend zur Apparatur sein.

Im Büro empfehlen wir die MIKE4.0 Software, denn diese kann alle älteren Dateien lesen, ist in der Bedienung wesentlich komfortabler und flexibler beim Prüfbericht.



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. Andernfalls müssen die Daten importiert werden.



gesperrt

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



frei zugänglich

Sie können die Tabellen bearbeiten und Kommentare hinzufügen.



MIKE3.3 - Dateien kennen noch keine Benutzerverwaltung und das Dateiformat unterscheidet sich. Deshalb muss für Manipulationen die MIKE3.3-Datei im MIKE4-Format gespeichert werden. Es wird ein neuer Dateinamen generiert: z.B. M030618A.SIB wird zu M030618A_3.MIE

Gesperrte **MIKE3.5** - Dateien müssen für den freien Zugang importiert werden.

Es wird ein neuer Dateinamen generiert: z.B. CaRo24.MIE wird zu CaRo24_3.MIE

Gesperrte **MIKE4.0** Dateien müssen für den freien Zugang importiert werden.

Es wird ein neuer Dateinamen generiert: z.B. CaRo25.MIE wird zu CaRo25_4.MIE

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	MIKE data imported (3.5)	JS	John Smith
					OP1	my Operator 1

3.4 Prüfverfahren

3.4.1 Probenvorbereitung

Niedrigstwerte für die MZE eines Produktes werden erreicht, wenn die Probe trocken und in feiner Kornfraktion untersucht wird. Deshalb ist die Probenvorbereitung von grosser Bedeutung.

Das Produkt muss durch eine der folgenden Methoden sorgfältig getrocknet werden:

- a) 24 Std bei 50°C unter Vakuum
- b) 24 Std bei 75°C unter Atmosphärendruck



Die Probe muss so vorbereitet sein, dass der Medianwert **M < 63 µm** ist.

Die MZE wird durch die Korngrössenverteilung stark beeinflusst (siehe 1.2.5), deshalb müssen die Korngrössenverteilung und der dazugehörige Medianwert M immer bestimmt und im Prüfbericht angegeben werden.

Nur unter Umständen darf die Untersuchung auch im Anlieferungszustand erfolgen.

3.4.2 Voraussetzungen



Elektrodenabstand = 6 mm

Mit der Taste "ME" (moving electrode) die bewegte Elektrode in die Arbeitsposition bringen und den Abstand zwischen der bewegten und der festen Elektrode mit der mitgelieferten Lehre auf 6 mm justieren (Gewindeverstellung der festen Elektrode). Toleranz = 6 bis 7 mm. Internationale Richtlinien verlangen einen Elektrodenabstand von mindestens 6 mm.



Zerstäubungsdruck Pz = 7 bar (Überdruck)

Die Druckluft für die Aufwirbelung des Staubes und für die Pneumatik der bewegten Elektrode muss auf 7 bar +/- 0.5 bar eingestellt werden.

(Manometer Anzeige = 7 bar)

3.4.3 Allgemeiner Prüfablauf

1. Beginnen Sie mit einer Staubeinwaage von 900mg, einer Zündverzögerungszeit von 120ms und einer Zündenergie mit hoher Zündwahrscheinlichkeit.
2. Die Energie verringern, bis der Staub in **10** Versuchen nicht mehr entzündet wird.
3. Bei der Energie (E2), bei der noch eine Zündung aufgetreten ist, die Versuche mit grösserer und kleinerer Staubkonzentration weiterführen.
4. Alle Staubkonzentrationen bei denen bei der Energie (E2) eine Zündung beobachtet wurde müssen durch 10 Nichtzündungen bei der Energie (E1) bestätigt werden.



Die ganze Prozedur muss anschliessend mit unterschiedlichen Zündverzögerungszeiten tv wiederholt werden, um die tatsächlich niedrigste Zündenergie bei der, für den geprüften Staub optimalen Zündverzögerungszeit, zu finden.




Der gesamte Prüfablauf wird üblicherweise **mit** Induktivität, der Funken wird dadurch zeitlich gedehnt, und bei Bedarf auch **ohne** Induktivität durchgeführt.

3.4.4 Allgemeine Versuchsdurchführung



Öffnen Sie das Fenster „Next Series“ durch Klicken auf dieses Symbol oder durch Drücken der „Eingabe“-Taste.

1. Die Parameter der neuen Serie am Bildschirm eingeben.
(Bereits geprüfte Konzentrationen werden mit grauer Farbe hinterlegt)
2. Das Verteilstück herausziehen und den Staub gleichmässig um den Pilz verteilen.
Variante: Den Staub von oben in das Rohr eingeben. Dabei ist aber zu beachten, dass möglichst wenig Staub auf den Elektroden liegen bleibt.
3. Türe schliessen und verriegeln.
4. Die Serie durch  oder durch die "Eingabe"-Taste starten.
5. Den Versuch beobachten.

Der Staub wurde entzündet:

6. Dies durch die Schaltfläche „Yes“ oder die „Y“-Taste bestätigen.
7. Die Türverriegelung am MIKE entsichern.
8. Grobe Vorreinigung der Apparatur mit Druckluft durch mehrmaliges und wechselweise Öffnen des Einlass- (I) und Auslass- (O) Ventils.
9. Türe ganz öffnen. Die Rückstände absaugen und dabei das Glasrohr, den Pilz und die Elektroden reinigen.

Der Staub wurde nicht entzündet:

6. Mit "No" oder der "Eingabe"-Taste den nächsten Versuch starten. Der zurückgebliebene Staub wird wieder aufgewirbelt und allenfalls entzündet.



Bei jeder Aufwirbelung entweicht ein Anteil vom Staub durch den Klappdeckel. Ein weiterer Staubanteil bleibt an der Rohrwandung und an den Elektroden haften. Die aufgewirbelte Staubmenge wird dadurch immer geringer. Erfahrungsgemäss sind bis zu 4 Versuche mit der gleichen Staubfüllung sinnvoll, denn die Staubkonzentration ist im MIKE nur eine relative Grösse. Wir empfehlen, unabhängig von der Staubkonzentration, die folgende Reihenfolge einzuhalten:

3	Versuche	(siehe 6.)
-	Reinigung	(siehe 7. - 9.)
-	neue Staubprobe	(siehe 2.)

3	Versuche	(siehe 6.)
-	Reinigung	(siehe 7. - 9.)
-	neue Staubprobe	(siehe 2.)

4	Versuche	(siehe 6.)
----------	----------	------------

Fehlermeldungen:

Ladung zu klein ? Kein Funken ?

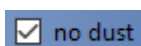
Die Elektroden und Isolatoren gut reinigen und allenfalls den Elektrodenabstand überprüfen. Haftet elektrostatisch geladener Staub am Glasrohr, so erschwert das dadurch aufgebaute elektrische Feld den Funksprung. Der Funken springt verzögert und seine Energie ist, bedingt durch Coronaverluste, oft auch zu gering. Das Glasrohr muss mit Wasser ausgespült werden (Verringerung des Oberflächenwiderstandes). Danach mit einer frischen Staubfüllung den nächsten Versuch starten.

Abweichung von $t_v > 10 \text{ ms}$

Bei Triggerung durch bewegte Elektroden (10mJ ... 1J) ist vermutlich die Mechanik verschmutzt und verklebt. Die Kolbenstangen reinigen und ev. etwas einölen. Mit der Taste "ME" den Kolben mehrmals betätigen.

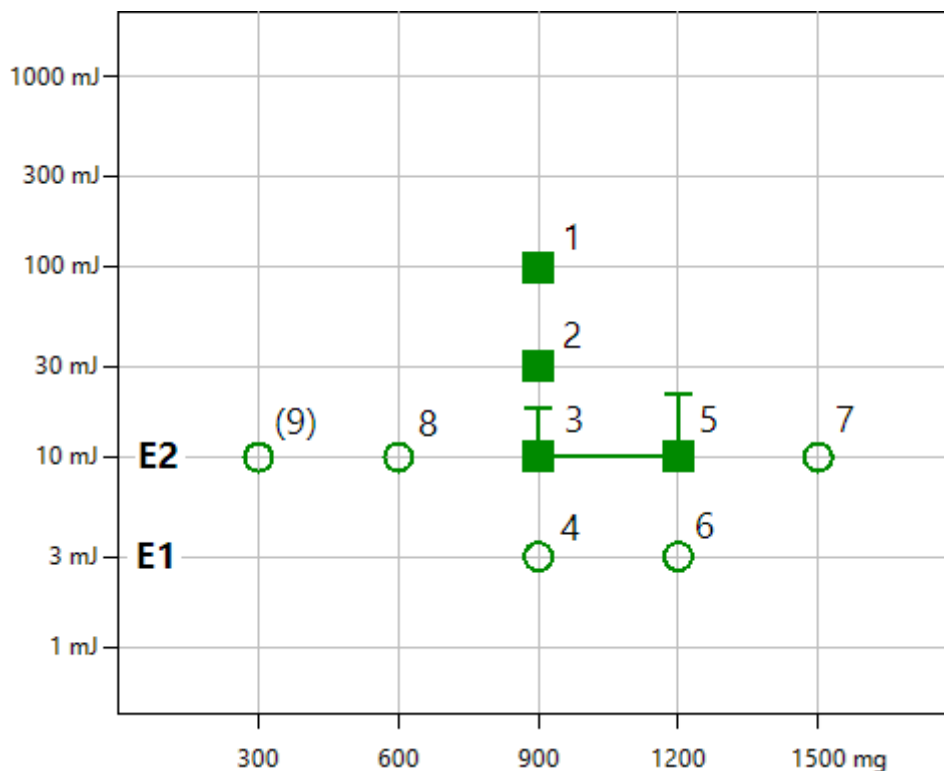
Bei Triggerung durch das Hochspannungs-Relais (1mJ, 3mJ) ist die Ursache für den verzögerten Funksprung im aufgebauten elektrischen Feld zu suchen. Das Glasrohr muss mit Wasser ausgespült werden.

Überprüfung des Funksprungs:




Sie können jederzeit das normale Prüfverfahren durch die Auswahl "no dust" unterbrechen. Der Staub wird dabei nicht aufgewirbelt - er braucht insofern nicht abgesaugt zu werden.

3.4.5 Graphik



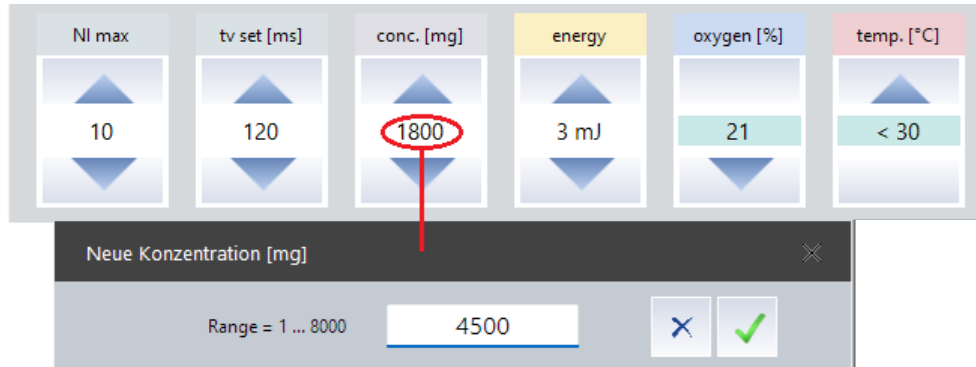
Angezeigt werden jeweils die Serien **mit Zündung** des Staubes (**gefüllte Quadrate**) und die Serien **ohne Zündung** des Staubes (**leere Kreise**). Die vertikalen Zeiger (T-förmig) geben einen Hinweis darauf wie viele Einzelversuche notwendig waren bis der Staub entzündet wurde (niedrige Zündwahrscheinlichkeit). Wurde der Staub beim ersten Versuch entzündet (hohe Zündwahrscheinlichkeit), so entfällt der vertikale Zeiger.

Beispiel zu Prüfverfahren

- 1 Beginnen Sie mit einer Staubeinwaage von 900mg, einer Zündverzögerungszeit von 120ms und einer Zündenergie mit hoher Zündwahrscheinlichkeit z.B. 100mJ.
 - 2,3,4 Die Energie verringern, bis der Staub in **10** Versuchen nicht mehr entzündet wird.
 - 5,7,8 Bei der Energie (E2), bei der noch eine Zündung aufgetreten ist, die Versuche mit grösserer und kleinerer Staubkonzentration weiterführen.
 - 4,6 Alle Staubkonzentrationen bei denen bei der Energie (E2) eine Zündung beobachtet wurde müssen durch 10 Nichtzündungen bei der Energie (E1) bestätigt werden.
 - <9> Für die Kalibrierung sind zur Berechnung der Zündwahrscheinlichkeit mindestens **5** verschiedene Staubkonzentrationen erforderlich.
-  Die ganze Prozedur muss anschliessend mit unterschiedlichen Zündverzögerungszeiten t_v wiederholt werden, um die tatsächlich niedrigste Zündenergie bei der, für den geprüften Staub optimalen Zündverzögerungszeit, zu finden.

3.4.6 Eingabe der Parameter

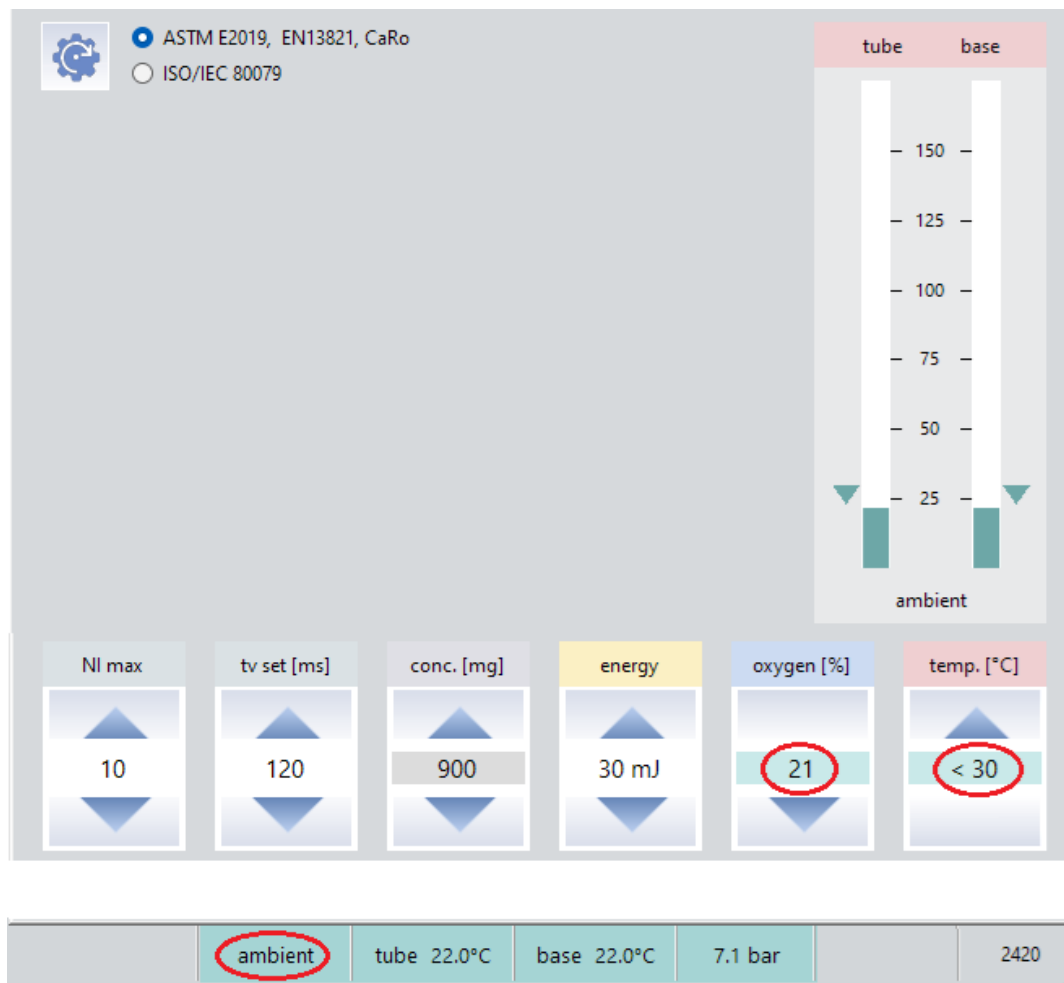
Bei allen Parametern ist eine Liste mit sinnvollen Werten hinterlegt. Diese Liste lässt sich einfach ergänzen. Ausgenommen sind die Werte für die Zündenergie, denn diese sind durch die Apparatur festgelegt.



Rückstellung der Listen auf die vorgegebenen Standard-Werte.

3.5 Prüfbedingung

3.5.1 Atmosphärisch



Sauerstoff = 21%

Temperatur < 30°C (maximale Umgebungstemperatur)



Der Grenzwert von 30°C kann an Ihre Umgebungsbedingungen angepasst werden.

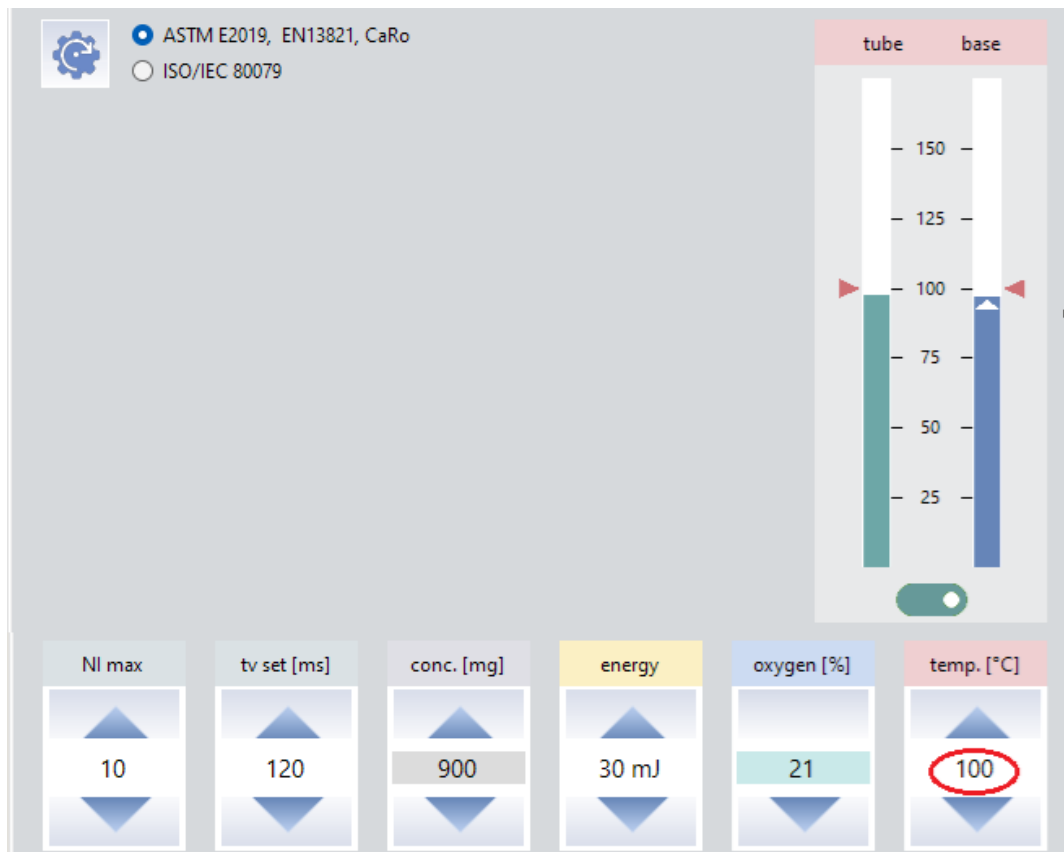
Siehe: [3.5.4 Anpassung der Einstellungen](#)



Sind der Fuss und/oder die Rohrheizung nicht angeschlossen, so wird automatisch auf Umgebungstemperatur (*ambient*) umgestellt.



3.5.2 Temperatur



Der Temperaturregler muss explizit eingeschaltet werden.

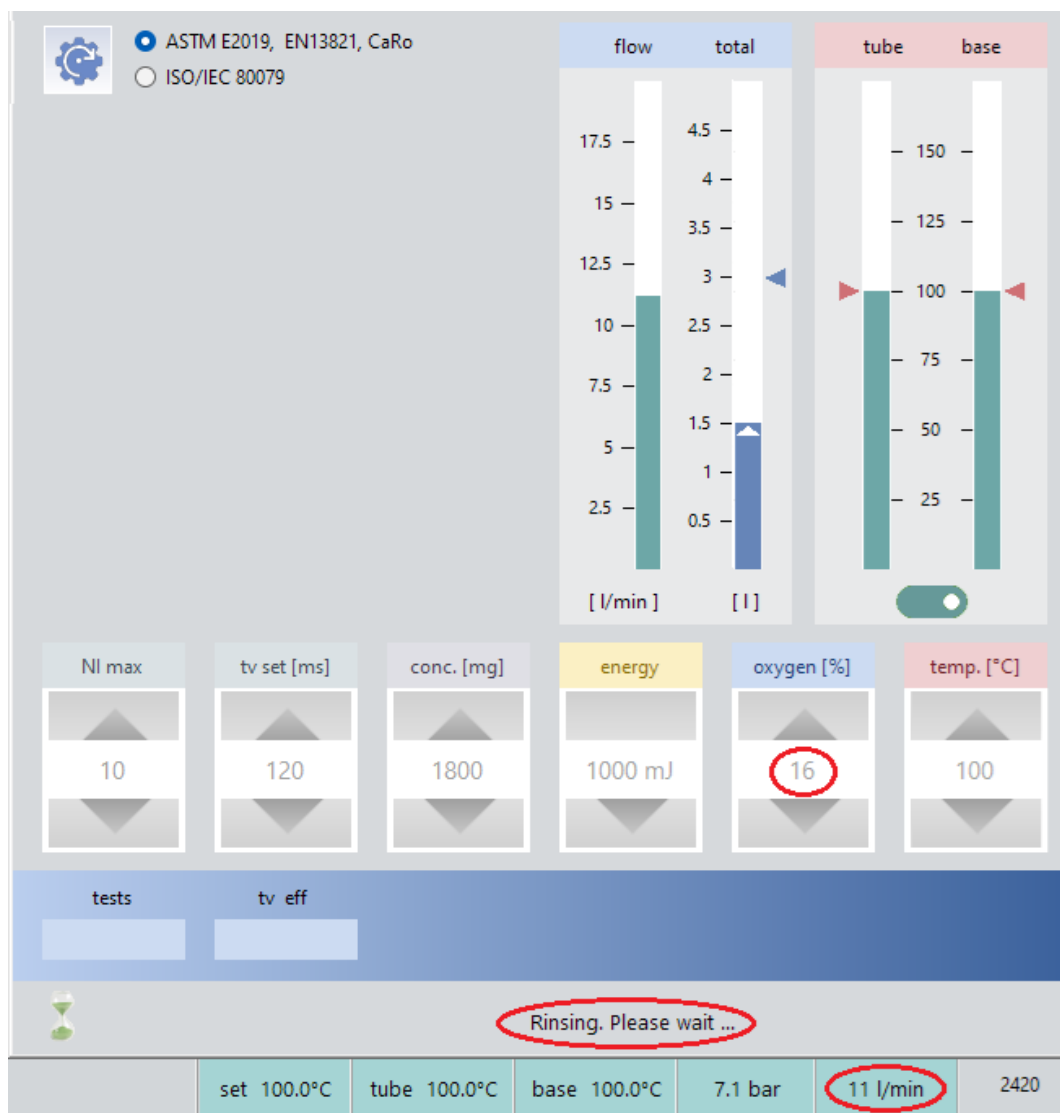


Temperatur ist noch zu hoch, jedoch fallend.

Temperatur ist OK.

Temperatur ist noch zu tief, jedoch steigend.

3.5.3 Sauerstoff



Vor Staubaufwirbelung und Zündfunken, wird das Glasrohr von unten mit dem Gasgemisch gefüllt. Die Umgebungsluft wird verdrängt und ausgespült. Erfahrungsgemäss ist nach einer Füllung von 3L (*total*) das gewünschte Gasgemisch im Glasrohr erreicht und der Versuch wird dann automatisch gestartet.

Der Gasfluss wird gemessen und in *total* aufsummiert. Dadurch ist die erforderliche Füllmenge unabhängig vom eingestellten Durchfluss sicher gestellt.

Wurde bei diesem Versuch der Staub nicht entzündet, so wird nach einer kurzen Nachfüllung mit dem Gasgemisch automatisch die nächste Prüfung gestartet.

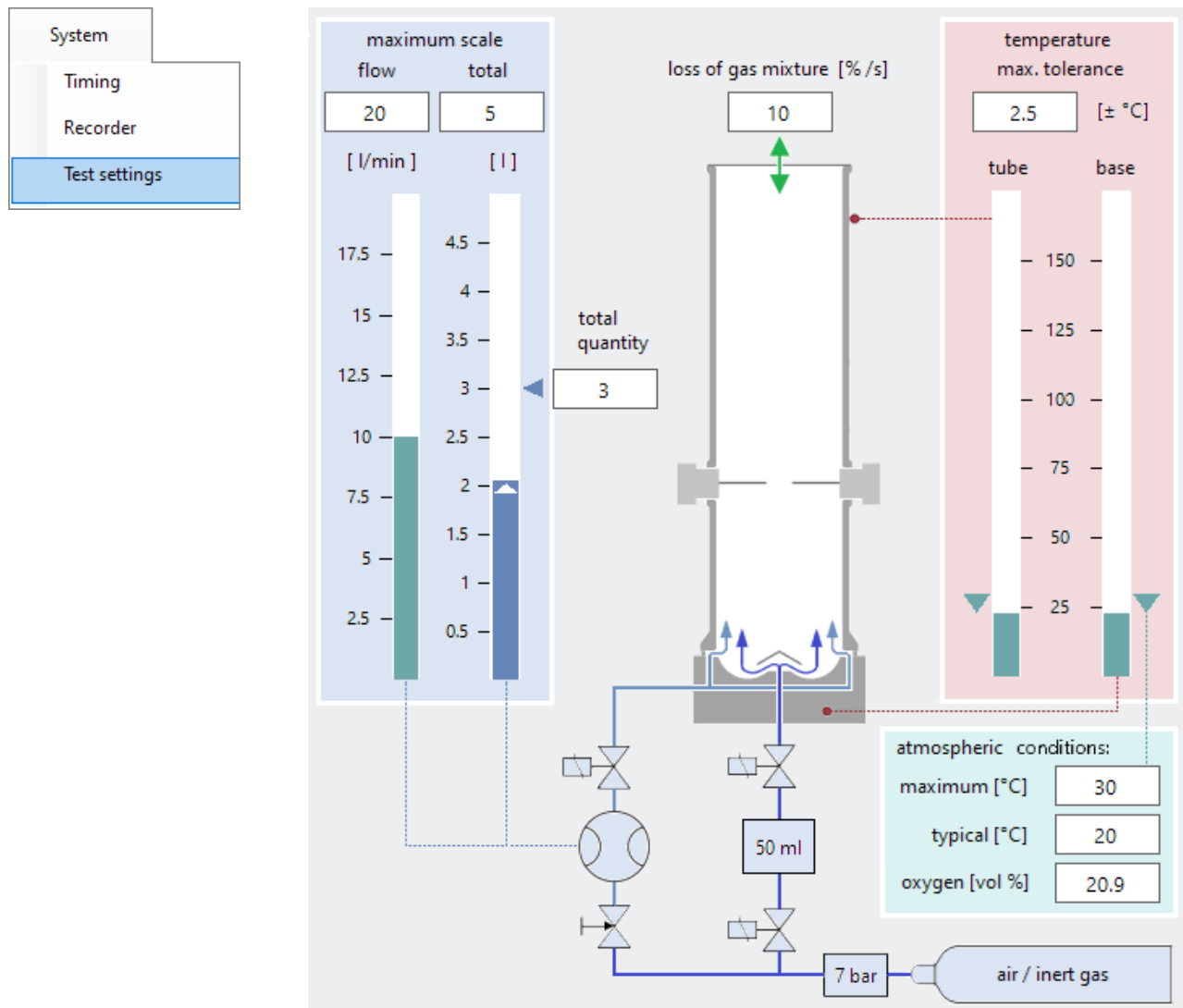
Siehe: 3.4.4 Allgemeine Versuchsdurchführung: Der Staub wurde nicht entzündet



Die Parameter Füllmenge (*quantity of gas mixture*) und Gasverlust (*loss of gas mixture*) können bei Bedarf geändert werden. Siehe: [3.5.4 Anpassung der Einstellungen](#)

3.5.4 Test - Einstellungen

Benötigt die Berechtigung: „System settings“ (Administrator oder Service)



Begasung

scale flow	Skala für den Gasfluss [Liter/min]
scale total	Skala für die Füllmenge [Liter]
total quantity	Füllmenge der Gasmischung [Liter]
loss of gas mix	Geschätzter Gasverlust [%/s]

Temperatur

max. tolerance	erlaubte Temperaturtoleranz [± °C]
----------------	------------------------------------

Atmosphärisch

maximum*	maximale Umgebungstemperatur [°C]
typical*	typische Umgebungstemperatur [°C]
oxygen	Sauerstoffgehalt der Umgebung [vol %]

- * Steht die MIKE-Apparatur nicht in einem klimatisierten Labor, so muss allenfalls der Eintrag für die Umgebungstemperatur angepasst werden.
„maximal“ muss immer grösser als „typisch“ sein.

3.6 Tabellen

3.6.1 Serien

Info		Atmospheric		Temperature		Oxygen		Series		Audit
	sn	T [°C]	O ₂ [%]	conc.	IE [mJ]	tv set	tv eff	induct.	I (NI)	comment
<input checked="" type="checkbox"/>	1	20	20.9	900	30	120	122	1	1	
<input checked="" type="checkbox"/>	2	20	20.9	900	10	120	122	1	(10)	

Bezeichnungen:

sn	=	fortlaufende Nummerierung der Testserien
T[°C]	=	Temperatur in °C
O ₂ [%]	=	Sauerstoffgehalt in vol%
conc.	=	Staubeinwaage in mg
IE [mJ]	=	Zündenergie
tv set	=	eingestellte Zündverzögerungszeit (Sollwert) in ms
tv eff	=	gemessene Zündverzögerungszeit (Istwert) in ms
induct	=	Induktivität (0 mH bzw. 1 mH)
I	=	Entzündung bei dem angegebenen Versuch
(NI)	=	keine Entzündung des Staubes nach: (Anzahl der Nichtzündungen)

Bearbeitung der Tabelle:



Dieser Versuch ist gültig und wird ausgewertet (Wechsel durch Klick auf dieses Feld)
Falsche Eingaben bei der Staubeinwaage lassen sich auch später noch korrigieren.

3.6.2 Audit

Info		Atmospheric		Temperature		Oxygen		Series		Audit	
no	date	time	cause	event	value		username	signature	authorization		
1	19.12.2023	14:25	CC	New file created			CC	Ch. Cesana	Administrator		
2	19.12.2023	14:25	MIKE	MIKE Series no.	22001 . 1		SE	Serge Egger	Service		
3	19.12.2023	14:25	MIKE	Flash ID, Revision	MMCA, 2328		SU	Susan Unger	Supervisor		
4	19.12.2023	14:25	MIKE	Flash ID, Revision	MTCA, 2305		OP	Olga Prost	Operator		
5	09.06.2024	06:46	OP	Series added	1						
6	09.06.2024	06:47	OP	Series added	2						

Alle Aktivitäten werden automatisch aufgezeichnet. Ein Beispiel:

- 1 Von CC wird eine neue Datei erstellt und damit ein neues Audit begonnen.
- 2..4 Die Daten der MIKE-Apparatur (Seriennummer und Firmware) werden übernommen.
- 5 ... Jede von OP hinzugefügte Serie wird protokolliert.



Die Audit-Daten sind kodiert in der MIKE-Datei gespeichert!

3.7 Kalibrierung

Gemäss internationalen Normen muss die Apparatur für die Bestimmung der Mindestzündenergie in regelmäßigen Abständen (wenigstens alle 12 Monate oder nach jeder größeren Wartung oder Reparatur) kalibriert werden. Dazu wird von der Cesana AG jährlich ein internationaler Ringversuch (CaRo) durchgeführt.

- EN 13821: Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen
- ASTM E2019-03: Standard Test Method for Minimum Ignition Energy of a Dust Cloud in Air

Kalibrierverfahren: Für jede Kenngrösse des CaRo-Staubes wird der Mittelwert aus den Prüfergebnissen der teilnehmenden Labors als Normwert mit Streubereich berechnet. Alle Apparaturen, deren Resultate innerhalb des gegebenen Toleranzbandes liegen, erfüllen die Kalibrierung und erhalten von uns ein Zertifikat. Bei Anlagen mit stark abweichenden Resultaten wird es uns auf Grund der Erfahrungen mit den bisherigen Ringversuchen wiederum gelingen, Fehlerursachen zu finden und zu beheben.

Vorgehen: Der Prüfstaub wird von der Cesana AG ausgewählt, homogenisiert, abgepackt und versendet. Die eingegangenen Testresultate werden laufend ausgewertet und im Internet publiziert. Nach Ablauf der Prüffrist erfolgt eine detaillierte Gesamtauswertung mit der Berechnung der Normwerte und des dazugehörigen Toleranzbandes. Diejenigen Laboratorien, welche die Kalibrierung erfüllt haben, erhalten darüber ein Zertifikat. Anschliessend werden alle Resultate (anonym) tabellarisch zusammengefasst und den Teilnehmern zugesandt.

Staubvorbereitung für die Kalibrierung:

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.



Für die Kalibrierung sind nur Versuche **mit Induktivität** ($L = 1\text{mH}$) ausführen.

4. Dienstprogramme

4.1 Sprachen

Die neue Software kann an Ihre Landessprache angepasst werden.

Dazu benötigen Sie nur ein Übersetzungsprogramm wie z.B. DeepL.

Senden Sie andernfalls eine EMail an info@cesana-ag.ch. Wir erledigen das gerne für Sie.

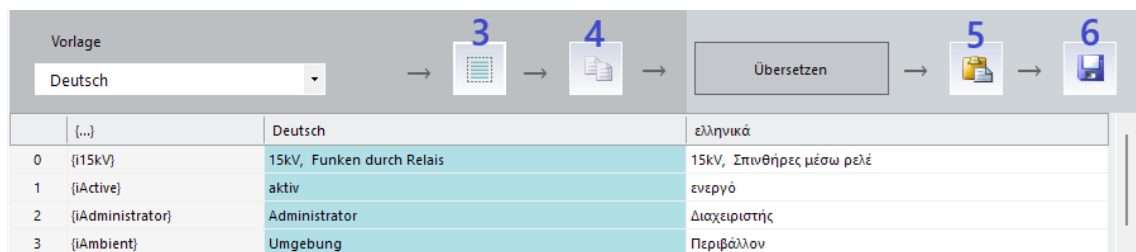
1. In „Einstellungen“:



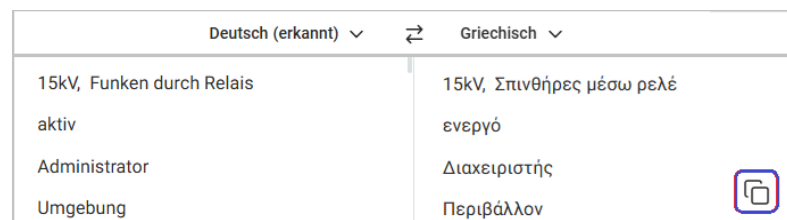
2. Wählen Sie dann die gewünschte Sprache.

Anzeigename	NativeName	EnglishName
Griechisch (Griechenland)	ελληνικά (Ελλάδα)	Greek (Greece)

3. Den Vorlagentext markieren.



4. In die Zwischenablage kopieren und in das externe Übersetzungsprogramm einfügen.



5. Die Übersetzung kopieren und wieder in das Programm einfügen.
6. Das Ergebnis sichern. Die neue Sprache steht jetzt zur Verfügung.
7. Die Übersetzung kann jederzeit einfach korrigiert werden.



4.2 Prüfbericht

Drucken: ☒ Titelseite ☒ Temperatur ☒ Sauerstoff ☒ Konz. ☒ Ergebnis ☒ Serie ☒ Audit

Seiten: 1 1 1 7 1 13 9

Logo_MIKE.png 20

Sprachen: Deutsch

Formatierung: Deutsch (Deutschland)

Das **Logo** für den Prüfbericht auswählen.
Sie können hier Ihr Firmenlogo definieren.
Voraussetzungen: Bitmap „.png“ Datei
Die Originalbreite der Bitmap wird beim Ausdruck automatisch auf die hier definierte Breite reduziert.

Sprache für den Prüfbericht auswählen.
Unabhängig von der Sprache des Anwenders kann der Prüfbericht in der Sprache des Kunden ausgedruckt werden. Dazu die korrekte Formatierung auswählen. Das Datum und das Zahlenformat sind oft unterschiedlich z.B. das Dezimaltrennzeichen kann ein Punkt oder ein Komma sein.



REMBE® Research+Technology Center GmbH

Prüflabor Brilon

Mindestzündenergie

Produkt: **Niacin CaRo18**
Auftrag: 18-255-04
Kunde: Cesana AG
Prüfgrund: Calibration-Round-Robin
Medianwert: 21µm
Vorbereitung: tel quel
Dateinamen: Demo_Atmospheric.MIE

Prüfapparatur: MIKE3 22001.1
erstellt am: 18.08.2020

Atmosphärisch **1 mJ < MZE < 3 mJ / Es = 1.2 mJ** mit Induktivität L=1mH

MZE / Konzentration

MZE / Zündverzögerungszeit tv

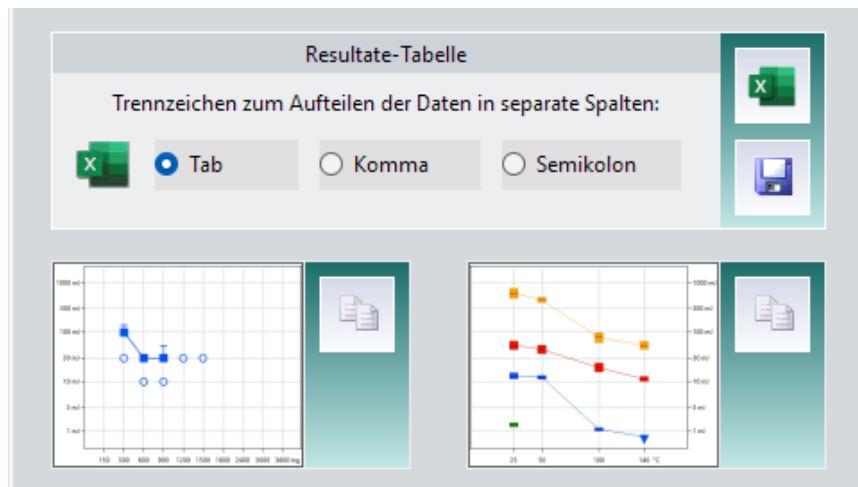
your comment ...

E1 [mJ]	< MZE < Es [mJ]	E2 [mJ]	tv [ms]	Indukt.
1	1.2	3	150	ja

4.3 Export

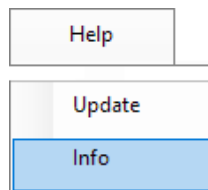


Daten und Graphiken können sehr einfach in andere Programme exportiert werden. Wählen Sie zuerst die zu exportierende Seite (*Info, ... , Audit*).



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. Alternativ können die Daten in einer Text-Datei gespeichert werden.

4.4 Info



Dieses Dienstprogramm zeigt eine Übersicht der wichtigsten Daten betreffend Ihren Eingaben, das Ausgabedatum der Dateien und Informationen zu Ihrem PC und dessen Betriebssystem.

Bei Software-Problemen bitte diese Informationen in die Zwischenablage kopieren, in eine E-Mail einfügen und mit einer Beschreibung des Problems senden an:

info@cesana-ag.ch

4.5 Update

Das Menu „Update“ steht nur Benutzern mit Administrator- oder Service-Rechten zur Verfügung. Die Aktualisierung erfolgt automatisch. Bisherige Software-Einstellungen bleiben erhalten.

A Ihr PC ist mit dem Internet verbunden. Das Update kann direkt ausgeführt werden:



B **B1:** Ihr PC ist **nicht** mit dem Internet verbunden:

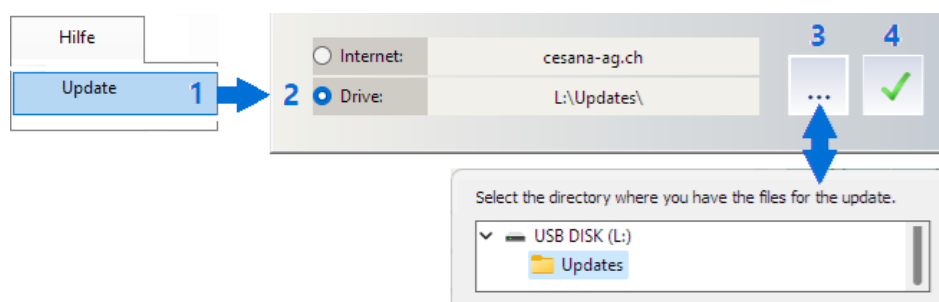
B2: Sie sind Teilnehmer am jährlichen Kalibrier-Ringversuch CaRo und erhielten einen USB-Stick mit den aktuellen Software-Updates.

B3: Ein Update-Paket anfordern bei: info@cesana-ag.ch

Wir senden Ihnen dann einen Link für das Laden der Datei „CAG_Updates.zip“

Diese Datei dann extrahieren in ein temporäres Verzeichnis oder auf einen USB-Stick.

1. Das Update-Programm starten.
2. Als Update-Quelle „Laufwerk (Drive)“ auswählen
3. Das Verzeichnis „Updates“ suchen.
4. Das Update starten.



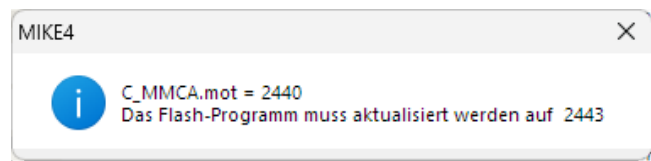
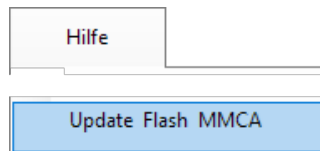
Teilnehmer am jährlichen CaRo-Kalibrierungsringversuch erhalten einen USB-Stick mit den neuesten Software-Updates. Geben Sie das Verzeichnis mit dem USB-Stick an:

z. B. **L:\Updates** im Feld **Laufwerk (Drive)** und starten Sie dann das Update.

4.6 Flash-Programmierung

Wird zum Beispiel diese Mitteilung angezeigt, dann wie folgt vorgehen:

Update Flash wird nur Administratoren angezeigt.



1. Die Flash-Datei **C_MMCA.mot** suchen.

Status	PCB-Platine	Dateinamen	Revision
Aktuell	MMC81A	C_MMCA	2440
1			

2. Die neueste Flash-Datei öffnen

E:\PROGNET_C\MIKE4_INT\bin\			...
Dateinamen	Datum	Grösse	2
C_MMCA.mot	08.11.2024	92 KB	
C_MTCA.mot	08.11.2024	92 KB	

3. Revisionsdaten vergleichen und wenn neuer diese Datei programmieren.

Status	PCB-Platine	Dateinamen	Revision
Aktuell	MMC81A	C_MMCA	2440
neu	MMC81A	C_MMCA	2443
Dateinamen	Zeilen geladen	Zeilen geschrieben	Zeit
C_MMCA.mot	1930	0	00:00
3			

Status	PCB-Platine	Dateinamen	Revision
Aktuell	MMC81A	C_MMCA	2440
neu	MMC81A	C_MMCA	2443
Dateinamen	Zeilen geladen	Zeilen geschrieben	Zeit
C_MMCA.mot	1930	336	00:16



PCB-Platine und **Dateinamen** müssen vom gleichen Typ sein.

Revision: Jahr / Kalenderwoche

5. Überprüfung des MIKE

5.1 Fehlermeldungen



1. Ladung zu klein? Kein Funken?

Die Elektroden und Isolatoren gut reinigen und allenfalls den Elektrodenabstand überprüfen. Haftet elektrostatisch geladener Staub am Glasrohr, so erschwert das dadurch aufgebaute elektrische Feld den Funksprung. Der Funken springt verzögert und seine Energie ist, bedingt durch Coronaverluste, oft auch zu gering. Das Glasrohr muss mit Wasser ausgespült werden (Verringerung des Oberflächenwiderstandes). Danach mit einer frischen Staubfüllung den Versuch wiederholen.



2. Ladung zu gross?

Die interne Funkenüberwachung meldet, dass die durch den Funken übertragene Ladung und somit die Energie zu hoch war. Tritt dieser Fehler bei nur einem Energiewert und wiederholt auf, so besteht der Verdacht auf einen defekten Hochspannungskondensator!



3. Abweichung von $t_v > 10\text{ ms}$

Bei Triggerung durch bewegte Elektroden (10mJ ... 1J) ist vermutlich die Mechanik verschmutzt und verklebt. Die Kolbenstangen reinigen und ev. etwas einölen. Mit der Taste "ME" den Kolben mehrmals betätigen.

Bei Triggerung durch das Hochspannungs-Relais (1mJ, 3mJ) ist die Ursache für den verzögerten Funksprung im aufgebauten elektrischen Feld zu suchen. Das Glasrohr muss mit Wasser ausgespült werden (Verringerung des Oberflächenwiderstandes). Danach mit einer frischen Staubfüllung den Versuch wiederholen.



4. Zylinder prüfen

Jeder Zylinder besitzt einen Positionssensor und die Stellung des Zylinders wird überwacht. Zur weiteren Diagnose mit dem Programm [5.4 Ein- und Ausgänge \(Check: IO - Port\)](#) den fraglichen Zylinder aktivieren und deaktivieren. Ändert sich dabei die Positionsanzeige?

- a) Der Positionssensor ist dejustiert oder defekt.
- b) Der Zylinder erreicht nicht die geforderte Position.

Für die weitere Diagnose empfiehlt sich eine visuelle Inspektion. Siehe: [Service - Manual](#)



5. Druck zu niedrig

Überprüfen Sie den Druckluftanschluss (7 bar ?)

5.2 Zündfunken

Prüfe

Funken

☐ Einzelprüfungen
☐ Energie festgelegt
☐ Induktivität festgelegt

☐ Staubverteilung
☒ Überprüfung der Zylinder

Energie

Verzögerung tv

Induktivität

☐ Resultate in Datei schreiben:

korrekt

3

kein Funken

0

andere Fehler

0

eff. Zündverzögerung

124

OK

Wie auch bei der eigentlichen Versuchsdurchführung wird unterschieden zwischen der vorgegebenen Zündverzögerungszeit (delay tv = **tv set**) und der beim Funken-sprung gemessenen Zeit (eff. ignition delay = **tv eff**).



Starten und mindestens 20 Prüfungen abwarten.
Danach den Prüfablauf stoppen.



Die Aufzeichnung in die Zwischenablage kopieren und in ein Textverarbeitungs- oder E-Mail-Programm einfügen.

write result to file:

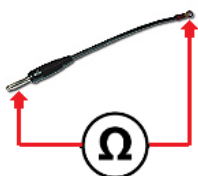
Falls aktiviert, ist die Datei „Ignition.txt“ im MIKE-Verzeichnis

Aufzeichnung
(Beispiel)

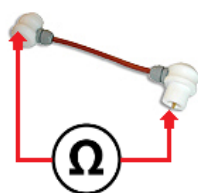
MIKE: Zündungstest 04.02.2025						
No.	IE[mJ]	Ind	tvSet	tvEff	MEcorr	
1	1	0	120	122	0	OK
2	3	0	120	121	0	OK
3	10	0	120	107	0	Abweichung von tv > 10ms
4	30	0	120	125	4	OK
5	100	0	120	123	7	OK
6	300	0	120	122	8	OK
7	1000	0	120	121	7	OK
8	1	1	120	121	7	OK
9	3	1	120	121	7	OK
10	10	1	120	120	7	OK
11	30	1	120	123	9	OK
12	100	1	120	122	8	OK
13	300	1	120	121	7	OK
14	1000	1	120	122	8	OK
15	1	0	120	120	8	OK
16	3	0	120	121	8	OK
17	10	0	120	120	8	OK
18	30	0	120	123	9	OK
19	100	0	120	122	8	OK
20	300	0	120	121	7	OK

Weitere Prüfungen

bei Meldung „**Ladung zu niedrig? Kein Funken?**“



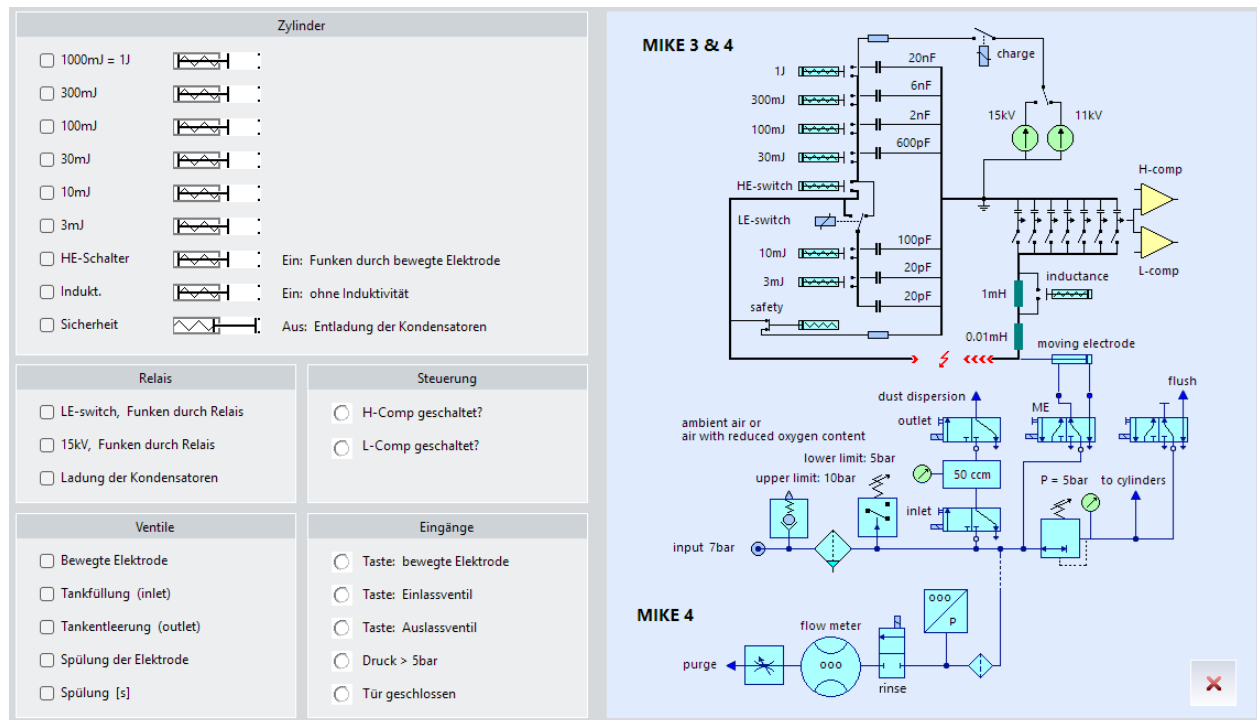
Die vielen Bewegungen der Elektrode auf der linken Seite kann zu einem Leiterbruch im Anschlusskabel führen. Dies lässt sich mit einem Ohmmeter einfach überprüfen. Es muss elektrischer Durchgang angezeigt werden. Andernfalls muss das Kabel SP700513 ersetzt werden.



Auch das Kabel auf der Hochspannungsseite kann durch häufiges Bewegen unterbrochen sein. Dies lässt sich mit einem Ohmmeter einfach überprüfen. Es muss elektrischer Durchgang angezeigt werden. Andernfalls muss das Kabel SP700400 ersetzt werden.

5.3 Ein- und Ausgänge

Mit diesem Testprogramm haben Sie einen direkten Zugriff auf alle Zylinder, Ventile und Relais des MIKE.



Gruppe "Zylinder"

Safety:	Inverser Zylinder: im Ruhezustand ist der HS-Ausgang geerdet
Induct.:	Hochspannungsschalter zur Überbrückung der 1 mH - Induktivität.
HE-Sw.:	Hochspannungsschalter: 30 mJ...1 J Sammelschiene / HS-Ausgang.
3 mJ...1 J:	Hochspannungsschalter der jeweiligen Energiestufe
(Der Kondensator für den 1 mJ Funken ist immer zugeschaltet)	

Gruppe "Relais"

LE-Switch:	Hochspannungs-Relais
Charge:	Laderelais
15 kV:	Schalter: 11 / 15 kV

Gruppe "Steuerung"

H-Comp.:	Oberer Grenzwert
L-Comp.:	Unterer Grenzwert

Gruppe "Ventile"

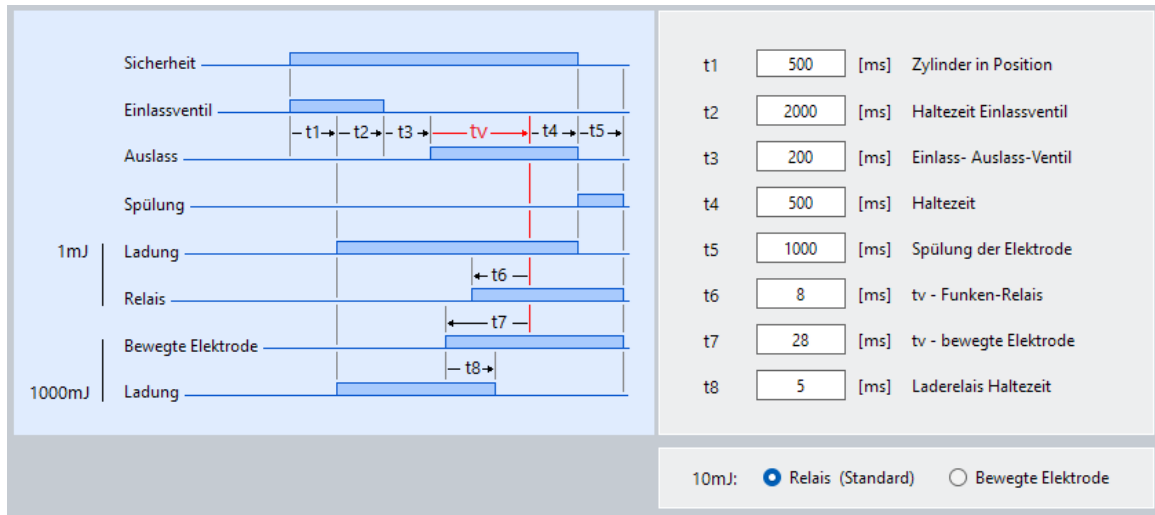
ME:	Bewegte Elektrode
Inlet:	Einlass Ventil
Outlet:	Auslass Ventil
Flush:	Spülung

Gruppe "Eingänge"

ME:	Bewegte Elektrode
Inlet:	Einlass Ventil
Outlet:	Auslass Ventil
Pressure:	Drucküberwachung
Door Lock:	Türverriegelung

5.4 Zeitablauf

Die Zeiten im Prüfablauf des MIKE sind in weiten Grenzen frei definierbar. Im Normalfall besteht keine Notwendigkeit diese Zeiten zu ändern, denn optimale Einstellungen sind bereits schon vorgegeben. Setzen Sie allenfalls mit der Taste "default" alle Zeiten auf die optimalen Standard Werte.



t 1 Alle Pneumatikzylinder müssen danach ihre korrekte Position eingenommen haben.

t 2 Öffnungszeit für das Einlassventil (Inlet): Gleichzeitig Ladezeit der Kondensatoren. Zeit muss reichend, um den Druckbehälter zu füllen und den grössten Kondensator zu laden.

t 3 Verzögerungszeit Einlass- Auslassventil (Inlet - Outlet): Das Einlassventil muss ganz geschlossen sein bevor das Auslassventil öffnet.

t 4 Auslassventil Haltezeit

t 5 Spülung: Die Halterung der bewegten Elektrode wird mit Druckluft gereinigt.

t 6 Triggerung durch Hochspannungs-Relais: Diese Zeitvorgabe kompensiert die Schaltzeit des Relais so, dass der Funke zum gewünschten Zeitpunkt tv springt.

t 7 Triggerung durch bewegte Elektrode: Diese Zeitvorgabe kompensiert die mechanische Bewegungszeit der Elektrode so, dass der Funke zum gewünschten Zeitpunkt tv springt.

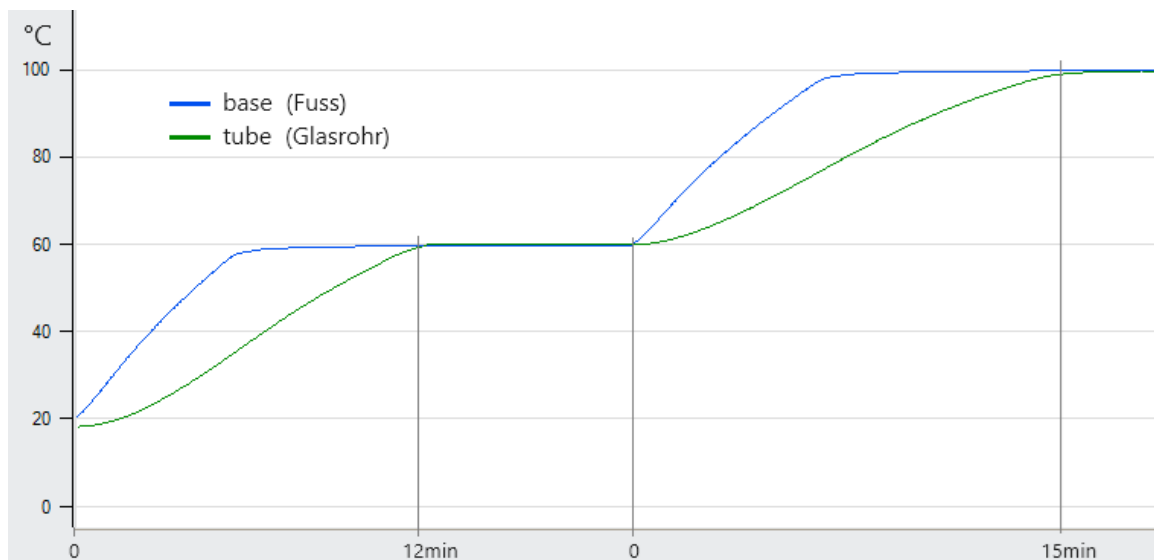
t 8 Laderelais Haltezeit: Diese Zeitvorgabe kompensiert die mechanische Verzögerung der bewegten Elektrode so, dass Ladungsverluste durch den Coronastrom verringert werden.

10mJ Prinzipiell kann die Art der Triggerung bei **ZE=10mJ** geändert werden. Wir empfehlen jedoch den vorgegebenen Wert (Relais) zu belassen.

5.5 Temperatur-Aufzeichnung

Zur Kontrolle können die Temperaturen aufgezeichnet werden. Dies geschieht im Hintergrund und hat keinen Einfluss auf den Betrieb der MIKE-Apparatur.

Beispiel einer Aufzeichnung:



Neue Aufzeichnung:



Bei Eröffnung einer neuen Datei wird die Abtastzeit (sampling time), d.h. das Zeit Intervall zwischen zwei Messwerten, festgelegt. In Abhängigkeit von der Abtastzeit ergibt sich die maximale Dateilänge (maximum length).



Nach der Eröffnung einer neuen Datei ist die Datenerfassung noch ausgeschaltet. Die Datenerfassung muss explizit durch diesen Befehl eingeschaltet werden.

Endlosaufzeichnung (*Endless recording*): Die Länge der Aufzeichnung entspricht der Länge der Übersicht (*width of overview*). Danach werden neue Daten am Ende hinzugefügt und die ältesten Daten gelöscht - vergleichbar mit einem Endlosband.



Übersicht (Overview)

Zeichnen Sie einen Rahmen um den interessierenden Bereich um diesen zu vergrößern.



Ausschnitt (Part view)

Jeder Messpunkt wird mit Datum und Uhrzeit registriert. Ein Unterbruch der Aufzeichnung (z.B. Stopp der Aufzeichnung) wird durch eine vertikale graue Linie angezeigt.

1
Breite der Übersicht

☒ 12 Stunden, 1 Sek
☐ 1 Tag, 2 Sek
☐ 5 Tage, 10 Sek
☐ 10 Tage, 20 Sek
☐ 14 Tage, 30 Sek

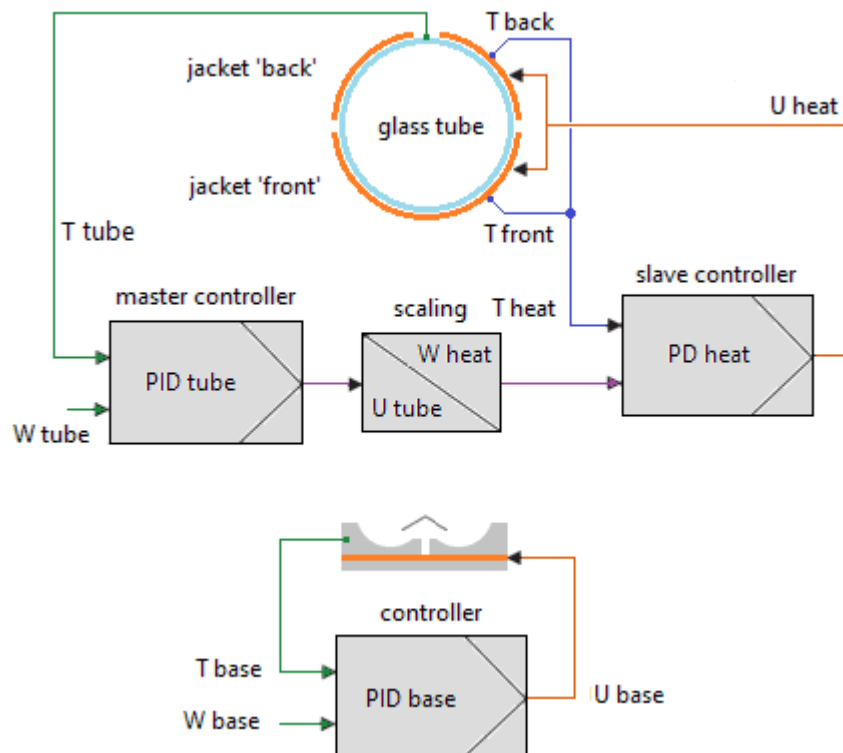
2
☒ Endlose Aufzeichnung

3
Neue Aufzeichnung
☒

Temperatur-Regelung

Die Temperatur vom metallischen Fuss zur Staubverteilung ist einfach regelbar. Hingegen eine homogene Temperatur-verteilung im Glasrohr zu erreichen, ist sehr aufwändig. Mit einem einfachen Heizmantel um das Glasrohr wird dies nicht erreicht. Der MIKE4 verwendet deshalb Aluminium Heizschalen mit definiertem Luftspalt zum Glasrohr. Die Oberflächentemperatur vom Glas wird gemessen und in Kaskade zu den Heizschalentemperaturen geregelt. Für einen schnellen Wechsel vom Glasrohr kann die vordere Heizschale zur Seite gedreht werden.

Prinzipschema der Temperatur-Regelkreise:



6. Literatur

ASTM E2019	Standard Test Method for Minimum Ignition Energy of a Dust Cloud in Air
Bartknecht, W.	Dust-Explosions, Course, Prevention, Protection. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, 1989
Bartknecht, W.	Explosionsschutz; Grundlagen und Anwendung Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, New York 1993
Cesana C. Maman L. Schwaninger M.	Extension of the Applicability of MIKE 3 to Determine the Minimum Ignition Energy of Powders under "Non-Atmospheric" Conditions. Chemical engineering transactions vol. 75, 2019
Cesana C. Eiche M. Schwaninger M.	Quality Management in the Determination of Safety Characteristics Chemical engineering transactions vol. 75, 2019
Chaudhari P. Ravi B. Bagaria P. Mashuga C.	Improved partial inerting MIE test method for combustible dusts and its CFD validation. Process Safety and Environmental Protection 122 (2019) 192–199
Eckhoff, R.K.	Dust Explosions in the Process Industries, Butterworth-Heinemann Ltd., Oxford, 1991
EN 13821	Explosionsfähige Atmosphären - Explosionsschutz - Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen, November 2002
Glarner, Th.	Temperatureinfluss auf das Explosions- und Zündverhalten brennbarer Stäube, Diss. ETH Zürich Nr. 7350, 1983
Glor M. Schwenzfeuer K.	Einfluss der Sauerstoffkonzentration auf die Mindestzündenergie von Stäuben VDI Berichte, Nr. 1272, pp. 119-134, 1996
Jaeger, N. Siwek, R:	Prevent Explosions of Combustible Dusts, Chemical Engineering Progress, Vol. 95/No. 6, June 1999
Lüttgens G, Glor, M.	Understanding and Controlling Static Electricity. Expert Verlag, Ehningen bei Böblingen, 1989
Pellmont,G	Explosions- und Zündverhalten von hybriden Gemischen aus brennbaren Stäuben und Brenngasen, Diss. ETH Zürich Nr. 6498, 1979
Siwek, R. Cesana, C.	Ignition behaviour of Dusts, 28th Loss Prevention, Atlanta, 1994
Van Laar, G.F.M.	"Influence of moisture content on the minimum ignition energy (MIE) of dust/air mixtures". Report on the working group Minimum Ignition Energy, Prins Mautits Laboratorium TNO, November 1983