

# KISTLER

measure. analyze. innovate.



## Betriebs- anleitung

**Quarzkristall-  
Hochdrucksensor  
Typ 6213B**



## Vorwort

Die Angaben in diesem Handbuch können jederzeit ohne Vorankündigung geändert werden. Kistler behält sich das Recht vor, das Produkt im Sinne des technischen Fortschritts zu verbessern und zu ändern, ohne Verpflichtung, Personen und Organisationen aufgrund solcher Änderungen zu benachrichtigen.

©1993 ... 2021 Kistler Gruppe.

Die Produkte der Kistler Gruppe sind durch verschiedene gewerbliche Schutzrechte geschützt. Mehr dazu unter **[www.kistler.com](http://www.kistler.com)**. Die Kistler Gruppe umfasst die Kistler Holding AG und deren Tochtergesellschaften in Europa, Asien, Amerika und Australien.

Kistler Gruppe  
Eulachstrasse 22  
8408 Winterthur  
Schweiz

Tel. +41 52 224 11 11  
[info@kistler.com](mailto:info@kistler.com)  
[www.kistler.com](http://www.kistler.com)

# Inhaltsverzeichnis

<b>1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Beschreibung .....</b>	<b>4</b>
2.1	Einführung .....	4
2.2	Technische Daten (Tabelle 1).....	6
2.3	Erläuterungen zu den technischen Daten.....	7
2.3.1	Messbereich .....	7
2.3.2	Kalibrierter Bereich.....	7
2.3.3	Überlast.....	7
2.3.4	Temperaturkoeffizient der Empfindlichkeit .....	7
2.3.5	Anstiegszeit .....	7
2.3.6	Betriebstemperaturbereich.....	7
2.3.7	Anzugsdrehmoment .....	7
2.4	Funktionsprinzip.....	8
2.5	Anwendungsbeispiel .....	9
<b>3.</b>	<b>Einbau.....</b>	<b>10</b>
3.1	Allgemeines .....	10
3.2	Empfohlene Einbauart .....	10
3.3	Korrekte Verwendung der Dichtung.....	11
3.4	Anzugsdrehmoment .....	13
3.5	Einfluss einer langen Messbohrung.....	13
3.6	Bearbeitung der Messbohrung .....	15
3.7	Vermeidung von Einbaufehlern .....	17
3.8	Reibwerkzeug Typ 1300A23.....	17
3.9	Schiessen mit Thermoschutz.....	19
3.9.1	Thermoschutzschild Typ 6563A.....	20
3.9.2	Fettvorlage.....	21
<b>4.</b>	<b>Unterschiedliche Messanordnungen .....</b>	<b>22</b>
4.1	Hülsenlagermessung .....	22
4.2	Hülsenbodenadapter.....	24
4.3	Hülsenmundmessung .....	25
4.4	Druckmessung an beliebiger Stelle des Messlaufes (Port-Pressure) .....	27
4.5	Druckbombenmessung.....	29
<b>5.</b>	<b>Betrieb .....</b>	<b>32</b>
5.1	Grundschialtung einer Messanlage .....	32
5.2	Bereichswahl und Ansprechschwelle .....	33
5.3	Messung von hochfrequenten Vorgängen.....	33
5.4	Messung von quasistatischen Vorgängen .....	34
5.5	Hinweise und Vorsichtsmassnahmen .....	34
<b>6.</b>	<b>Kalibrierung und Unterhalt .....</b>	<b>35</b>
6.1	Kalibrierung .....	35
6.2	Empfehlenswerte Massnahmen .....	36
6.3	Unterhalt .....	36
6.4	Hilfsmittel für Kalibrierung und Unterhalt .....	37

Total Seiten 36

## 1. Einleitung

Wir danken Ihnen, dass Sie sich für ein Kistler Qualitätsprodukt entschieden haben. Bitte lesen Sie diese Betriebsanleitung sorgfältig durch, damit Sie die vielseitigen Eigenschaften Ihres Produkts optimal nutzen können.

Kistler lehnt soweit gesetzlich zulässig jede Haftung ab, sofern dieser Betriebsanleitung zuwider gehandelt wird oder andere Produkte, als unter Zubehör aufgeführt, verwendet werden.

Kistler bietet eine breite Palette von messtechnischen Produkten und Gesamtlösungen:

- Piezoelektrische Sensoren für die Messung von Druck, Kraft, Moment, Dehnung, Beschleunigung, Schock und Vibration
- DMS Sensorsysteme für die Messung von Kraft und Moment
- Piezoresistive Drucksensoren und Transmitter mit den zugehörigen Messverstärkern
- Zugehörige Messverstärker (Ladungsverstärker, piezoresistive Verstärker etc.), Anzeigegeräte und Ladungskalibratoren
- Elektronische Steuer-, Überwachungs- und Auswertegeräte sowie anwendungsspezifische Software für die Messtechnik
- Datenübertragungsmodule (Telemetrie)

Kistler konzipiert auch ganze Messanlagen für spezielle Einsatzzwecke, zum Beispiel in der Automobilindustrie, in der Kunststoffverarbeitung und in der Biomechanik.

Unser Gesamtkatalog vermittelt eine Übersicht unseres Angebotes. Zu praktisch allen Produkten sind detaillierte Datenblätter verfügbar.

Für alle speziellen Fragen, die nach dem Studium dieser Anleitung noch offen sind, steht Ihnen der weltweite Kistler-Kundendienst zur Verfügung, der Sie auch bei anwendungsspezifischen Problemen kompetent beraten wird

## 2. Beschreibung

### 2.1 Einführung

Der Hochdrucksensor Typ 6213B (Bild 1) wurde speziell für innenballistische Messungen bis 10 kbar entwickelt.

Die Anti-Strain-Konstruktion macht den Sensor weitgehend unempfindlich gegen unterschiedliche Anzugsdrehmomente und Spannungen am Einbauort.

Dank der ausgezeichneten Linearität über den ganzen Messbereich eignet sich der Sensor auch sehr gut für das Messen von tiefen Drücken.

Der Hochdrucksensor Typ 6213B weicht in den Einbaudimensionen von den bekannten Kistler-Hochdrucksensoren ab. Es wurde der höheren Belastung entsprechend das Einschraubgewinde von M10x1 auf M12x1 vergrößert.



Bild 1: Hochdrucksensor Typ 6213B

**Die neue Frontpartie bringt zwei wesentliche Vorteile:**

- Die grosse Auflagefläche reduziert die Flächenpressung so, dass trotz der höheren Anzugsmomente keine Beschädigung der Dichtfläche eintritt.
- Da die Dichtung an der Frontpartie (Bild 2) erfolgt, ist das durch den Einbau bedingte Totvolumen besonders klein, kleiner als bei den bekannten schulterdichtenden Hochdrucksensoren Typ 6201 ... 6211.

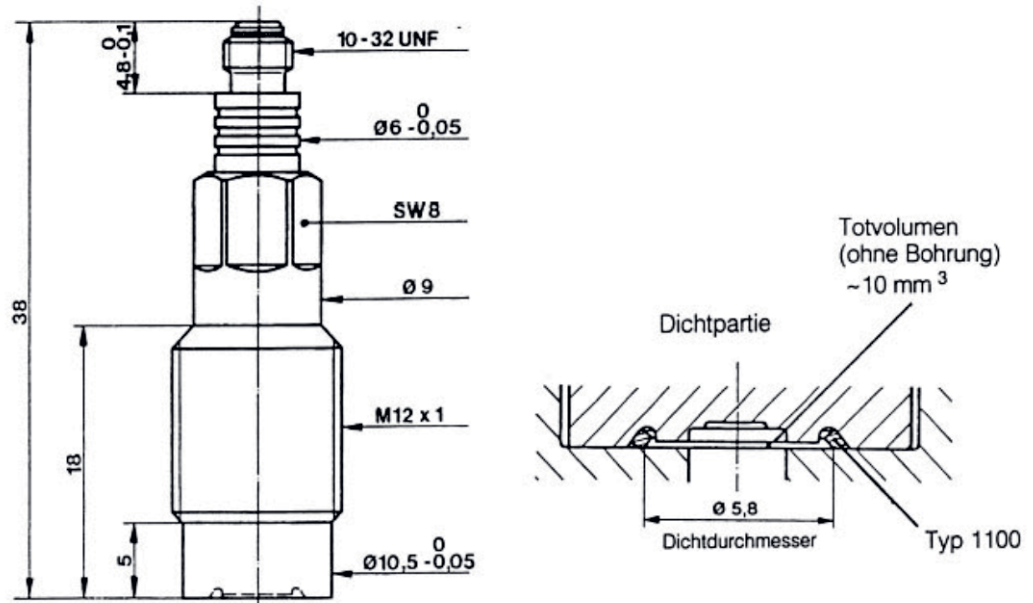


Bild 2: Abmessungen des Sensors Typ 6213B und der Dichtpartie

## 2.2 Technische Daten (Tabelle 1)

Die technischen Daten werden in Kapitel 2.3 näher beschrieben.

Bereich	bar	0 ... 10 000
Kalibrierter Bereich (mit Referenzsensor)	bar	0 ... 10 000
Kalibrierter Bereich (mit Totgewichts-Waage)	bar	0 ... 8 000
Kalibrierter Teilbereich	bar	0 ... 1 000
Überlast	bar	11 000
Ansprechschwelle	bar	<0,02
Empfindlichkeit	pC/bar	-1,2
Eigenfrequenz	kHz	>150
Anstiegszeit	µs	2
Linearität	%FSO	<±0,5
Hysterese	%FSO	<1
Beschleunigungsempfindlichkeit	bar/g	<0,006
Stossfestigkeit axial	g	25 000
normal zur Achse	g	10 000
Temperaturkoeffizient der Empfindlichkeit	%/°C	<+0,03
Betriebstemperaturbereich	°C	-50 ... 200
Kapazität	pF	≈5,5
Isolationswiderstand bei 20 °C	Ω	>10 <sup>13</sup>
Anzugsmoment	N·m	40
Gewicht	Gramm	18



## 2.3 Erläuterungen zu den technischen Daten

### 2.3.1 Messbereich

Die angegebenen Daten gelten für den entsprechenden Messbereich.

### 2.3.2 Kalibrierter Bereich

Der Sensor wird nur bis 8 000 bar mit der Totgewichts-Druckwaage kalibriert. Die Prüfung bis 10 000 bar erfolgt durch Vergleichsmessungen mit einem Referenzsensor.

### 2.3.3 Überlast

Grösster Druck, dem der Sensor ausgesetzt werden kann, ohne dass seine Daten über die spezifizierten Toleranzen verändert werden.

### 2.3.4 Temperaturkoeffizient der Empfindlichkeit

Empfindlichkeitsänderung ausgedrückt in % pro °C: Wird der Sensor beispielsweise bei einer Temperatur von 120 °C eingesetzt, so ist mit einer Zunahme der Empfindlichkeit von ca. 2 % zu rechnen.

### 2.3.5 Anstiegszeit

Als Anstiegszeit wird die Dauer einer Viertelschwingung der Eigenfrequenz des Sensors angenommen.

### 2.3.6 Betriebstemperaturbereich

Die Temperatur, die am Einbauort herrscht, muss innerhalb dieses Bereiches liegen, damit der Sensor dauernd eingesetzt werden darf. Die Gastemperaturen (kurzzeitig) dürfen höher sein.

### 2.3.7 Anzugsdrehmoment

Beim vorgeschriebenen Anzugsmoment ist gewährleistet, dass der Sensor über den gesamten zulässigen Druckbereich noch so stark auf der Dichtfläche aufliegt, dass eine einwandfreie Dichtung gewährleistet ist.

## 2.4 Funktionsprinzip

Der zu messende Druck wirkt auf die Membrane, die ihn in eine proportionale Kraft umwandelt. Diese Kraft wird über das Quarzpaket übertragen, welches unter Belastung eine elektrostatische Ladung abgibt. Eine Elektrode nimmt diese (negative) Ladung ab und führt sie zum Stecker, wo sie vom nachgeschalteten Ladungsverstärker in eine (positive) Spannung umgewandelt wird.

Die auf die Dichtpartie des Sensors wirkenden Materialspannungen, verursacht durch das Anzugsdrehmoment und Spannungen am Einbauort werden dank der "Anti-Strain"-Konstruktion nicht auf die Messzelle übertragen.

Die Dichtpartie wurde gegenüber den bestehenden Hochdrucksensoren Typ 6201 ... 6211 von der Schulter auf die Frontpartie verlegt. Durch diese Massnahme konnten die hohen Belastungen welche bei 10 000 bar auf den Sensor wirken, reduziert werden. Der Messdruck wirkt auf eine relative kleine Fläche ( $\approx 28 \text{ mm}^2$ ). Das für die Messungen störende Totvolumen ist bei dieser Konstruktion sehr klein ( $\approx 9,5 \text{ mm}^3$ ).

Das piezoelektrische System eignet sich vorwiegend für das Messen von raschen dynamischer und quasistatischen Druckvorgängen. Statische Messungen über beliebig lange Zeit sind nicht möglich.

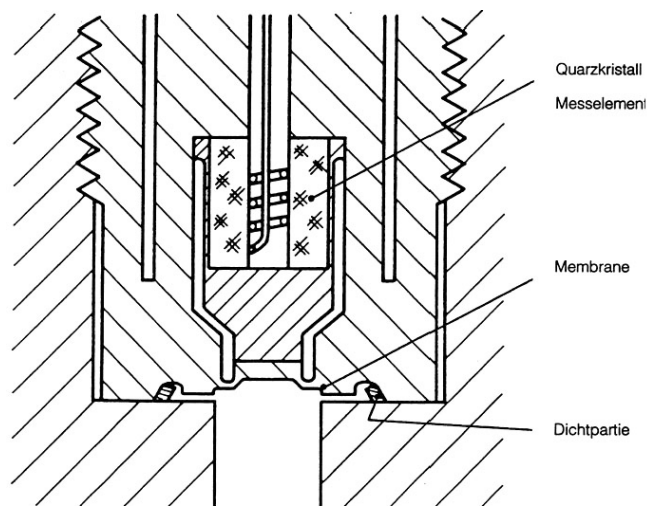


Bild 3: Schematischer Schnitt durch die Frontpartie

## 2.5 Anwendungsbeispiel

Typische Anwendungsfälle für den Hochdrucksensor Typ 6213B sind alle Arten von Druckmessungen in ballistischen Systemen. Für die Druckmessung in hydraulischen Systemen stehen speziell (z.B. Einspritzpumpen), entwickelte Drucksensoren zur Verfügung.

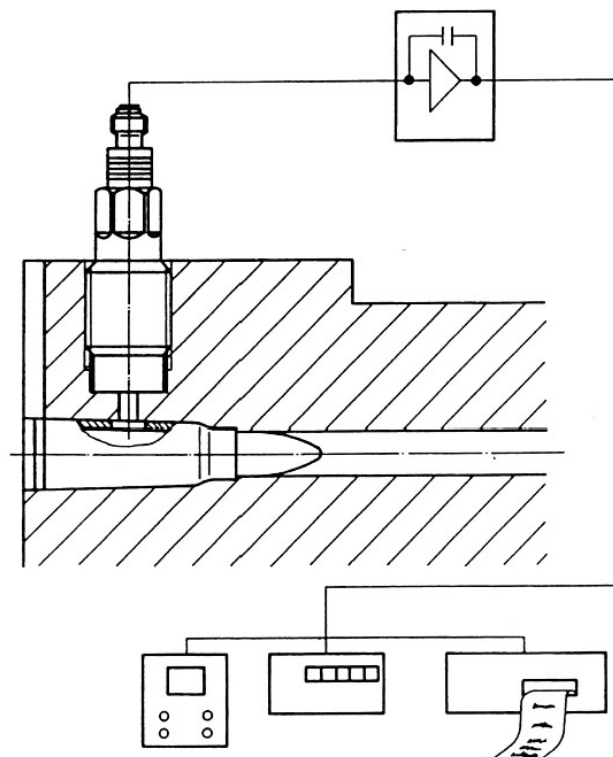


Bild 4: Druckmessung in einem Waffenlauf (Hülsenlager-messung)

## 3. Einbau

### 3.1 Allgemeines

Im Laufe der Zeit hat sich durch die unterschiedlichen Messanordnungen eine Vielzahl von Einbauvarianten ergeben.

**Messanordnungen:**

- Hülsenlagermessung
- Hülsenmundmessung
- Druckmessung im Lauf (Port-Pressure)
- Druckmessung in Grosskaliberhülsen, Hülsenbodenmessung
- Druckbombenmessung
- usw.

**Einbauvarianten dieser Messanordnungen sind:**

- Direkteinbau
- Einbau in Adapter

### 3.2 Empfohlene Einbauart

Um die Deformation am Messort möglichst klein zu halten wird empfohlen den Durchmesser (D) und die Länge (L) der Messbohrung dem Messlauf anzupassen.

**Empfohlene Abmessungen:**

	<b>Länge (L)</b>	<b>Durchmesser (D)</b>
Kleinkaliber	>4 mm	≥2,5 mm
Mittelkaliber	4 ... 8 mm	4 ... 5 mm
Grosskaliber	8 ... 15 mm	4 ... 5 mm

Bei versenktem Einbau (grosse Wandstärken) muss der obere Teil der Bohrung auf mind.  $\varnothing 12,8$  mm aufgebohrt werden, damit der 6-Kant Schlüssel Typ 1373A1 verwendet werden kann.

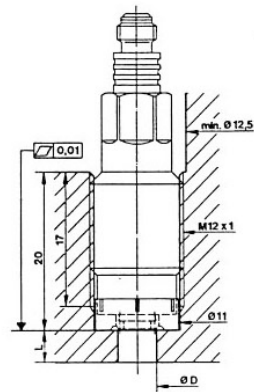


Bild 5a: Einbau mit Thermoschutzschild Typ 6563A

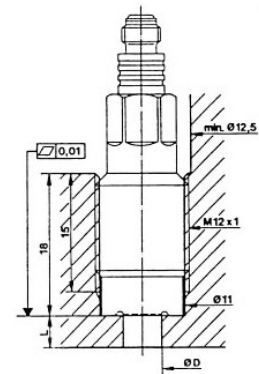


Bild 5b: Einbau ohne Thermoschutzschild

### 3.3 Korrekte Verwendung der Dichtung

Für die empfohlene Einbauart muss der dem Sensor mitgelieferte Stahldichtring Typ 1100 verwendet werden. Bei diesem Dichtring handelt es sich um eine von der Firma Kistler entwickelte und patentierte Dichtung aus Cr-Ni-Stahl (siehe Bild 6).

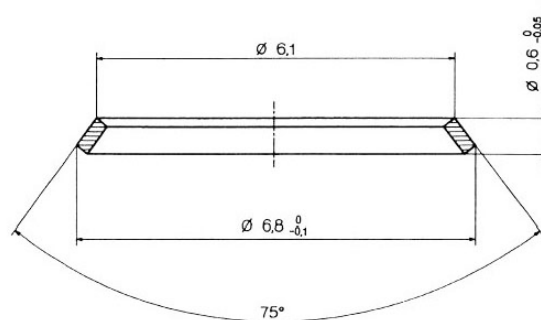


Bild 6: Dichtring Typ 1100

Die Wirkungsweise dieses Dichtringes ist ähnlich wie diejenige einer O-Ring-Dichtung. Der weiche Cr-Ni-Stahl wird beim Anziehen des Sensors plastisch deformiert und dichtet gegen das Messmedium. Je höher der Messdruck steigt, um so stärker wird der Dichtring gegen die Dichtfläche gepresst (siehe Bild 7). Es muss darauf geachtet werden, dass der Dichtring nicht verkehrt eingelegt wird

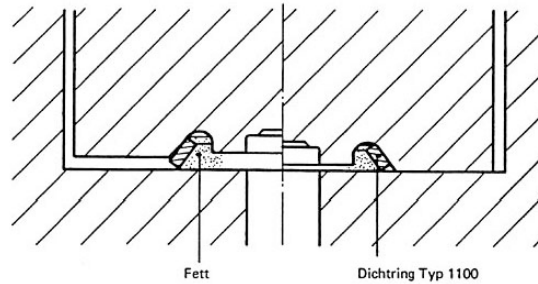


Bild 7: Wirkungsweise des Dichtringes

**Links:** nach Kontakt mit Dichtfläche  
**Rechts:** nach dem Anziehen

Bild 7 zeigt den Sensor und den Dichtring in der Messbohrung vor Beginn der plastischen Deformation (links) und nach deren Abschluss (rechts). Das Klüberfett Typ 1063 dient dazu, den Dichtring während des Einschraubens in seiner Position zu halten. Dadurch wird die Montage in jeder Lage ermöglicht ohne dass der Dichtring abfällt.

Der Dichtring Typ 1100 hat sich in der Praxis sehr gut bewährt. Beim vorgeschriebenen Anzugsmoment, eine saubere Dichtpartie vorausgesetzt, ist ein sicheres Dichten über den angegebenen Messbereich gewährleistet. Damit die Reibungsverhältnisse am Gewinde immer gleich sind und die Vorspannkraft optimal ist, muss das Gewinde bei jedem Einschrauben mit Klüberfett Typ 1063 gefettet werden. Der Dichtring kann mehrmals verwendet werden. Die relativ hohe Flächenpressung dürfte üblicherweise Abdrücke auf der Dichtpartie hinterlassen, die aber ohne Nachteil für die Dichtwirkung sind.

### 3.4 Anzugsdrehmoment

Anzugsdrehmoment für den Einsatz bei kleinen Drücken.

Das relativ hohe Anzugsdrehmoment von 40 N·m ist erforderlich um ein einwandfreies Dichten über den gesamten Druckbereich zu gewährleisten.

Wird der Sensor für das Messen von kleinen Drücken eingesetzt, kann nötigenfalls das Anzugsdrehmoment dem tieferen Druckbereich entsprechend reduziert werden.

#### **Zulässige Anzugsdrehmomente:**

0 ... 7 500 bar	30 N·m
0 ... 5 000 bar	20 N·m
0 ... 2 500 bar	10 N·m

Ein Anzugsdrehmoment von 10 N·m darf auch bei Druckbereichen <2 500 bar keinesfalls unterschritten werden. Obwohl der Einfluss des Anzugsdrehmomentes auf die Empfindlichkeit klein ist, sollte der Sensor mit dem im Einsatz verwendete Anzugsdrehmoment kalibriert werden.

### 3.5 Einfluss einer langen Messbohrung

Lange Messbohrungen stellen ein Tiefpassfilter dar. Tiefe Frequenzen werden fehlerfrei gemessen. Mittelhohe Frequenzen im Bereich der Resonanzfrequenz der Flüssigkeits- oder Gassäule erzeugen ein grosses Störsignal, welches die Amplitude des Messsignals um ein Vielfaches übersteigen kann. Hohe Frequenzen werden stark gedämpft oder überhaupt nicht gemessen. Bei stossförmigem Druckanstieg (Sprungfunktion) wird eine gedämpfte Schwingung angeregt.

Welche Wirkung eine Flüssigkeits- bzw. Gassäule auf das Messergebnis hat, wenn kurzzeitige Druckspitzen auftreten, ist sehr eindrucksvoll in Bild 8 (am Beispiel eines Hydrauliksystems) gezeigt. Ist die Messbohrung zu lang, kann eine kurze Druckspitze auch mit Sensoren hoher Eigenfrequenz nicht gemessen werden.

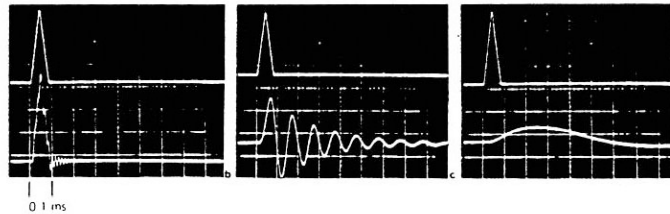


Bild 8: Einfluss langer Messbohrungen

Wiedergabe einer Druckspitze (Basisbreite 80 µs) eines hydraulischen Systems (Wasser), in Abhängigkeit von der Resonanzfrequenz der dem Sensor vorgeschalteten Mess-bohrung unterschiedlicher Länge:

<b>Bild:</b>	<b>8a</b>	<b>8b</b>	<b>8c</b>
Länge der Messbohrung:	3,5 mm	35 mm	350 mm
Resonanzfrequenz:	≈100 kHz	≈10 kHz	≈1 kHz

Zur ungefähren Abschätzung der Resonanzfrequenz einer Flüssigkeitssäule wird eine mittlere Schallgeschwindigkeit von  $v = 1\,400\text{ m/s}$  angenommen (Wasser:  $v = 1\,400\text{ m/s}$ ). Die durch den Drucksensor abgeschlossene Messbohrung schwingt mit  $1/4$  Wellenlänge ( $\lambda/4$ ). Bei bekannter Länge  $L$  der Messbohrung errechnet sich die Eigenfrequenz wie folgt:

$$f = v / (4 \cdot L) \quad \text{z.B. (bei } L = 35\text{ mm)}$$

$$1\,400 / (4 \cdot 0,035) = 10\,000\text{ Hz}$$

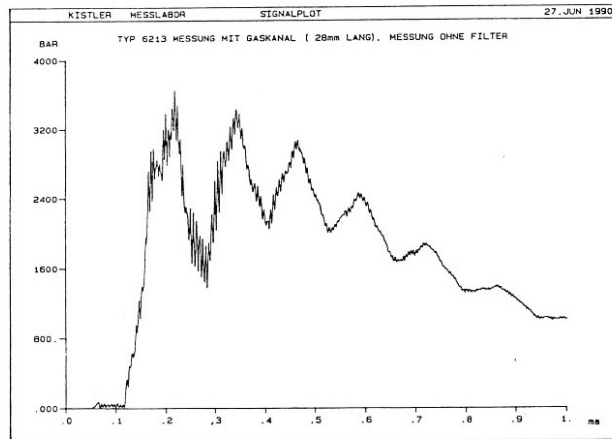


Bild 9: Pfeifschwingungen bei 28 mm langem Gaskanal



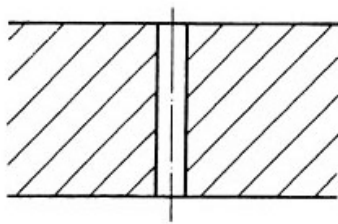
### 3.6 Bearbeitung der Messbohrung

Bei der Herstellung der Messbohrung ist es wesentlich, dass das Gewinde zur Bohrung konzentrisch ist und dass die Dichtpartie eben ist. Ohne wesentliche Schwierigkeiten wird dies erreicht, wenn das Bohren und Gewinde-schneiden in der gleichen Aufspannung auf der Bohrmaschine erfolgt. Es genügt, wenn auf einer normalen Bohrmaschine eine Zentrierspitze eingesetzt wird, mit welcher der Gewindebohrer beim Schneiden von Hand zentriert werden kann.



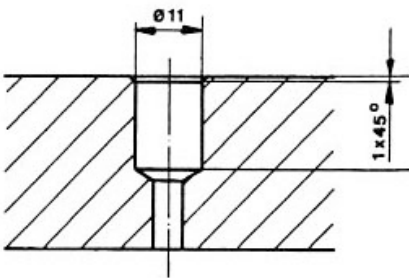
Die Dichtfläche muss nach dem Bohren mit dem Reibwerkzeug Typ 1300A23 nach gerieben werden.

---



### 1. Vorbohren

mit max.  $\varnothing 5$  mm  
(ideal  $\varnothing 2,5 \dots 4$  mm)

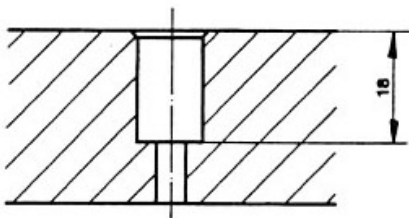


### 2. Aufbohren

$\varnothing 11$  mm/16 mm tief

### 3. Ansenken

1 x 45°

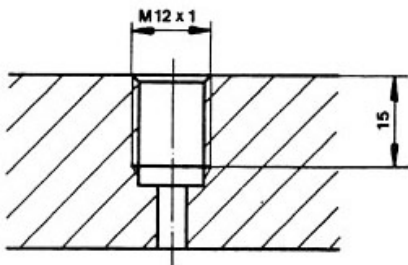


### 4. Flachbohren

mit Spezialbohrer Typ 1341

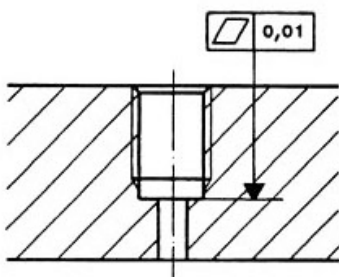
#### **Wichtig:**

Bei Verwendung eines Thermoschutzschildes Typ 6563A muss die Bohrung  $\varnothing 11$  mm auf 20 mm aufgebohrt werden.



### 5. Gewindeschneiden

Der Gewindebohrer muss im Bohrkopf genau zentrisch geführt werden.  
Bei schräg geschnittenem Gewinde wird keine einwandfreie Dichtung erreicht.



### 6. Reiben

Um eine optimale Messgenauigkeit zu gewährleisten ist es notwendig, die Dichtfläche mit dem Reibwerkzeug Typ 1300A23 nachzureiben.  
Die Vorgehensweise beim Reiben ist im folgenden Kapitel 3.8 eingehend beschrieben.

Bild 10: Bohranleitung für Montagebohrung für Typ 6213B

### 3.7 Vermeidung von Einbaufehlern

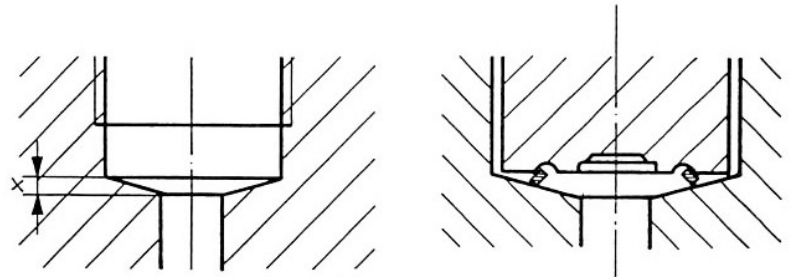


Bild 11: Konkave Dichtpartie

Ist die Dichtpartie konkav, so sind Messfehler unvermeidlich. Die Messfehler entstehen, weil sich die Einspann-verhältnisse an der Sensorfrontpartie verändern. Versuche zeigten, dass die Empfindlichkeit bei 0,02 mm (x) konkaver Dichtpartie um ca. 2 % zunimmt. Dieser Fehler kann bei der Herstellung der Messbohrung vermieden werden (siehe Richtlinien Kapitel 3.6).

### 3.8 Reibwerkzeug Typ 1300A23

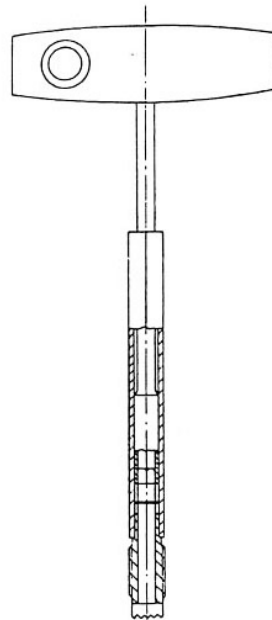


Bild 12: Reibwerkzeug Typ 1300A23

### **Zusammenbau des Werkzeuges**

Das eigentliche Reibwerkzeug ist ab Werk zusammengebaut, wobei die entsprechende Überwurfmutter auf dem Reiber mit einem Sprengring zusammengehalten wird. Idealerweise wird aber das als Verlängerung gebrauchte 6-Kant-Rohr werkzeugseitig mit einem Körner oder einfach mit dem Hammer leicht deformiert, so dass das Reibwerkzeug mit dem 6-Kant-Rohr leicht zusammenhält. Dadurch kann das Reibwerkzeug in jeder Lage in die Montagebohrung ein- bzw. ausgebaut werden. Achten Sie darauf, dass nur eine Seite des 6-Kant-Rohres deformiert wird, da sonst der Steckschlüssel nicht mehr eingeführt werden kann. Das 6-Kant-Rohr soll während dem Nachreiben auf dem Werkzeug bleiben.

### **Planreiben der Dichtpartie**

Mit diesen Werkzeugen lassen sich ausgezeichnete Dichtflächen herstellen.

### **Vorgehen beim Reiben mit Reibwerkzeug Typ 1300A23:**

- Die Rillen der Schneidenfläche des Werkzeuges mit zähem Fett (Klüberfett Typ 1063) total auffüllen. Das Fett nimmt die abgeriebenen Metallspäne auf und verhindert, dass sie zwischen Schneide und Dichtpartie eingeklemmt werden. Durch die Schmierwirkung wird die Gefahr des Anfressens verringert
- Die Vorspannkraft des Reibwerkzeuges soll anfänglich minimal sein, so dass die Reibkraft anfänglich klein ist
- Nach 2 ... 4 Umdrehungen den Reiber ausbauen und das Reibbild auf der Dichtfläche kontrollieren. Die Lage der Späne auf der Schneidenfläche geben Aufschluss über den Zustand der Dichtfläche
- Das Reibbild auf der Dichtfläche ist noch nicht in Ordnung, wenn tiefere Rillen, konkave oder konvexe Dichtflächen bestehen oder das Gewinde nicht rechtwinklig zur Dichtfläche geschnitten ist
- Schnittfläche des Reibers reinigen und wieder fetten
- Reiber einbauen und Vorspannkraft während des Reibens allmählich erhöhen, jedoch nur so weit, dass die Reibkraft ohne grosse Anstrengung aufgebracht werden kann. Vorsicht vor dem Anfressen
- Reiber öfters ausbauen, kontrollieren und reinigen
- Nur solange reiben wie unbedingt erforderlich
- Montagebohrung vor dem Wiedereinbau des Sensors sauber reinigen

**Wann sollen Messbohrungen nachgerieben werden?**

Vor der ersten Inbetriebnahme sollte jede Messbohrung zur Kontrolle der Planheit nachgerieben werden. Idealerweise wird dafür die Dichtpartie vor dem Nachreiben mit einem wasserfesten Filzstift oder mit Tuschiepaste eingefärbt.

Nach starkem Gebrauch oder nach Abbläsern sollte die Dichtfläche ebenfalls nachgerieben werden. Das Reibwerkzeug kann aber auch nur zum Entfernen von Pulverrückständen eingesetzt werden.

### 3.9 Schiessen mit Thermoschutz

Die hohen Verbrennungsgastemperaturen, die beim Schiessen ohne Thermoschutz direkt mit der Membrane in Berührung kommen führen zu einer starken Erwärmung der Membranoberfläche. Die dadurch verursachten Materialspannungen bewirken eine Deformation der Membrane, (Büchsendeckeleffekt) die dem zu messendem Druck entgegen wirkt und zu einem Messfehler führt, der sich in einer zu tiefen Druckanzeige über den gesamten Druckverlauf und einer Nullpunktabweichung nach dem Schuss bemerkbar macht.

Beim Sensor Typ 6213B (Hülsenlager) kann der Druck (bei Munition 7,5x55) um bis zu ca. 2 % zu tief angezeigt werden.

Dieser Temperaturfehler kann durch die Verwendung eines Thermoschutzes stark vermindert werden.

### 3.9.1 Thermoschutzschild Typ 6563A

Der Thermoschockfehler kann stark verringert werden, wenn die Sensor-Frontpartie mit einer Thermoschutzplatte Typ 1181 und Schutzschild Typ 6563A geschützt wird.

Die Lebensdauer der Thermoschutzplatte Typ 1181 beträgt ca. 5 ... 20 Schuss oder mehr, je nach Anwendung.



Die Thermoschutzplatte sollte nicht verwendet werden wenn der Sensor auf unter Null Grad abgekühlt wird. Bei derart tiefen Temperaturen wird die Thermoschutzplatte hart und verursacht Messfehler. In diesem Fall ist anstelle der Thermoschutzplatte etwas Fett auf die Membrane zu streichen (keinesfalls die ganze Einbaubohrung mit Fett füllen!).

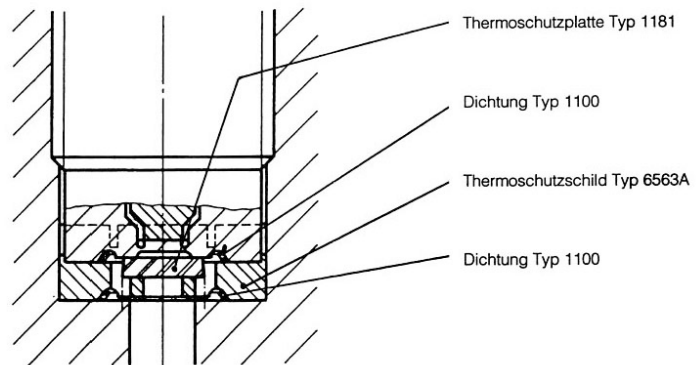


Bild 13: Thermoschutzschild Typ 6563A und Thermoschutzplatte Typ 1181

### 3.9.2 Fettvorlage

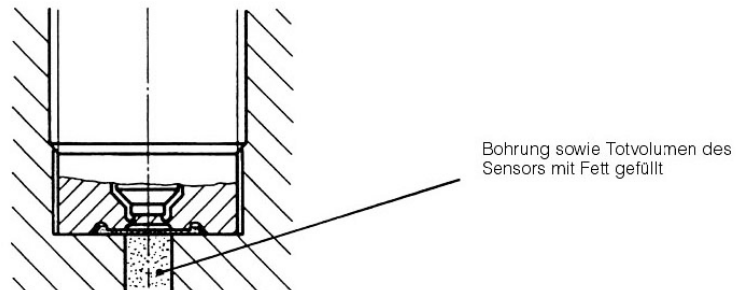


Bild 14: Fettvorlage

Bei Versuchen mit Silikonfett (Typ 1051) wurde bis zu einem Druck von ca. 4 000 bar kein Messfehler festgestellt. Bei Drücken von >4 000 bar macht sich ein Messfehler von bis zu -5 % bemerkbar. Insbesondere muss vor dem Gebrauch von Pasten (Silikon) oder ähnlichem gewarnt werden, da diese die volle Druckausbreitung verhindern können. Grundsätzlich empfehlen wir anstelle von Silikon-fett das Thermodruckschild Typ 6565A zu verwenden.

## 4. Unterschiedliche Messanordnungen

### 4.1 Hülsenlagermessung

Die Hülsenlagermessung ist die Messart bei welcher der Anwender vollständige Informationen über den Abbrand des Pulvers erhält. Durch Anbohren der Patronenhülsen und das notwendige genaue Zentrieren der Hülse ist diese Messart jedoch Zeit- und Arbeitsaufwendig.

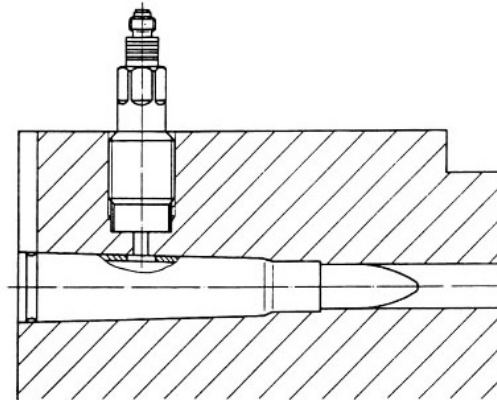
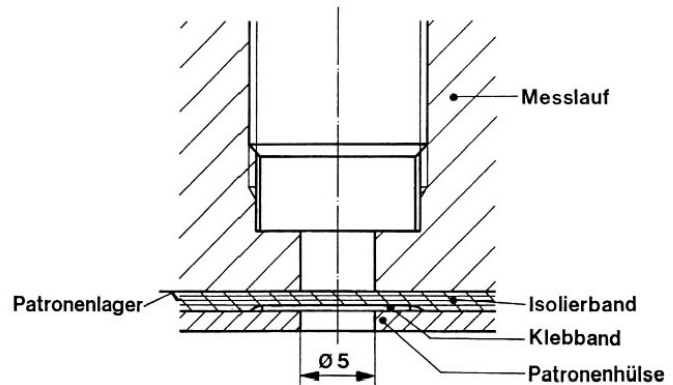


Bild 15: Hülsenlagermessung



Damit die Patronenhülse trotz Loch im Patronenlager abdichtet und keine Abläser entstehen, wird das Loch in der Hülse üblicherweise mit Kleb- und Isolierband



abgedichtet.

Bild 16: Verklebung der Bohrung in der Hülse

Je kleiner die Bohrung in der Hülse desto höher ist der Berstdruck der Verklebung. Bei Bohrungen von  $\varnothing 2 \dots 3$  mm kann der benötigte Berstdruck einige hundert bar sein, so dass die Anfeuerungsphase verloren geht. Dem kann abgeholfen werden, indem kurz vor dem Schuss die Verklebung mit einer Nadel mehrmals durchgestochen wird.



Bei dieser Anwendung ist der Sensor über den gesamten Druckverlauf den heißen Verbrennungsgasen ausgesetzt, es sollte daher stets ein Thermoschutz verwendet werden (siehe Kapitel 3.9).

## 4.2 Hülsenbodenadapter

Der Einbau des Sensors in einen Hülsenbodenadapter ist nur bei Grosskalibern möglich. Diese Einbauart vermittelt wie die Hülsenlagermessung Informationen über den ganzen Druckverlauf.



Thermoschutz verwenden (siehe Kapitel 3.9).

---

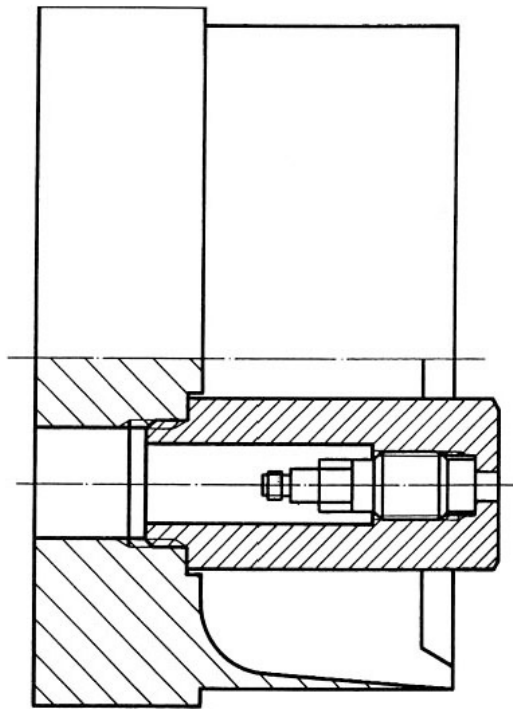


Bild 17: Hülsenbodenadapter

### 4.3 Hülsenmundmessung

Für die Hülsenmundmessung, die üblicherweise bei Klein-kalibern durchgeführt wird, empfehlen wir den Einsatz von Typ 6215 mit entsprechendem Zubehör.

Diese hauptsächlich bei der Munitionsabnahmeprüfung eingesetzte Messanordnung ist, im Gegensatz zur Hülsen-lagermessung, wesentlich einfacher, da die Munition nicht nachbearbeitet werden muss. Ausgewertet wird bei dieser Anordnung nur der Spitzendruck, der je nach Munition bis zu 3 % kleiner ist als bei der Hülsenlagermessung.

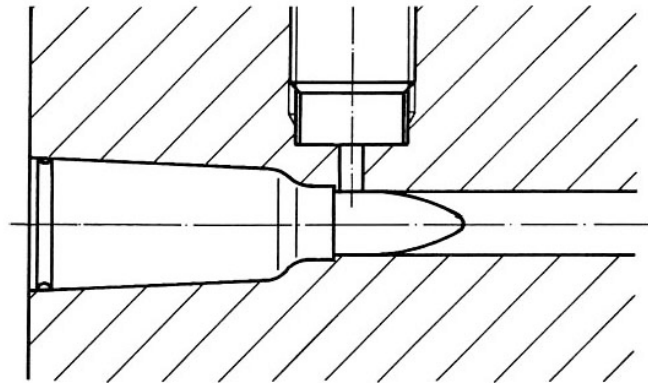


Bild 18: Hülsenmundmessung

Die Hülsenmundmessung ist die Anordnung bei der die Sensor am stärksten beansprucht werden (kleine Lebensdauer). Da das Geschoss die Messbohrung erst kurz vor dem Spitzendruck öffnet, ist der Drucksprung gross und die Anstiegszeit kurz. Dies bewirkt, dass durch die kleine Messbohrung das vor dem Sensor liegende Totvolumen in Schwingung versetzt werden kann. Diese Schwingungen, die üblicherweise im Bereich einiger zehn Kilohertz liegen, werden gewöhnlich durch nachgeschaltete (elektronische) Filter abgeschwächt. Die Schwingungen, deren Spitzen oft höher als der effektive Spitzendruck sind belasten aber dennoch den Sensor zusätzlich. Im weiteren besteht die Gefahr, dass Metallteile vom Geschoss oder, bei zu kleiner Distanz zwischen Hülse und Messbohrung, von der Hülse, die Membrane beschädigen.

**Folgende Vorsichtsmassnahmen sind deshalb empfehlenswert:**

- Versuchsmessungen mit Filter von hoher Grenzfrequenz (... 180 kHz) durchführen
- Totvolumen zwischen Sensor und Lauf möglichst klein halten
- als Temperaturschutz und als Schutz gegen Metallteile (Volumenverkleinerung) nur mit eingesetzter Thermo-schutzplatte arbeiten
- je nach Anwendung kann es vorkommen, dass die Anbohrung nicht in der Freiflugstrecke sondern schon im Bereich der Züge zu liegen kommt. Dabei muss unbedingt beachtet werden, dass die Bohrung im Zug liegt

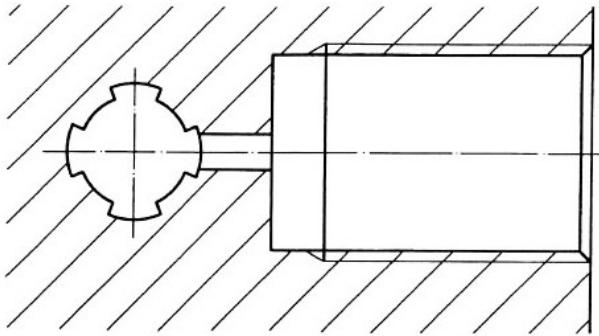
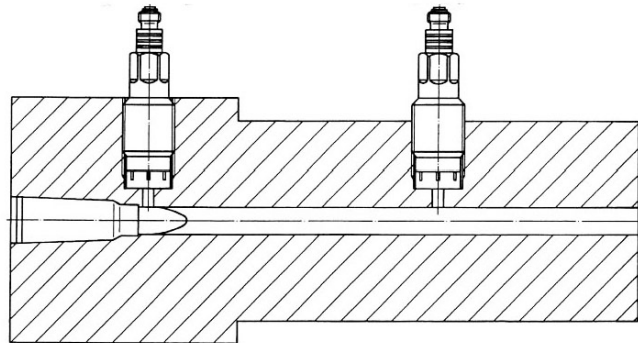


Bild 19: Anordnung der Montagebohrung

Diese Massnahme verhindert, dass Geschossmaterial ab-geschält wird und ist besonders für die Port-Pressure-Messung wichtig.

#### 4.4 Druckmessung an beliebiger Stelle des Messlaufes (Port-

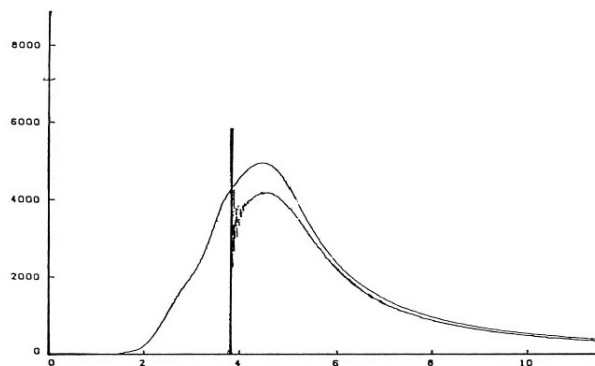


#### Pressure)

Bild 20: Druckmessung an beliebiger Stelle des Messlaufes (Port-Pressure)

Bei dieser Messart kann, bedingt durch die notwendige Verbindungsbohrung ein Totvolumen vor der Membrane nicht vermieden werden. Der Vorteil des schulterdichtenden Sensors entfällt somit (siehe auch Kapitel 4.2).

Druckmessungen im Lauf sind, bedingt durch die sehr kurze Druckanstiegszeit, äusserst problematisch. Normalerweise werden bei dieser Messung je nach Messbohrung mehr oder weniger starke Pfeifschwingungen angeregt. Dabei kann, je nach Waffenart und Lage der Messbohrung (Laufende oder Laufanfang), die erste Stosswelle an der Sensorfront einen höheren Druck erzeugen als der Spitzen-druck der



im Hülsenlager gemessen wird.

Bild 21: Laufmessung an einer grosskalibrigen Waffe im Vergleich zur Hülsenlagermessung

In den meisten Fällen wird aber erst nach Erreichen des Spitzendrucks gemessen (z.B. Port-Pressure-Messung).

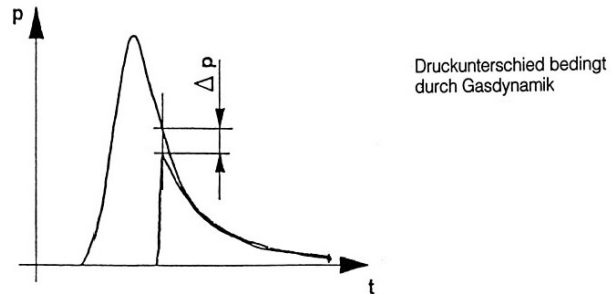


Bild 22: Port-Pressure-Messung im Vergleich zur Hülsenlagermessung  
Port-Pressure-Messung mit 10 kHz-Filter, daher keine Pfeifenschwingungen

Da die Druckanstiegszeit bei dieser Messanordnung stark vom Totvolumen vor der Sensorfrontpartie, wie auch vom verwendeten Filter im Ladungsverstärker abhängt, wird bei unterschiedlichen Messbohrungen (Totvolumen) bzw. bei Verwendung unterschiedlicher, elektrischer Filter, der angezeigte maximale Druck unterschiedlich sein.

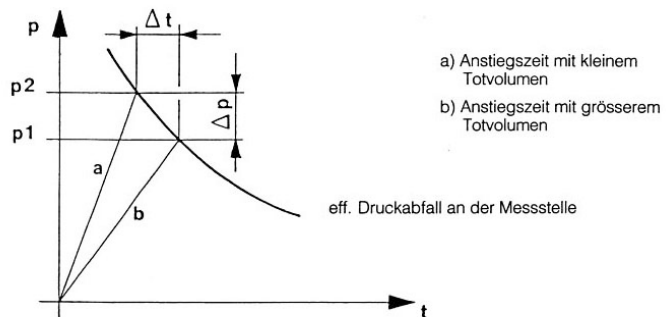


Bild 23: Druckdifferenz  $\Delta p$  bedingt durch unterschiedliche Druckanstiegszeiten

Das Bild 23 zeigt, dass, bedingt durch eine endliche Anstiegszeit (Totvolumen), nie der effektiv herrschende Druck an der Messstelle gemessen werden kann. Der angezeigte maximale Druck ist umso kleiner, je grösser das Totvolumen und je tiefer die Grenzfrequenz des verwendeten Filters ist. Je steiler der Druckabfall an der Messstelle ist, desto stärker machen sich die Druckdifferenzen (Totvolumen, Filter) bemerkbar.

Der Sensor mit kleinen Totvolumen zeigt  $p_2$  an, der Sensor mit grossem Totvolumen nur  $p_1$ .

Damit Werte von verschiedenen Erprobungsstellen untereinander verglichen werden können, ist es bei dieser Mess-anordnung äusserst wichtig, dass die Einbaubedingungen, wie auch der Messaufbau (Filter, Auswertegerät) absolut identisch sind.

Als Vorsichtsmassnahme zum Schutze des Sensors sind die gleichen Massnahmen wie bei der Hülsenmundmessung (siehe Kapitel 4.3) zu empfehlen.

## 4.5 Druckbombenmessung

Die Druckbombenmessung wird zur Überwachung der laufenden Produktion von chemischen Treibladungen wie auch zu deren Entwicklung eingesetzt.

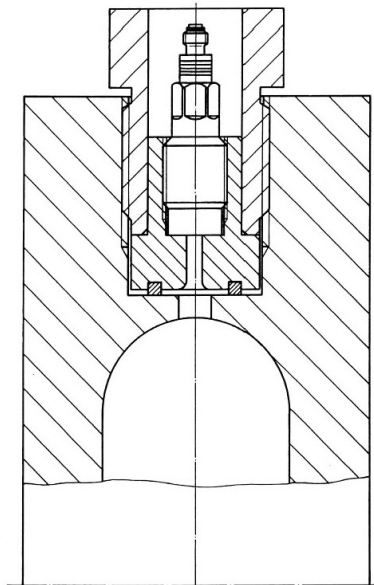


Bild 24: Sensormontage: Typ 6213B montiert in eine Druckbombe

Bei der Druckbombenmessung wird der Sensor üblicherweise nicht direkt in das Gehäuse eingebaut, sondern der besseren Handhabung wegen in einem Adapter.

Für den Einsatz in Druckbomben sind die frontdichtenden Sensoren Typ 6213B (und Typ 6215) weitaus besser geeignet als die schulterdichtenden Sensoren Typ 6201 ... 6211. Werden die Sensoren Typ 6213B oder Typ 6215, zusammen mit dem Thermoschutzschild Typ 6563A resp. Typ 6565A und eingelegter Thermoschutzplatte Typ 1181 verwendet, so kann üblicherweise auf einen zusätzlichen Temperaturschutz verzichtet werden.

Der Sensor Typ 6213B kann im weiteren den für Druckbombenmessungen üblichen Druckbereich voll abdecken (10 000 bar), insbesondere ist er dank seiner guten Linearität auch für die Messungen in kleinen Druckbereichen einsetzbar.

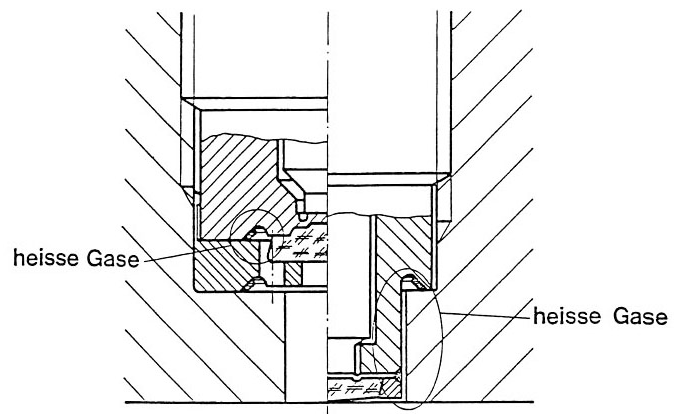


Bild 25: Vergleich der Frontpartie eines Frontdichters mit einem Schulterdichter

- Links:** Frontdichtender Sensor mit Thermoschutz
- Rechts:** Schulterdichtender Sensor mit Thermoschutzplatte

Bild 25 zeigt die den heißen Verbrennungsgasen ausgesetzte Sensoroberfläche mit eingesetzter Thermoschutzplatte des front- und des schulterdichtenden Sensors. Der Vergleich zeigt, dass die der Temperatur ausgesetzte Oberfläche beim Schulterdichter ein Vielfaches der des Frontdichters beträgt.





Adapter für Hochdrucksensoren müssen so konstruiert werden, dass die Materialspannungen am Einbauort minimal sind (siehe Bild 26).

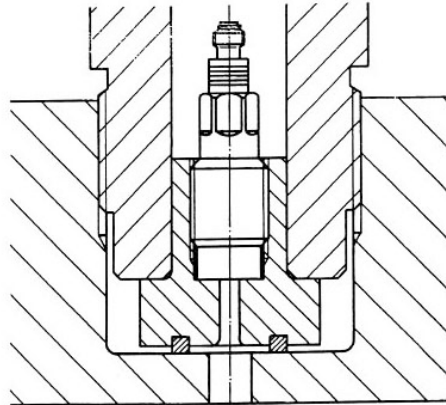


Bild 26: Adapter mit minimaler Materialspannung am Einbauort

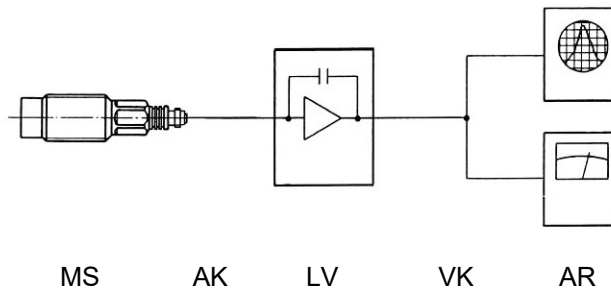
**Folgende Vorsichtsmassnahmen für Druckbombenmessungen sind empfehlenswert:**

- Nur mit eingelegter Thermoschutzplatte arbeiten
- Bei grossvolumigen Bomben die Sensorfrontpartie zusätzlich mit geeignetem Fett schützen. Dies ist auch bei wassergekühlten Bomben notwendig
- Nach Möglichkeit nur mit Dichtung Typ 1100 arbeiten
- Sensor zusammen mit Adapter kalibrieren
- Adapter so optimieren dass die Materialspannungen am Einbauort des Sensors möglichst klein sind
- Dichtdurchmesser am Adapter möglichst klein halten
- Da Adapter in der Regel (relativ grosser Dichtdurchmesser) hohen Belastungen ausgesetzt werden, sind Druckentlastungsbohrungen nach der Adapterdichtung und entsprechende Schutzvorrichtungen einzubauen

## 5. Betrieb

### 5.1 Grundschialtung einer Messanlage

Eine Messanlage besteht in erster Linie aus dem piezoelektrischen Teil, nämlich Quarzkristall-Drucksensor, hochisolierendes geräuscharm Anschlusskabel und Ladungsverstärker. Sie wird in zweiter Linie ergänzt durch einen nicht-piezoelektrischen Teil, bestehend aus Anzeige- oder Registriergerät und/oder aus einem Spitzenanzeige-gerät zur Anzeige des Maximalwertes einer Druckspitze.



- MS: Messwertsensor
- AK: Anschlusskabel, hochisolierend, geräuscharm
- LV: Ladungsverstärker (Umwandlung von Ladung in Spannung)
- VK: Verbindungskabel, nicht geräuscharm
- AR: Anzeige-/Registriergeräte/  
Datenverarbeitungsgeräte

Bild 27: Grundschialtung einer Messanlage

Die im Messwertsensor erzeugte elektrische Ladung wird im Ladungsverstärker in eine proportionale Spannung umgewandelt; diese kann angezeigt, registriert oder weiter verarbeitet werden. Das Anschlusskabel für den Sensor muss hochisolierend und geräuscharm sein. Der Einfluss der Kabellänge (>15 m) ist der Betriebsanleitung des verwendeten Ladungsverstärkers zu entnehmen.

Vom Ladungsverstärker zum Anzeige- oder Registriergerät können übliche Kabel verwendet werden.



Allgemeine Hinweise sind auch in der Betriebsanleitung 002-001, Piezoelektrische Messanlagen, enthalten.

## 5.2 Bereichswahl und Ansprechschwelle

Es muss unterschieden werden zwischen dem Messbereich des Drucksensors und dem Messbereich des Ladungsverstärkers. Die Hochdrucksensoren werden im Bereich 100 % und 10 % kalibriert. Es ist sogar möglich, einen noch kleineren Messbereich zu wählen, z.B. 1 % des möglichen Messbereiches.

Der für die Durchführung einer Messung gewünschte Messbereich kann am Ladungsverstärker (z.B. Typ 5011) frei bestimmt werden. Der Ladungsverstärker Typ 5011 bietet stufenlos einstellbare Messbereiche. Selbstverständlich darf der für den Sensor zugelassene maximale Druck nicht überschritten werden.

Es ist beispielsweise möglich, einen Messbereich von 10 bar (1 bar/V) zu wählen um kleine Druckschwankungen zu messen, die einem statischen Grunddruck von beispielsweise 1 000 bar überlagert sind. Eine hundertfache Überlastung des Messbereiches schadet dem Ladungsverstärker nicht.

Die Ansprechschwelle des Hochdrucksensors Typ 6213B liegt bei etwa 0,02 bar.

## 5.3 Messung von hochfrequenten Vorgängen

Die Möglichkeit, hohe Frequenzen zu messen, wird entweder durch die Eigenfrequenz des Sensors oder durch die obere Grenzfrequenz des Ladungsverstärkers bzw. des Registriergerätes beschränkt. Wie in Abschnitt 3.5, "Einfluss einer langen Messbohrung", gezeigt wurde, kann das einschränkende Element aber auch die Messbohrung selbst sein. Ein Quarzkristall-Drucksensor stellt ein sehr schwach gedämpftes System dar. Die Resonanzüberhöhung beträgt ungefähr 30 dB. Je nach Genauigkeitsanforderungen darf die Messfrequenz maximal 10 ... 40 % der Resonanzfrequenz des Sensors betragen.

Am Ladungsverstärker Typ 5011 kann mit dem Tiefpassfilter (8 Stufen) die obere Grenzfrequenz der Applikation angepasst werden.

## 5.4 Messung von quasistatischen Vorgängen

Rein statische Messungen über eine beliebig lange Zeit sind mit dem piezoelektrischen Messprinzip nicht möglich.

Die Zeitdauer, über welche sogenannte quasistatische Messungen durchgeführt werden können hängt vom Isolationswiderstand von Sensor und Verbindungskabel sowie von den Eigenschaften des verwendeten Ladungsverstärkers ab.

Bei einem Isolationswiderstand von  $10^{13} \Omega$  und  $0,03 \text{ pC/s}$  Driftstrom des Verstärkers ergibt sich bei Verwendung der Hochdruck-Sensor ein Fehler von 1 bar/min. Bei einem Messbereich von 1 000 bar resultiert daher ein Fehler von  $\approx 1 \%$ , wenn die Messung 10 Minuten lang dauert.

## 5.5 Hinweise und Vorsichtsmassnahmen

- Der Dichtring Typ 1100 darf nicht verkehrt eingelegt werden
- Bei Undichtheit darf nicht einfach nachgezogen werden. Dichtet der Sensor nicht, obwohl er mit dem vorgeschriebenen Anzugsmoment angezogen wurde, muss die Dichtung ersetzt werden. Im Wiederholungsfall ist die Dichtfläche der Montagebohrung zu kontrollieren und wenn nötig, nachzuarbeiten
- Der Sensor soll nicht unnötig lang im Messobjekt eingebaut bleiben. Wird ohne zu messen weiter gearbeitet, so soll anstelle des Drucksensors das Verschlussstück Typ Z13195 eingebaut werden. Dies gilt speziell dort, wo hohe Drücke auftreten
- Um den hohen Isolationswiderstand aufrecht zu erhalten, muss der Anschlussstecker vor Verschmutzung geschützt werden. Dasselbe gilt für die Stecker des Anschlusskabels. Falls nötig, sollten diese Teile mit Reinbenzin gereinigt werden. Wird das Kabel vom Sensor entfernt, soll an seiner Stelle eine Schutzkappe aufgeschraubt werden

## 6. Kalibrierung und Unterhalt

### 6.1 Kalibrierung

Der Sensor wurde im Werk kalibriert; das Kalibrierblatt wird mit dem Sensor mitgeliefert. Ein Duplikat kann jederzeit angefordert werden.

Für innenballistische Druckmessungen sind periodische Nachkalibrierungen empfehlenswert. Die Abstände zwischen zwei Kalibrierungen sind stark von der Anwendung abhängig. Im Zweifelsfalle, oder nach längerer Betriebsdauer soll eine Nachkalibrierung vorgenommen werden.

Üblicherweise werden für diese Nachkalibrierungen Totgewichts-Manometer (Deadweight tester) verwendet. Bei dieser Kalibrierung wird der Sensor quasistatisch belastet. Da quasistatische Messungen verglichen mit der Schussbelastung (dyn. Messung) den Sensor weit höher beanspruchen, sind Kalibrierungen (quasistatisch) auf ein vertretbares Minimum zu beschränken, da sonst die Lebensdauer des Sensors nur unnötig verkürzt wird. Werden zum Beispiel Hülsenmundmessungen (Spitzendruckmessungen bei der Munitionsabnahmeprüfung) mit 6 000 bar Spitzendruck durchgeführt, ist es wenig empfehlenswert, den Sensor schrittweise wie bei der Abnahmeprüfung, bis 10 000 bar zu kalibrieren. Für dieses Beispiel ist es ausreichend, den 6 000 bar Punkt nachzukalibrieren, eine für die Messung störende Empfindlichkeitsänderungen könnte auch so festgestellt werden.

Um überhaupt zuverlässig kalibrieren zu können ist es aber unerlässlich, die ganze Messkette mittels Ladungsnormal oder Präzisionsladungskalibrator zu kalibrieren. Dazu gehört auch eine Überprüfung des hochisolierenden Anschlusskabels bezüglich Isolation, Kabel mit weniger als  $10^{13} \Omega$  Isolationswiderstand sollten für Kalibrierung nicht mehr verwendet werden.

Eine feldmässige Nachkalibrierung kann auch mittels des Hochdruckgenerators Typ 6905A oder des Impuls-generators Typ 6909 in Kombination mit dem Druckkalibriergerät Typ 6907A ausgeführt werden.

## 6.2 Empfehlenswerte Massnahmen

- Der Isolationswiderstand des Sensors sollte grösser  $10^{12} \Omega$  sein
- Das Gewinde des Sensors leicht mit Klüberfett Typ 1063 einfetten
- Mit der dem späteren Einsatz entsprechenden Dichtung kalibrieren
- Anzugsmoment mit der dem Einsatz entsprechenden Dichtung kalibrieren
- Anzugsmoment dem Einsatz entsprechend, aber innerhalb des vorgeschriebenen Bereiches im Normalfall 40 N·m
- Werden im Einsatz Adapter verwendet, so muss die Kalibrierung im gleichen Adapter durchgeführt werden.
- Erstbelastung beim Kalibrieren nicht als Kalibrierwert verwenden
- Periodisches Überprüfen des Referenzsensors (beim Kalibrieren mittels Vergleichsmessung z.B. mit Typ 6903A)
- Periodisches Überprüfen der kompletten Kalibriermess-kette mittels Ladungsnormal

## 6.3 Unterhalt

Der Sensor ist vollständig verschweisst; eine allfällige Reparatur kann in den seltensten Fällen ausgeführt werden, und wenn überhaupt, so nur im Herstellerwerk.

Periodische Unterhaltsarbeiten sind nicht notwendig. Empfehlenswert sind visuelle Kontrollen der Membranpartie, wie auch der Dichtpartie auf allfällige Risse oder Beschädigungen.

Sollte der Anschlussstecker verschmutzt sein, kann er mit Reinbenzin und einem sauberen Papiertuch gereinigt werden.

## 6.4 Hilfsmittel für Kalibrierung und Unterhalt

### **Kalibrierhilfsmittel:**

Hydraulischer Hochdruckgenerator bis 7 000 bar	Typ 6905A
Hydraulischer Impulsgenerator bis max. 4 000 bar	Typ 6909

### **Hilfsmittel für Unterhalt:**

Spezial Hochdrucköl für Hydraulikgenerator	Typ 1053
Spezial Schmierfett für Sensorgewinde	Typ 1063
Isolationsprüfgerät	Typ 5493

### **Montagehilfsmittel:**

Spezialbohrer	Typ 1341
Gewindebohrer M12x1	Typ 1355
Reibwerkzeug	Typ 1300A23
Drehmomentschlüssel	Typ 1300A11
Steckschlüssel SW 8	Typ 1373A1
Mauleinsatz für Typ 1300A11	Typ 1300A15
Druckkalibriergerät	Typ 6907A...