

Opto-mechanische Komponenten für die Verbrennungsanalyse

Endoskope, optische Sonden und Beleuchtung

Allgemeines

Die genauen Kenntnisse der Verbrennungsabläufe ermöglichen es, das Verbrennungsverhalten so zu lenken, dass unerwünschten Phänomene wie Klopfen, Vorentflammung oder eine ineffiziente Verbrennung minimiert werden. Optische Untersuchungen mit bildgebenden Techniken (wie beim Einsatz von Highspeed-Kameras) geben aufschlussreiche Erkenntnisse, die zum Beispiel in die CFD-Berechnungen einfließen. Die opto-mechanischen Komponenten von Kistler sind für den minimal invasiven Gebrauch entwickelt und für hohe Temperaturen und Drücke ausgelegt. Es bedarf lediglich kleiner Zugangsbohrungen zum Brennraum, oder es können existierende Zugänge wie die Glühstift- oder Zylinderdruckbohrung benutzt werden

Einsatzgebiete:

- Spray Ausbreitung
- Spray Form
- Flammausbreitung
- Vorentflammung
- Russende Verbrennung

Standard Endoskope

Die Spezialendoskope von Kistler sind für den Einsatz in Verbrennungsmotoren entwickelt. Neben der kompakten Bauweise ist besonders auf die Hitzebeständigkeit geachtet worden und dass ein möglichst großer Bereich des Brennraums beobachtet werden kann. Um den hohen brennraumnahen Temperaturen standzuhalten, werden die Optikkomponenten an der Spitze temperaturfest verklebt. Eine Luftkühlung kann an der standardmäßigen Druckluftversorgung angeschlossen werden. Trotz der vorhandenen Kühlung müssen die Endoskope zusätzlich durch ein Glas geschützt werden, welches die hohen Verbrennungstemperaturen und -drücke von der Optik fernhält.



Endoskopspitze: Optik mit Luftkühlungs-Austritt in axialer Richtung



Endoskop mit Durchmesser 6,5 mm und Standardlänge 300 mm.

Abmessungen und Merkmale:

Durchmesser:	4,0 mm, 6,5 mm, 8,0 mm
Länge:	300 mm
Transmissionsbereich:	380 nm - 1700 nm
Blickrichtung:	0°
Öffnungswinkel:	80°
Tmax:	150°C
Kühlmittel:	Luft
Option:	Thermoelement



Spraybild einer Direkteinspritzung.

Beleuchtungssonden

Wenn neben der Eigenstrahlung der Verbrennung auch der Einspritzstrahl aufgenommen werden soll, werden Beleuchtungssonden benötigt, an die wiederum eine leistungsstarke Lichtquelle angeschlossen wird. Die Größe und Anordnung ist entscheidend für die Qualität der Bildaufnahmen. Das Streulichtverfahren, bei dem aus einer Richtung beleuchtet und aufgenommen wird, ist eine weit verbreitete Methode um den Einspritzstrahl bildlich zu erfassen. Die Beleuchtungssonden werden optional mit einem Anschluss zur Luftkühlung versehen. Durch die höhere Temperaturbeständigkeit ist es nicht zwingend notwendig eine Luftkühlung der Beleuchtungssonden vorzusehen. Liegt die Sonde entfernt von den Kühlwasserkanälen des Zylinderkopfes ist eine Luftkühlung zu empfehlen.



Beleuchtungssonde mit zentraler Luftkühlung

Abmessungen und Merkmale:

Durchmesser: 4,0 mm, 6,5 mm, 8,0 mm
 Länge: variabel (300 mm standard)
 Öffnungswinkel: 90°
 Tmax: 250°C
 Option: Luftkühlung
 Option: Thermoelement

Bei der Dimensionierung der optischen Zugänge zum Verbrennungsraum für Endoskop und Beleuchtung sollte die größtmögliche Variante gewählt werden. Je größer die optischen Durchmesser sind, umso besser wird die Bildqualität aus dem Motor. Bei Verwendung einer Beleuchtungssonde mit 8,0 mm Innendurchmesser und einem 8,0 mm Endoskop lassen sich Hochgeschwindigkeitsaufnahmen mit einer Belichtungszeit von 1 µs erzielen.



8,0 mm Beleuchtungssonde mit 4 Lichteinspeisungen

In Abhängigkeit des optischen Durchmessers der Beleuchtungssonden kommen unterschiedliche Ausführungen zum Einsatz. Um ausreichend Licht zur Beleuchtung einspeisen zu können, wird Licht über ein, zwei oder vier Koppelstellen eingeleitet. Besonders bei den größeren Zylinderdurchmessern sind zwei bzw. vier Koppelstellen notwendig. Die Standardausführungen sind auf die Kistler Beleuchtungseinheiten LED-P40, Led-P80 und LED-P160 abgestimmt (Datenblatt LED-P40_003-414e).

Beleuchtungssonde Außendurchmesser	Empfohlene Anzahl von Lichteinspeisungen	Lichtquelle
4,0 mm	2	LED-P80
6,5 mm	2	LED-P80
8,0 mm	4	LED-P160



Beleuchtungssonde mit Lichtquelle LED-P40, ohne Luftkühlung.

Schutzfenster – Optische Sonden

Zum Schutz der empfindlichen Endoskope und Beleuchtungssonden sind Schutzfenster zum Brennraum unerlässlich. Sie schützen die Optik vor den hohen Verbrennungsdrücken und -temperaturen. Die optischen Fenster sind an der Spitze einer soliden Metallhülse eingebracht, die brennraumbündig im Zylinderkopf verschraubt werden. Um die Transmission in einem breiten Wellenlängenfenster zu gewährleisten, kommt als Material Saphir zum Einsatz.



Sonde mit optischen Fenster

In der Standardausführung sind die optischen Sonden für die Aufnahme von Endoskopen und Beleuchtungssonden ausgelegt. Am Schaftende befinden sich Radialbohrungen, an denen die Kühlluft in die Umgebung abgeführt wird.

Abmessungen und Merkmale:

Innendurchmesser: 4,0 mm, 6,5 mm, 8,0 mm
 Aussendurchmesser: 6,5 mm, 9,0 mm, 10,5 mm
 Länge: variabel (293 mm standard)
 Aussen-Geometrie: individuell, je nach Motor
 Tmax: 350°C
 Pmax: 250 bar

Endoskop Außendurchmesser	Optische Sonde Außendurchmesser	AIO-Sonde Außendurchmesser	Anzahl der Lichteinspeisungen
4,0 mm	6,5 mm	8,5 mm	1 – 2
6,5 mm	9,0 mm	11,5 mm	2
8,0 mm	10,5 mm	---	4

Dimensionen von Endoskopen und optischen Sonden

All-In-One Sonde

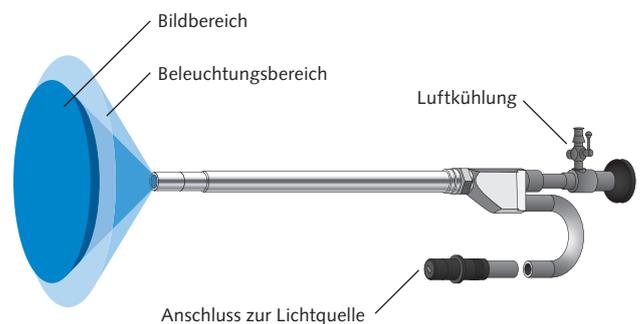
Eine Besonderheit der optischen Sonden von Kistler ist die All-In-One Sonde (AIO-Sonde), bei der zur Beleuchtung und Bildaufnahme nur noch ein Zugang zum Brennraum notwendig ist. Der Lichtpfad ist dabei vom Bildpfad getrennt. Hierdurch werden Reflektionen am Schutzfenster des Endoskops verhindert. Die Beleuchtung wird über einen Ring am Sondenrand vorgenommen.



AIO-Sonde mit Endoskop

Abmessungen und Merkmale:

Innendurchmesser: 4,0 mm, 6,5 mm
 Außendurchmesser: 8,5 mm, 11,5 mm
 Länge: 300 mm
 Kühlmedium: Luft
 Öffnungswinkel optische Sonde (Beleuchtungskegel): 90°
 Öffnungswinkel Endoskop (Aufnahmekegel): 80°
 Anzahl Lichteinspeisungen: 1 oder 2
 Tmax: 300°C
 Pmax: 150 bar



AIO-Sonde mit Beleuchtungskegel (hellblau) und Aufnahmekegel (blau)

003-456d-07.19

Systemvergleich - Auswahlkriterien

Die richtige Auswahl der optischen Komponenten ist entscheidend für die Bildqualität bei der minimal invasiven Messtechnik. Ausgehend vom Einsatz einer All-In-One Sonde mit einem 4,0 mm Endoskop lassen sich durch Einsatz von größeren Optiken noch bessere Ergebnisse erzielen.

AIO- Sonde Innendurchmesser	Anzahl Lichteinspeisungen	Bildqualität
4,0 mm	1	100 %
4,0 mm	2	130 %
6,5 mm	2	300 %

Bildqualität verschiedener AIO-Sonden



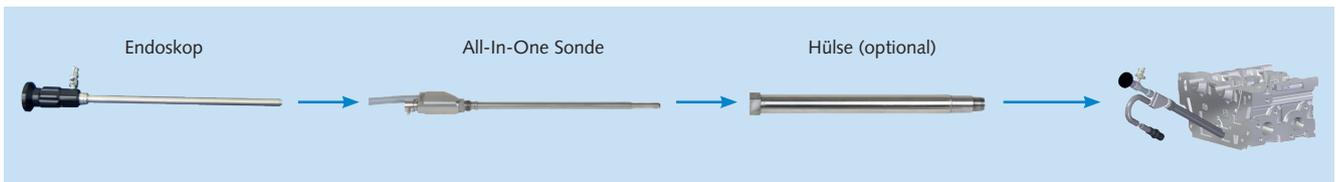
AIO-Sonde mit 2 Lichteinkopplungen und Endoskop.

Wenn die Möglichkeit eines zweiten optischen Zugangs zum Motorbrennraum besteht, lässt sich die Bildqualität nochmals erhöhen. Auch wenn es technisch anspruchsvoller ist, sollte diese Anordnung bedacht werden. Bei immer kompakteren Brennräumen mit beschränkten Zugangsmöglichkeiten ist dies aber nicht immer möglich. Im Vergleich zur All-In-One Anwendung kann durch den zweiten Zugang für die Beleuchtungssonde mehr Licht in den Brennraum einleitet werden. Ausgehend von 100 % Ausbeute mit der AIO-Sonde und 4,0 mm Endoskop lassen sich erhebliche Steigerungen erzielen, die eine noch bessere Bildqualität zur Folge haben.

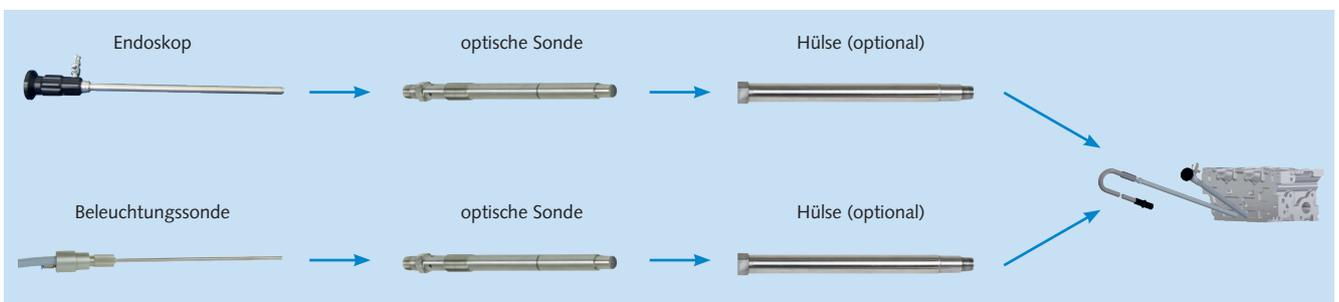
Endoskop- Außendurch- messer	Außendurchmesser der Beleuchtungssonde/ Anzahl der Einkopplungen			
	4,0 mm/1	4,0 mm/2	6,5 mm/2	8,0 mm/4
4,0 mm	125 %	160 %	320 %	640 %
6,5 mm	160 %	200 %	390 %	780 %
8,0 mm	215 %	280 %	560 %	1120 %
Bildqualität (100% = AIO-Sonde mit 4,0 mm Endoskop)				

Verbesserung der Bildqualität einzelner Endoskope in Abhängigkeit der Anzahl Lichteinkopplungen

Messaufbau für AIO-Sonde



Messaufbau für getrennte Sonden



003-456d-07.19

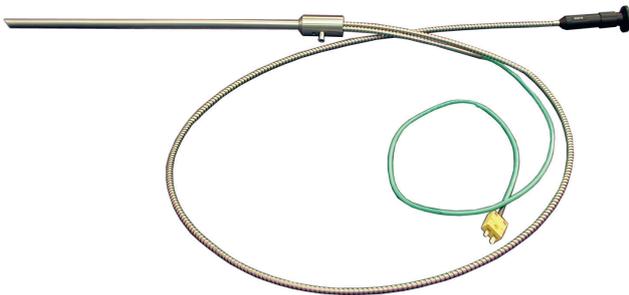
Spezialendoskope und optische Sonden

Das Anwendungsfeld minimal invasiver optischer Messtechniken hat sich in den letzten Jahren so breit entwickelt, dass sich synchron zu den Kamertechnologien, die optischen Komponenten den neuen Herausforderungen angepasst werden mussten. Die Sonden und Endoskope sind zum Beispiel für unterschiedlichste Wellenlängenbereiche verfügbar. Aber auch die Funktionalität der Optiken hat sich im Laufe der Zeit stark diversifiziert.

UV-Endoskopie

Die meisten optischen Untersuchungen an Verbrennungsmotoren werden im sichtbaren Wellenlängenspektrum (380 nm – 780 nm) vorgenommen. Es gibt aber auch Prozesse, bei denen Strahlungen auftreten, die für das menschliche Auge nicht sichtbar sind. Ein Beispiel hierfür ist die Flammenfront im Ottomotor, bei der hauptsächlich Strahlung im UV-Bereich um 307 nm abgegeben wird.

Industrielle Optiken, wie sie in Endoskopen verbaut werden, sind nicht in der Lage diese Strahlungen zu erfassen. Kistler bietet auch für diesen Einsatzbereich Spezialendoskope an. Es werden Optiken aus speziellen Materialien (Quarz) verbaut, die eine Transmission im UV-Bereich gewährleisten. Diese Endoskope werden als UV-Endoskope bezeichnet und sind in starrer und flexibler Ausführung erhältlich.



Flexibles UV-Endoskop mit Luftkühlung und Thermoelement

Einsatzgebiete:

- Flammenausbreitung im Ottomotor
- Klopfortbestimmung
- Spektroskopie

Abmessungen und Merkmale:

Durchmesser:	4,0 mm (flexibel oder starr), 6,5 mm (starr)
Länge:	300 mm
Transmissionsbereich:	190 nm – 1100 nm
Blickrichtung:	0°
Öffnungswinkel:	80°
Tmax:	150°C
Kühlmedium:	Luft
Option:	Thermoelement

NIR-Endoskopie

Nicht nur UV-Wellenlängen sondern auch Wellenlängen oberhalb des sichtbaren Bereiches, der sogenannte Nah-Infrarot-Bereich (NIR), sind bei der Endoskopie von Interesse. Ein Einsatzgebiet ist zum Beispiel die Temperaturbestimmung von Brennraumkomponenten mittels Spezialkameras. Um auch in diesem Wellenlängenbereich eine gute Durchlässigkeit zu gewährleisten, hat Kistler NIR-Endoskope im Programm.



Luftgekühltes 6,5 mm NIR-Endoskop (optimiert für 900 nm – 1700 nm)

Einsatzgebiete:

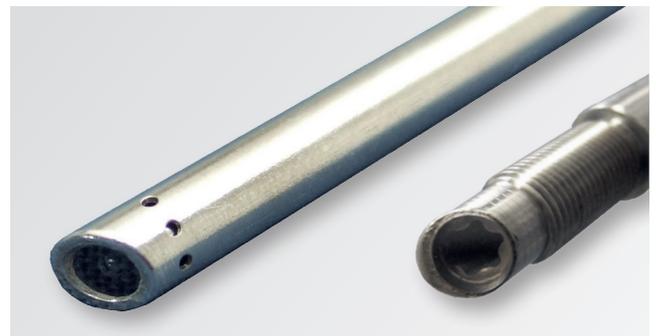
Temperaturbestimmung von Brennraumkomponenten und Katalysatoruntersuchungen

Abmessungen und Merkmale:

Durchmesser:	4,0 mm, 6,5 mm, 8,0 mm
Länge:	300 mm
Transmissionsbereich:	380 nm – 1700 nm
Blickrichtung:	0°
Öffnungswinkel:	80°
Tmax:	150°C
Kühlmedium:	Luft
Option:	Thermoelement

Sonderformen

Da nicht immer alle relevanten Bereiche des Brennraums mittels Standardendoskop erfasst werden können, bietet Kistler Sonderformen an, mit denen auch unzugängliche Bereiche beobachtet werden können. Die Spitzen der Endoskope und der optischen Sonden sind abgewinkelt und ermöglichen eine entsprechende Blickrichtung.



Endoskop und optische Sonde mit 30° abgewinkelter Optik



Endoskop und optische Sonde mit 70° abgewinkelter Optik

Einsatzgebiete:

Einspritzstrahl-Untersuchungen
Einlasstrakt-Untersuchungen

Abmessungen und Merkmale von Endoskopen:

Durchmesser: 4,0 mm und 6,5 mm
Länge: 300 mm
Transmissionsbereich: 380 nm – 1700 nm
Blickrichtung: 30°, 45° und 70°
Öffnungswinkel: 70°
Tmax: 150°C
Kühlmedium: Luft

Abmessungen und Merkmale von optischen Sonden:

Durchmesser: 8,5 mm und 10,5 mm
Länge: variabel (293 mm standard)
Außengeometrie: individuell, je nach Motor
Tmax: 350°C
Pmax: 250 bar