



IFT Institute for Production Engineering
and Photonic Technologies

Univ.Prof. DI Dr. techn. habil. Friedrich Bleicher



PRÄZISIONSWERKZEUGE
FÜR DIE SPANENDE FERTIGUNG

Die Kunst der Herstellung nicht gerader Bohrungen

IFT Institut für Fertigungstechnik und Photonische Technologien
Univ. Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. habil. Friedrich Bleicher

26.02.2019



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN



Titel?

„Die Kunst der Herstellung nicht gerader Bohrungen“

→ eine Bohrung ist immer „nicht gerade“.

German curved barrel (1944 – 1945)



McCollum, Ian (4 September 2014). "Krummlauf Curved Barrel on an StG-44". Forgotten Weapons. 2018.

Gezielte Herstellung nicht gerader Bohrungen



Wer braucht´s?



Maschinenbau

Sondermaschinenbau
Powertrain
Formen- und Werkzeugbau, ...

Bauingenieurwesen

Tunnelbau
Bergbau
Tiefbau



nicht gerade Bohrungen



Medizin

minimal invasive OP
Knochenbohren

Prozessindustrie

Reaktoren
Wärmespeicher
Ölfeldindustrie

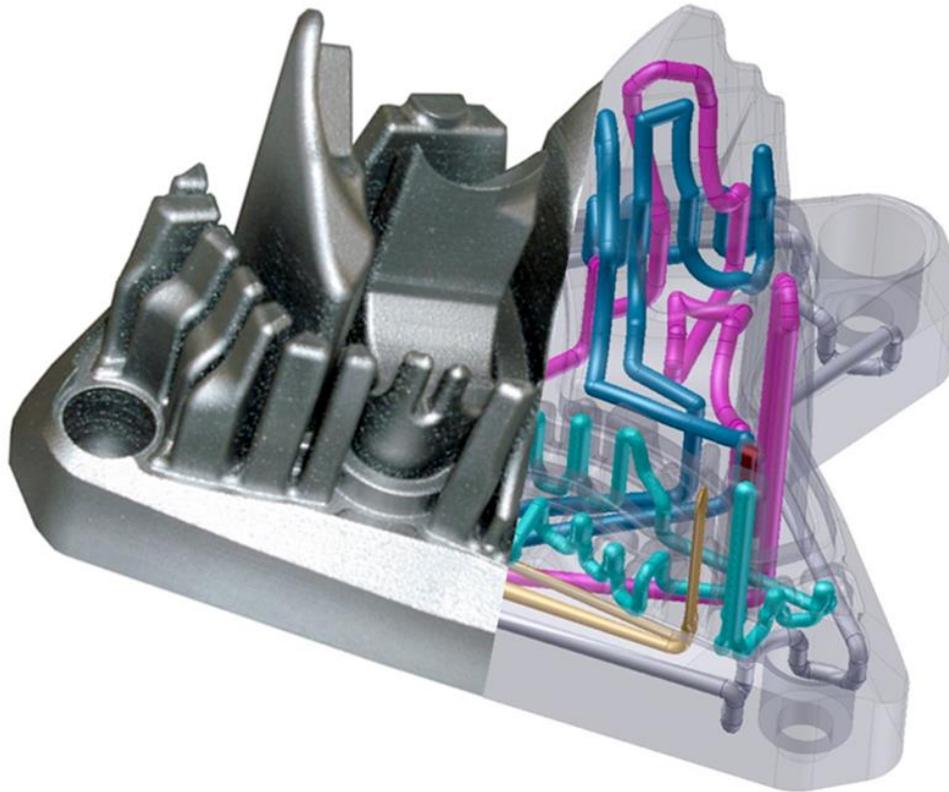


Die „einfache“ Variante



„Die Kunst der gezielten Herstellung nicht gerader Bohrungen“

Additive Fertigung



Renishaw

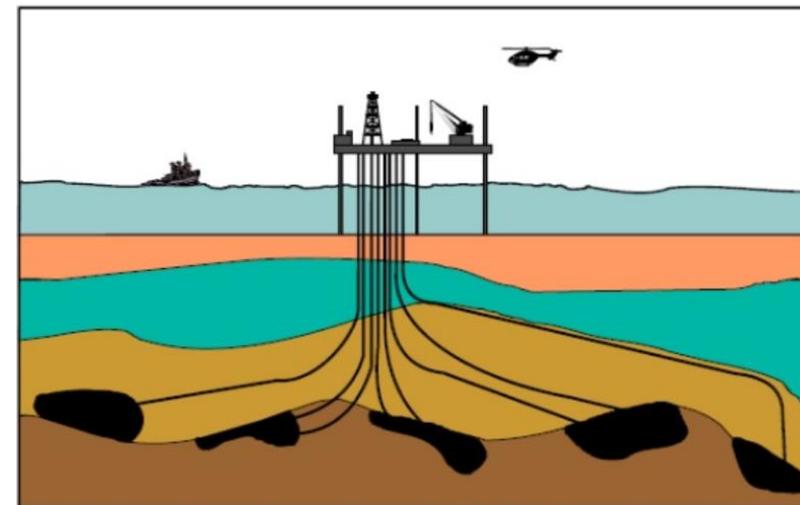
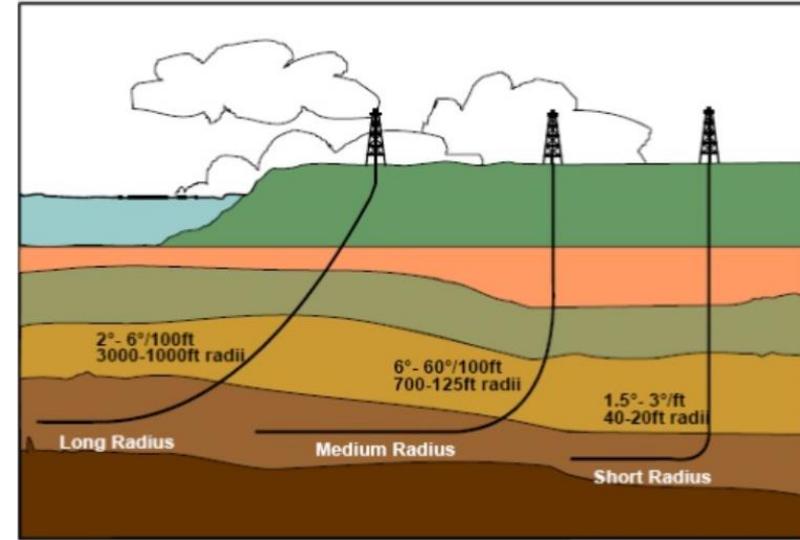
Hirtisieren: automatisiertes Entfernen von Stützstrukturen auch an Innen-Kontouren



Ölfeld-Industrie „directional drilling“



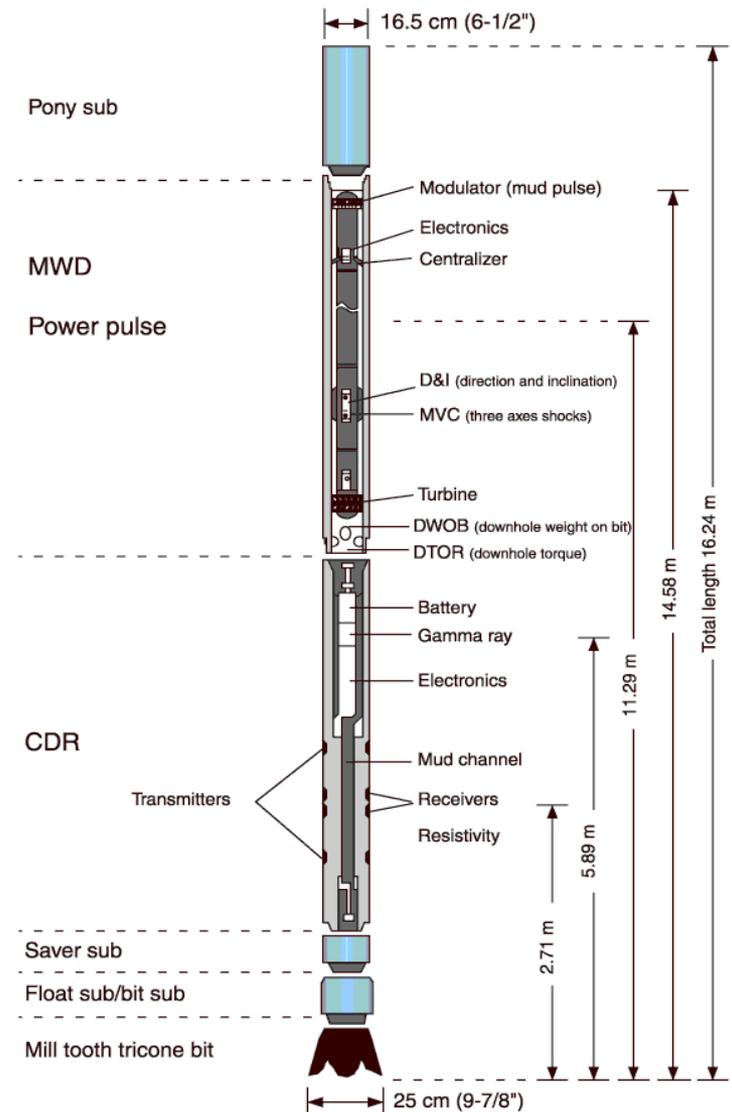
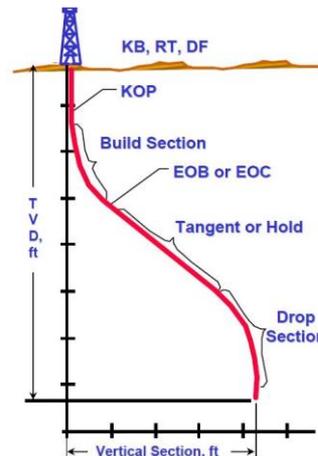
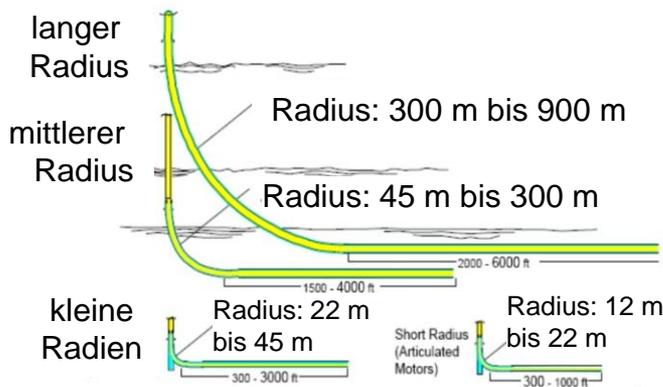
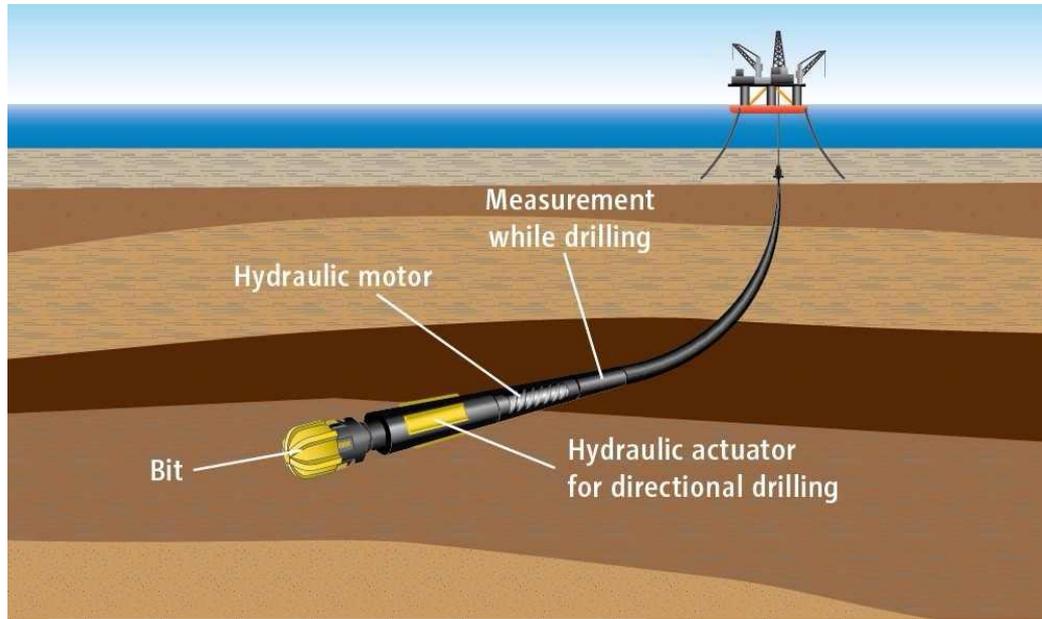
- Längen- zu Durchmesser Verhältnis $L/D \approx 5 \cdot 10^4$



Ölfeld-Industrie „directional drilling“



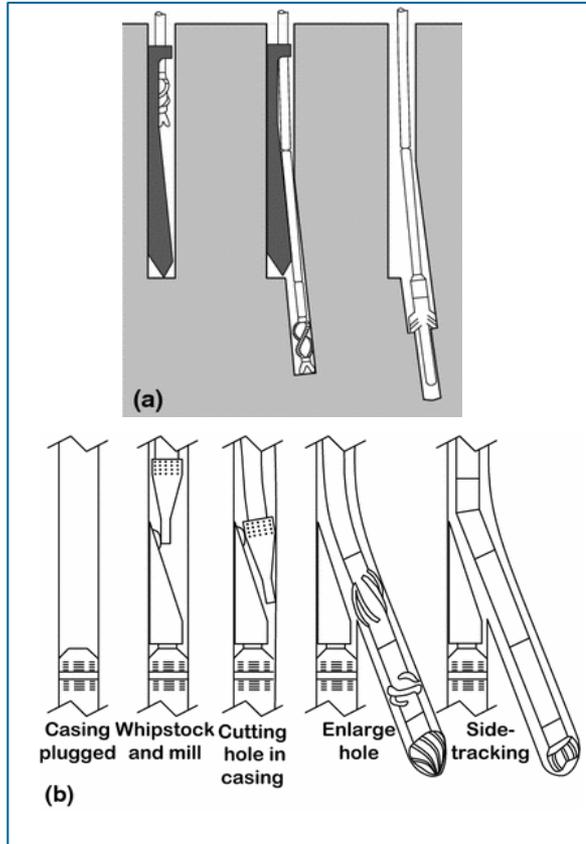
■ Längen- zu Durchmesser Verhältnis $L/D \approx 5 \cdot 10^4$



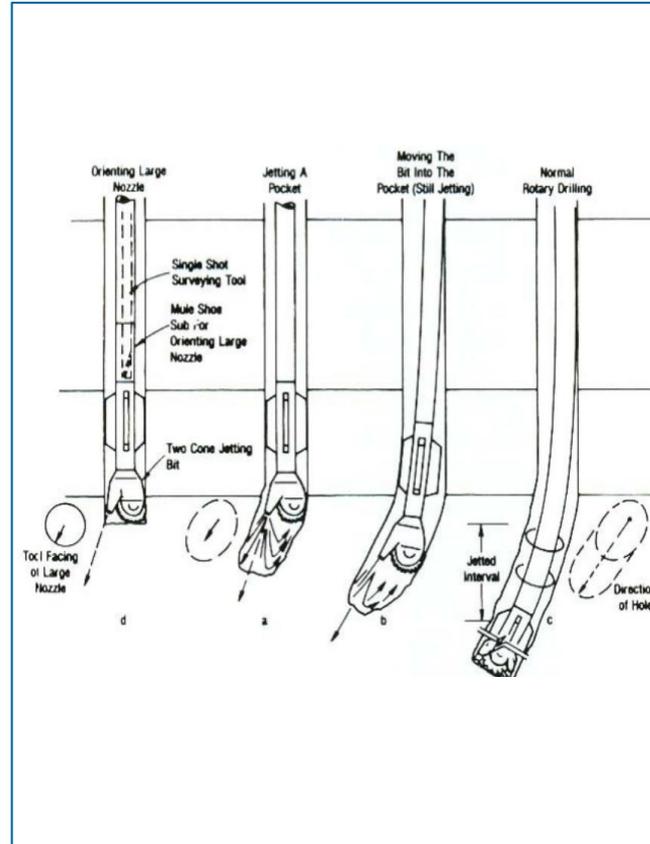


■ Verfahren

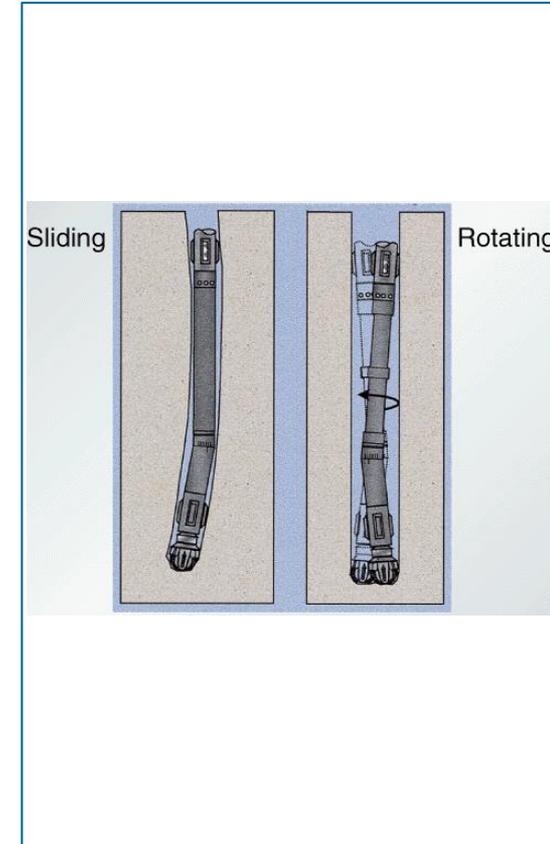
Whipstock



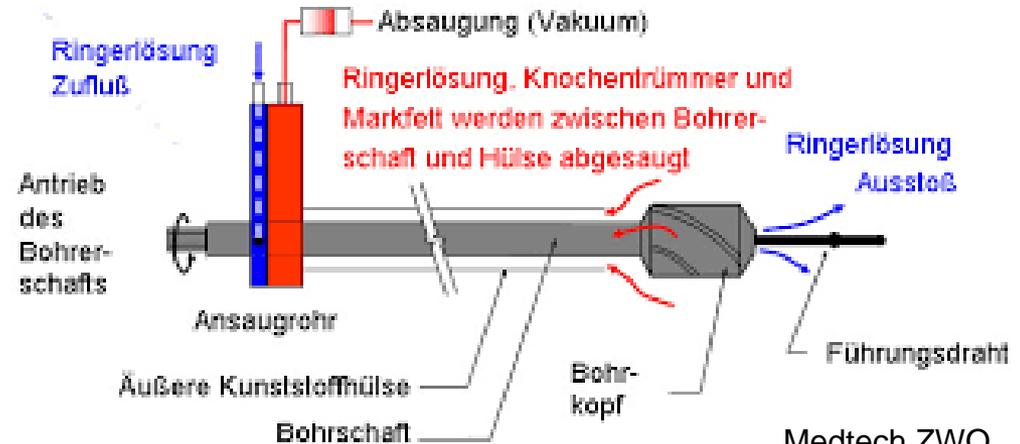
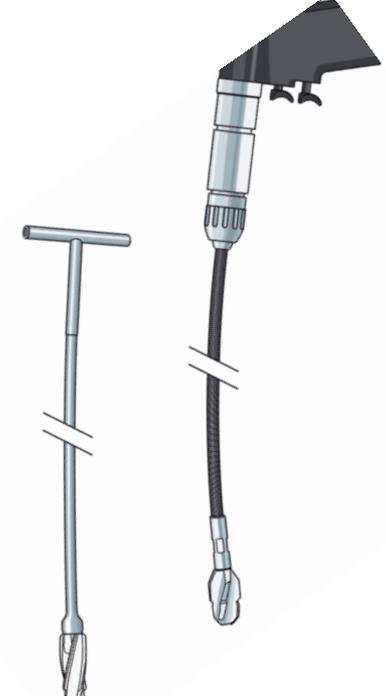
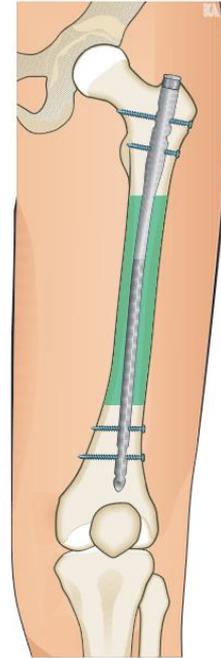
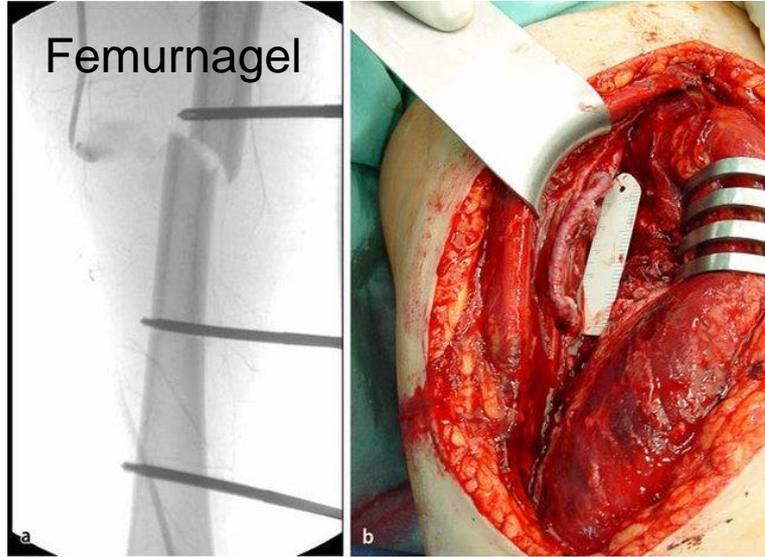
With fluid nozzle



Steerable motor



Medizintechnik - antegrader Femurnagel





Was Sie schon immer – nicht – wissen wollten!

Ölfeldindustrie



Medizintechnik

Bohrköpfe

Größen von 9,0 mm bis 17,0 mm,
in 0,5 mm Schritten

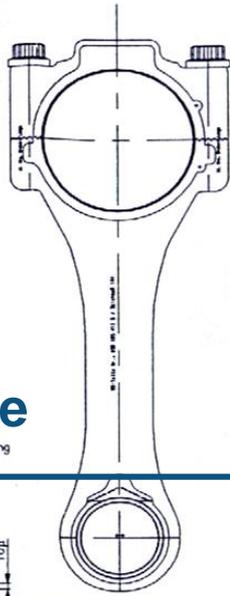
Ø mm	Best.Nr
9.0	172090
9.5	172095
10.0	172100
10.5	172105
11.0	172110
11.5	172115
12.0	172120
12.5	172125
13.0	172130
13.5	172135
14.0	172140
14.5	172145
15.0	172150
15.5	172155
16.0	172160
16.5	172165
17.0	172170



Tiefbohren Pleuelbearbeitung kleines Auge

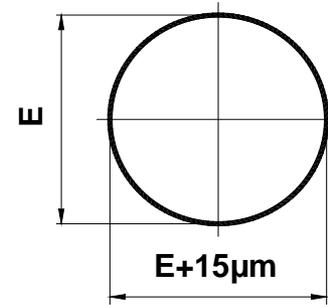
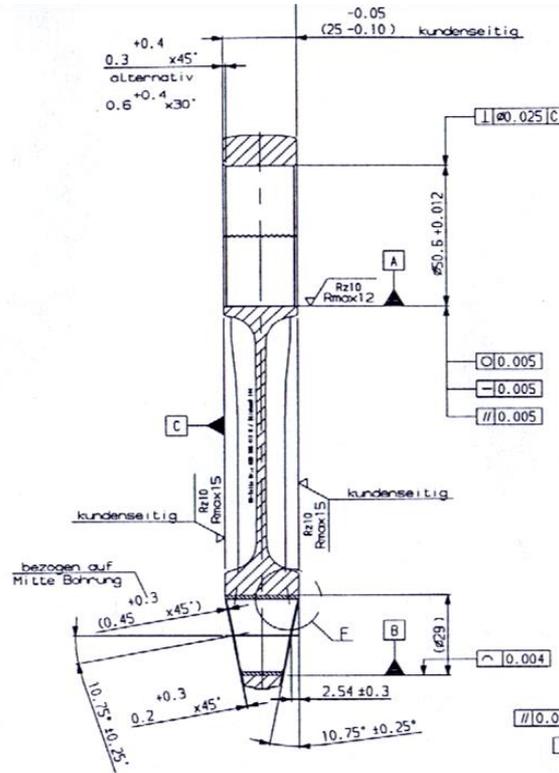
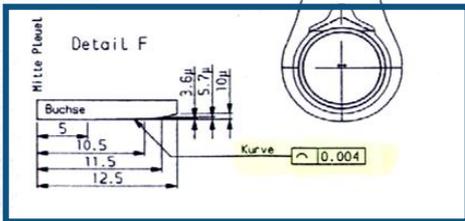


Quelle: Krauseco, Daimler



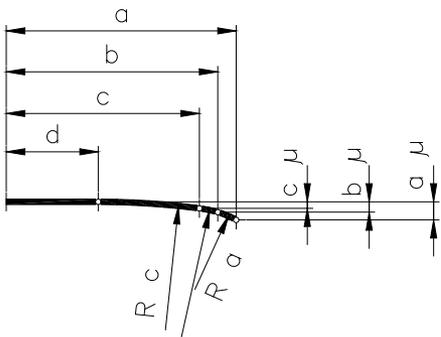
Trompete

Bearbeitungsvorschrift Formbohrung (ohne Maßstab)



Oval

MERKMAL	TOLERANZ	EINZUHALTEN	zu ERREICHEN
Durchmesser	6 µm	messgesteuert (Cmk 2,0)	2,0 µm
Rauheit	Rz 6,3	Cmk 2,0	2,1 µm
Rundheit	3 µm	Cmk 2,0	1,0 µm



Tiefbohren - Einfluss auf die Mittenabweichung



Einflüsse

Arbeitsweise

Werkzeug rotiert
Werkstück rotiert
Werkzeug und Werkstück im Gegenlauf

Maschinenzustand

Fluchtung
Bohrbuchse
Spannelemente
Lünette

Mittenabweichung

Werkzeug

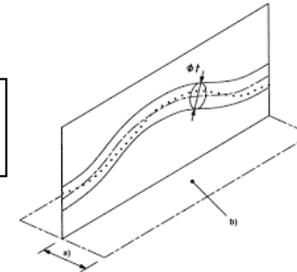
Verschleiß
Steifigkeit
Geometrie
Schneidstoff
Führungsleisten

Werkstück

Werkstückstoff
Gefügestruktur
Form und Wandstärken
Dyn. und stat. Steifigkeit
Eigengewicht, Durchhang
Unwucht, Rundlauf

Schnittbedingungen

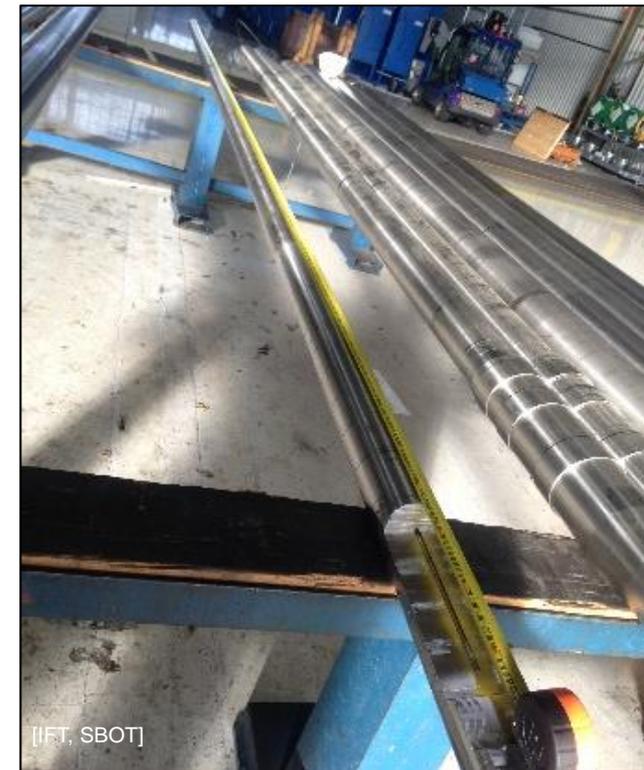
Schnittgeschwindigkeit
Vorschub
Kühlschmierstoff
Anbohrzustand (Pilotbohrung)



Prozessphasen des Tiefbohrens 1



Bohren		Effekte
ohne Lünette	mit Lünette	
<p>Bohrphase 0: Bohrschaftauslenkung ohne Bohrbuchse</p>		<p>Auslenkung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ y_{FG} infolge Eigengewicht ▪ y_{Fl} infolge der Fliehkraft
<p>Bohrphase 1: Abstützung des Bohrkopfes in der Bohrbuchse</p>		<p>Auslenkung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ y_{Fl} infolge der Fliehkraft
<p>Bohrphase 2: Erster Kontakt der Schneidenspitze mit dem Werkstück</p>		<p>Auslenkung</p> <ul style="list-style-type: none"> ▪ y_{Ff} infolge der Vorschubkraft ▪ y_{RV} infolge des Führungsleistenrückversatzes

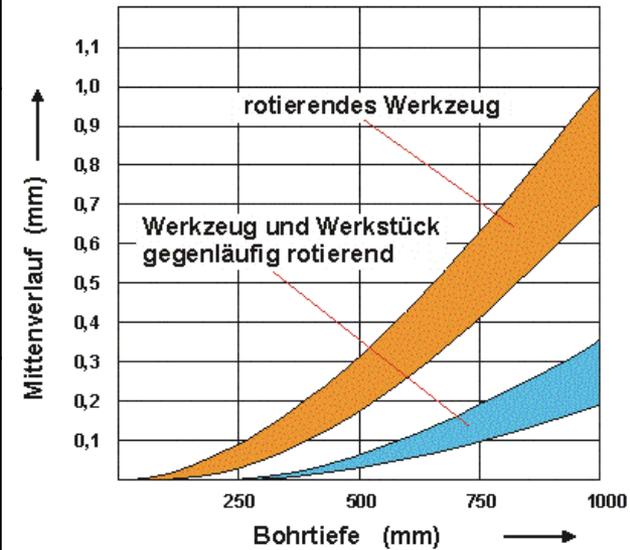


Quelle: Sandvik

Prozessphasen des Tiefbohrens 2



Bohren		Effekte
ohne Lünette	mit Lünette	
<p>Bohrphase 3: Bohrkopf innerhalb des Werkstückes</p>		Δf Vorschub- änderung
<p>Bohrphase 4: Bohrkopf und Bohrerschaft im Werkstück</p>		F_G Eigengewicht
<p>Bohrphase i: Inhomogenität im Werkstückstoff</p>		

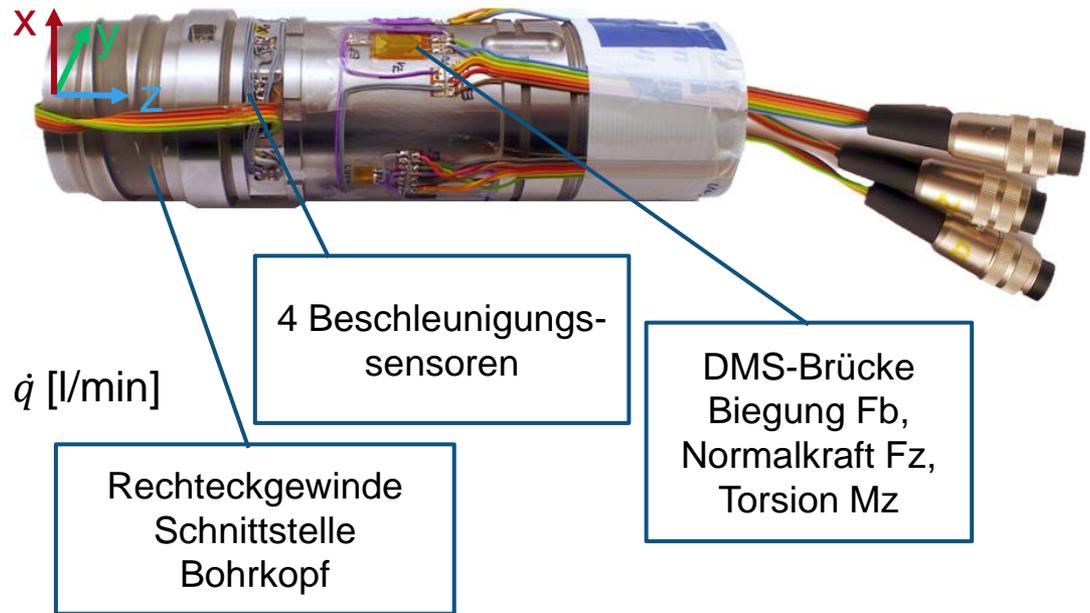


Quelle: Sandvik

In-Prozess Messung zur Prozessbeherrschung



- Bohrungsverlauf x,y [mm]
- Drehmoment M [Nm]
- Vorschubkraft F_z [N]
- Antriebsleistung P [kW]
- Körperschall Ampl. F_{ks} [kHz]
- Beschleunigung, F_{bs} [Hz]
- Öl-Druck p [bar] bzw. Durchfluss q [l/min]
- Drehzahl n [U/min]
- Vorschub f [mm/min]



- Bohrkopf
- Sensorischer Bohradapter
- Abdeckung
- Messleiter
- VDI40 Adapter mit Spankanal
- KSS Versorgung

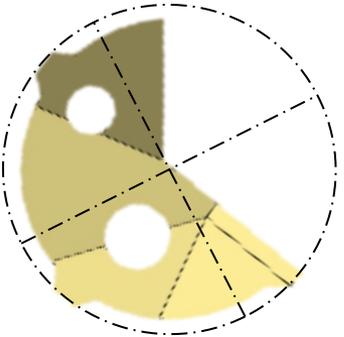
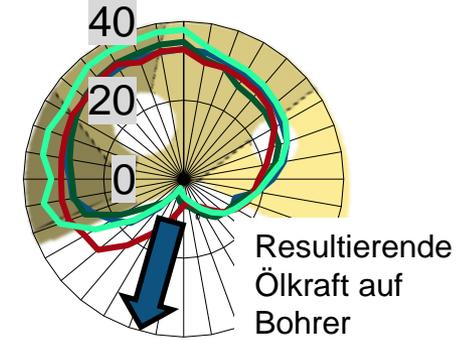
Fluidkräfte – CFD-Simulation



■ Kühlschmiermittelpulsationen

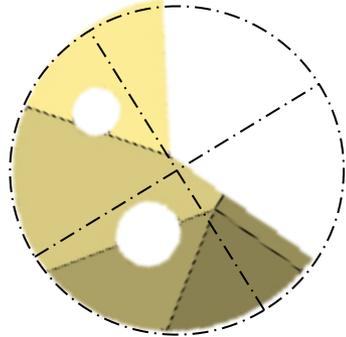
■ Einfluss der Bohrer-Geometrie auf Druckverteilung

Druckverlaufsmessung in [bar]



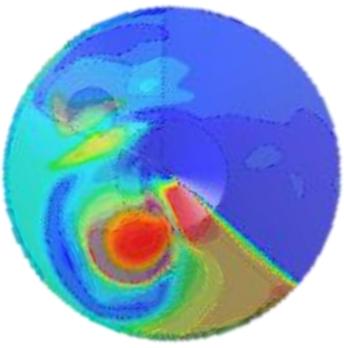
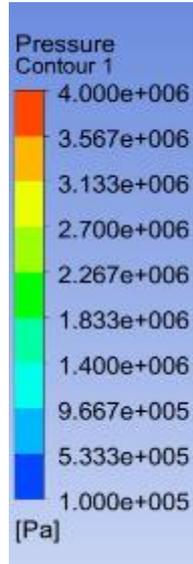
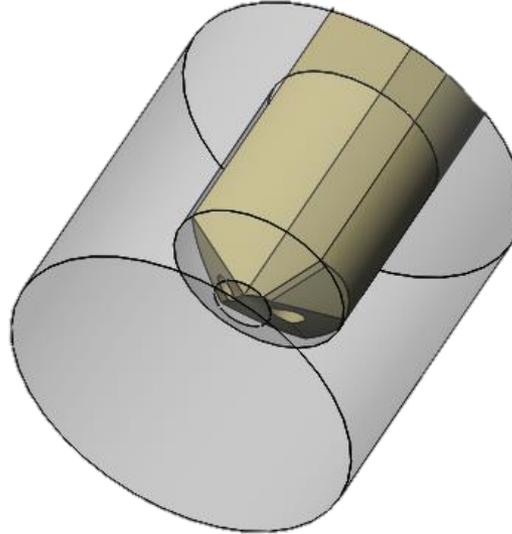
Modell 1

mit Führungsfasern

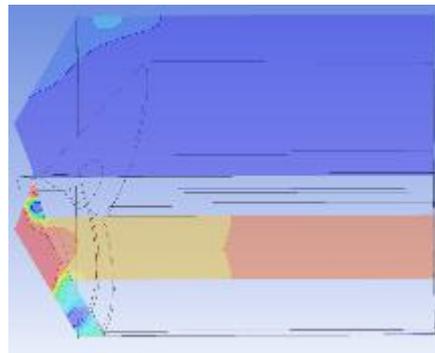


Modell 2

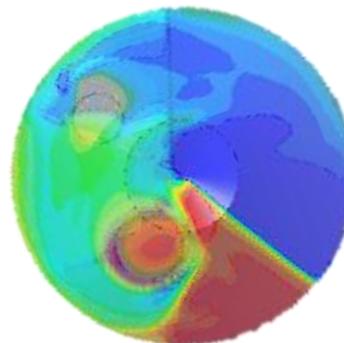
ohne Führungsfasern



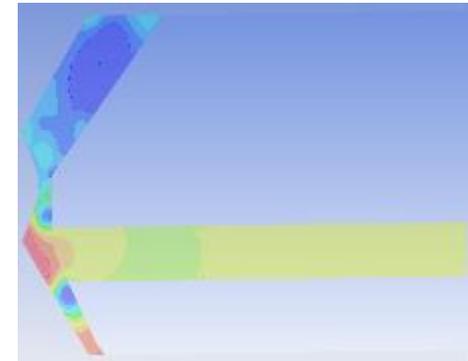
Modell 1



Seitenansicht



Modell 2



Seitenansicht

Beeinflussung über Fluidkräfte (ELB)



■ Kühlschmiermittelpulsationen

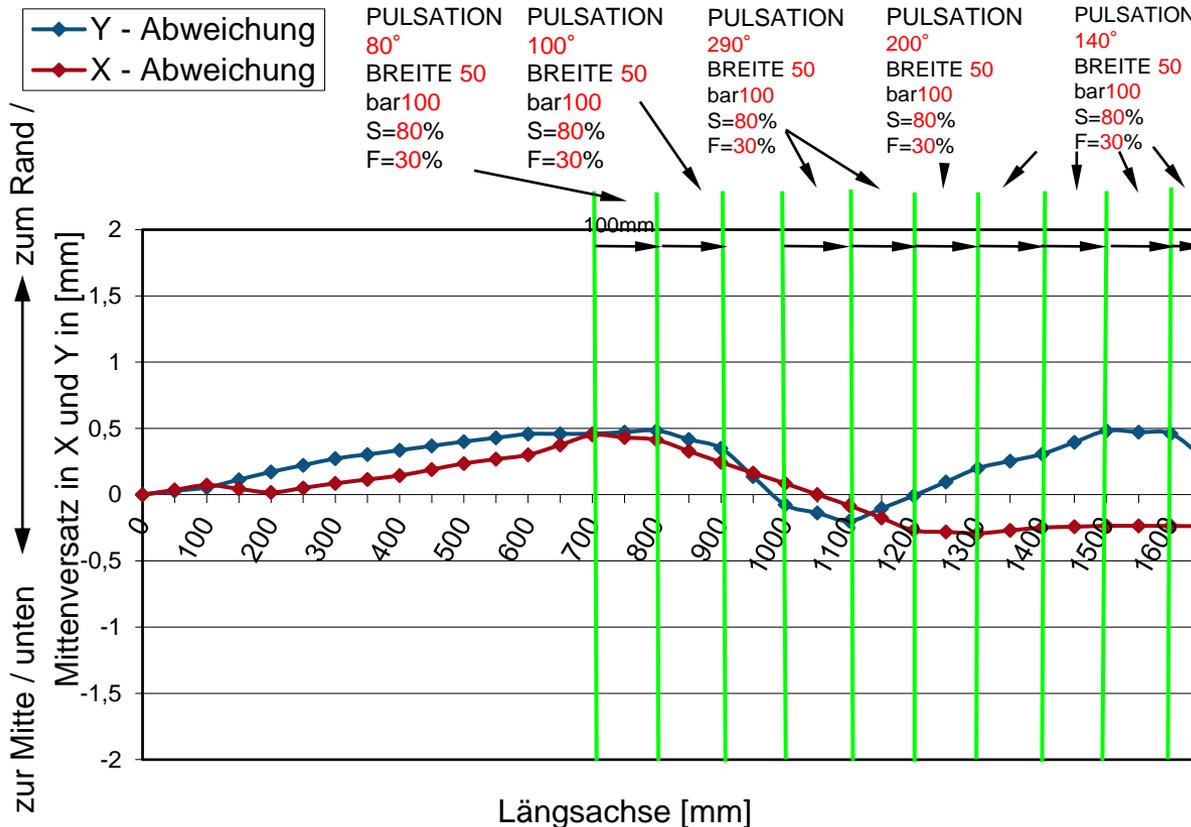
Bohrungsdurchm.: 6,35 mm

Bohrungslänge: 1680 mm

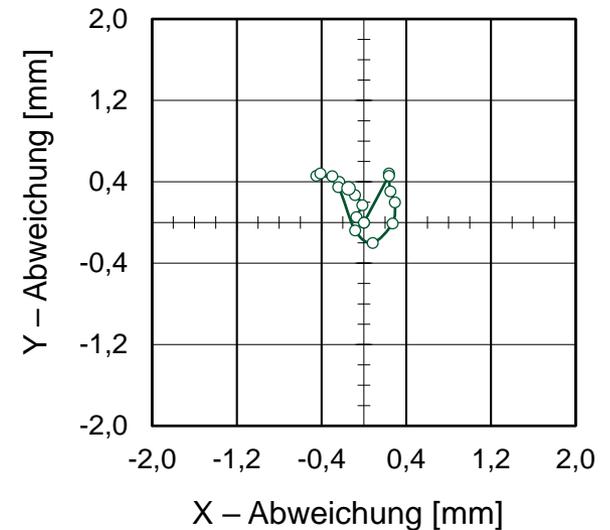
➔ Mittenverlauf (max.) 0,5 mm

Arbeitsparameter

Drehzahl	n in [min ⁻¹]	1755
Schnittgeschw.	v _c in [m/min]	35
Vorschub	f in [mm/U]	0,02
Vorschubgeschw.	v _f in [mm/min]	35,1
Bohrdurchmesser d	in [mm]	6,35
KSS-Zufuhr	Q in [l/min]	20,0



Verlauf 6,35mm Bohrung



Beeinflussen des Bohrungsmittenverlaufes



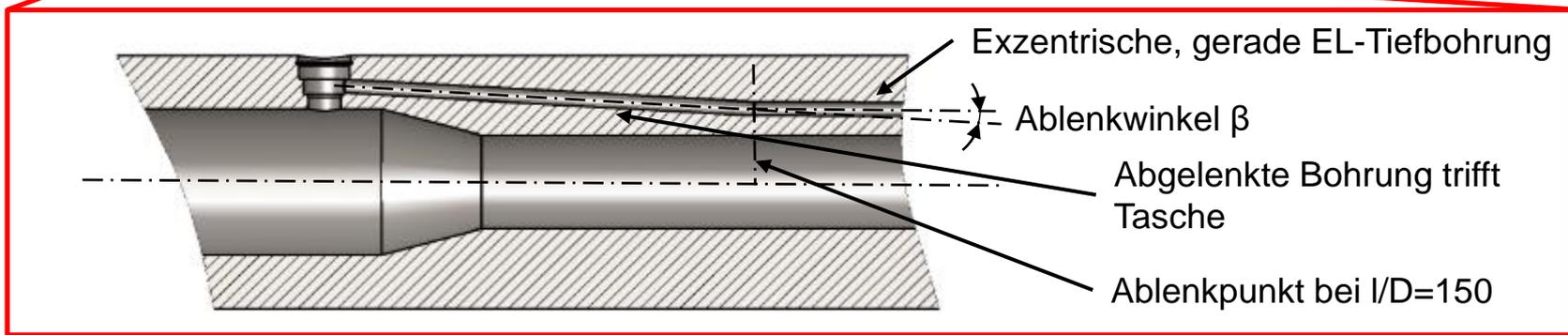
- gesteuertes Einlippen-Tiefbohren durch KSS-Pulsation
- gezieltes Ablenken des Bohrungsvlaufes

Erodierbeginn an Schulter, DM = 3/8" - ca. 9,5 mm
Genauigkeit ca. +/- 1 mm in beiden Achsen
Straight gun hole length: 76" - 1.930 mm
Angular deviation ca. 3°
Gesamtlänge von gun hole: 2.285 mm
Tasche Funktion: Sensortasche



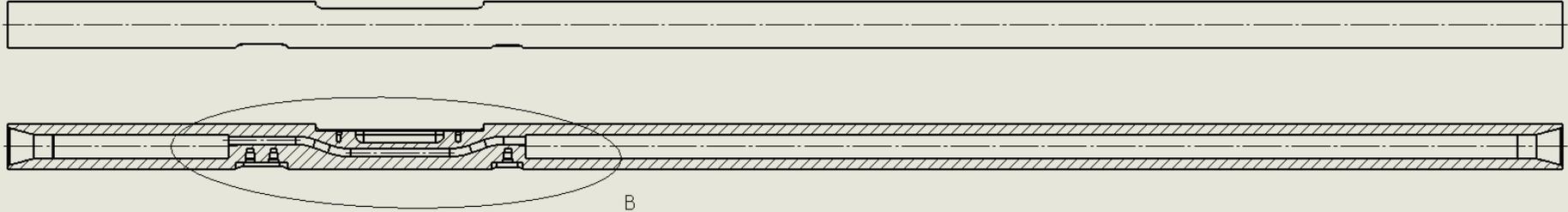
Pulsationssteuerung mit Ultraschall-Messsystem

Versuchstand zum gesteuerten ELB-Bohren mit Multi-Sensor- μ P-Steuerung

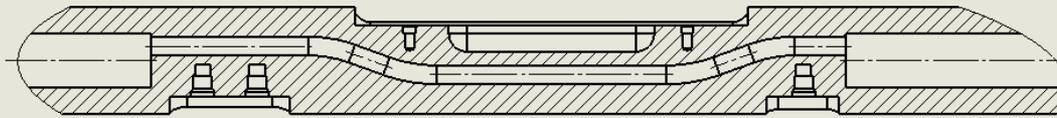




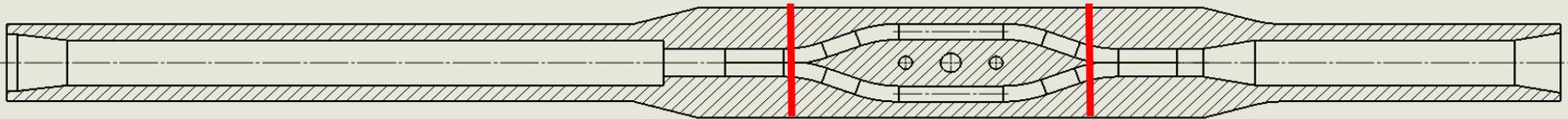
Mögliche Bauteilformen



Bisher nur mit „Stub Welding“ möglich



DETAIL B
MAßSTAB 1 : 5



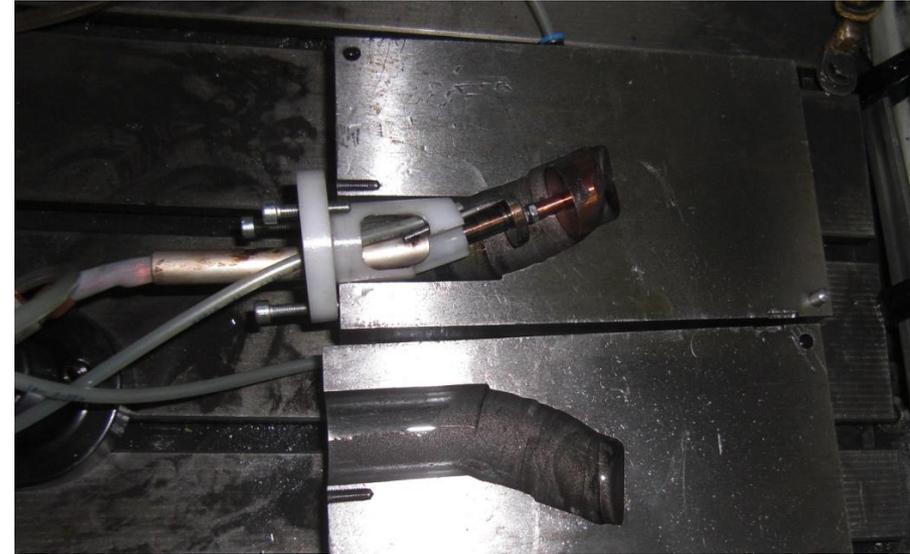
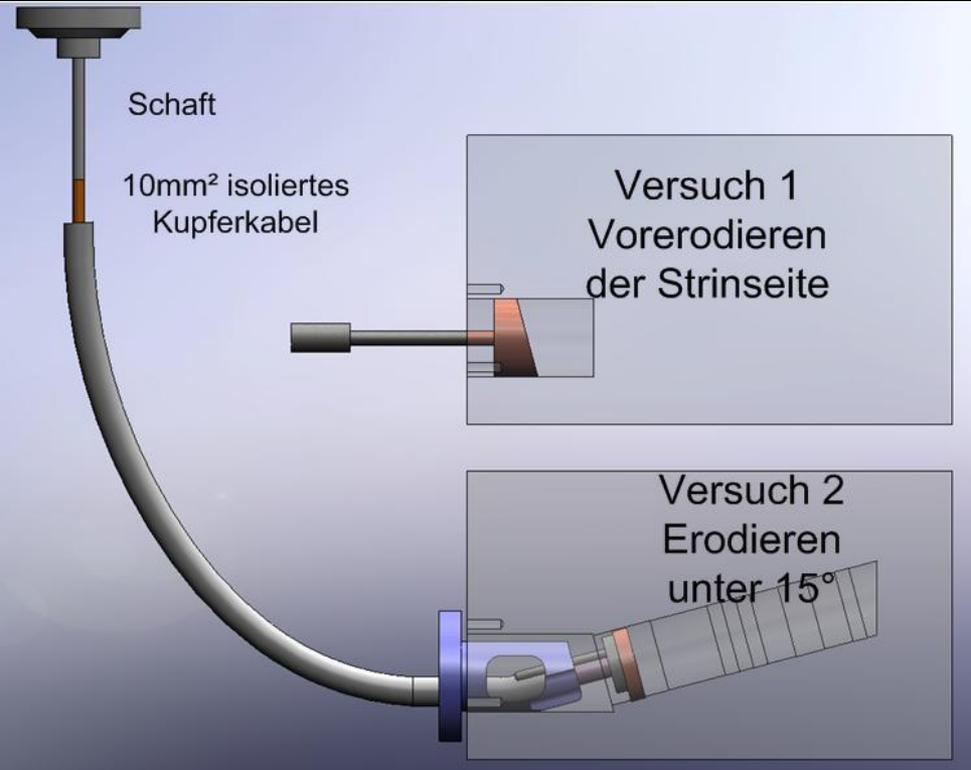
SCHNITT A-A

Mögliche Schweißbereiche bei konventioneller Fertigung

Gooseneck Drilling – Konzept (EDM)



System mit fixer Vorrichtung



Parallelkinematischer Bewegungsapparat

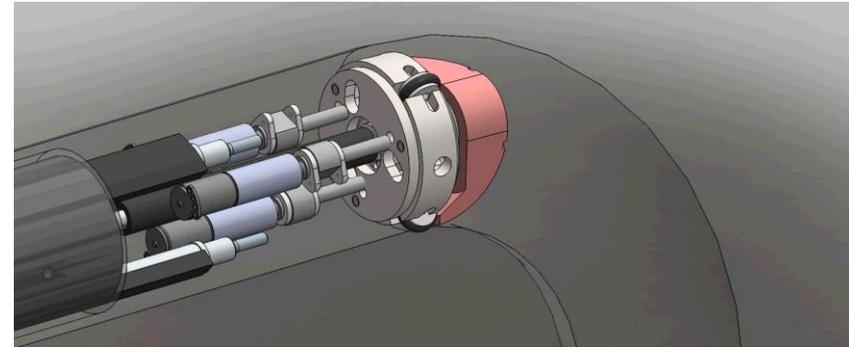
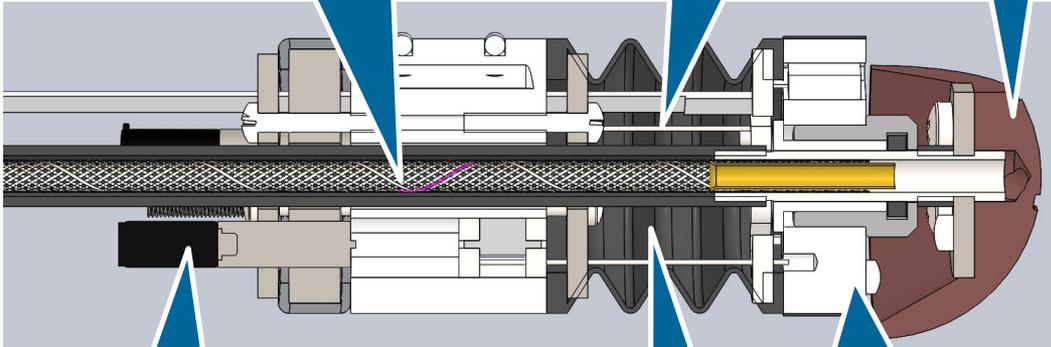


Parallelkinematisches System - Schema

Abschirmgeflecht
(Energieübertragung)

Vorschubstangen

Elektrode



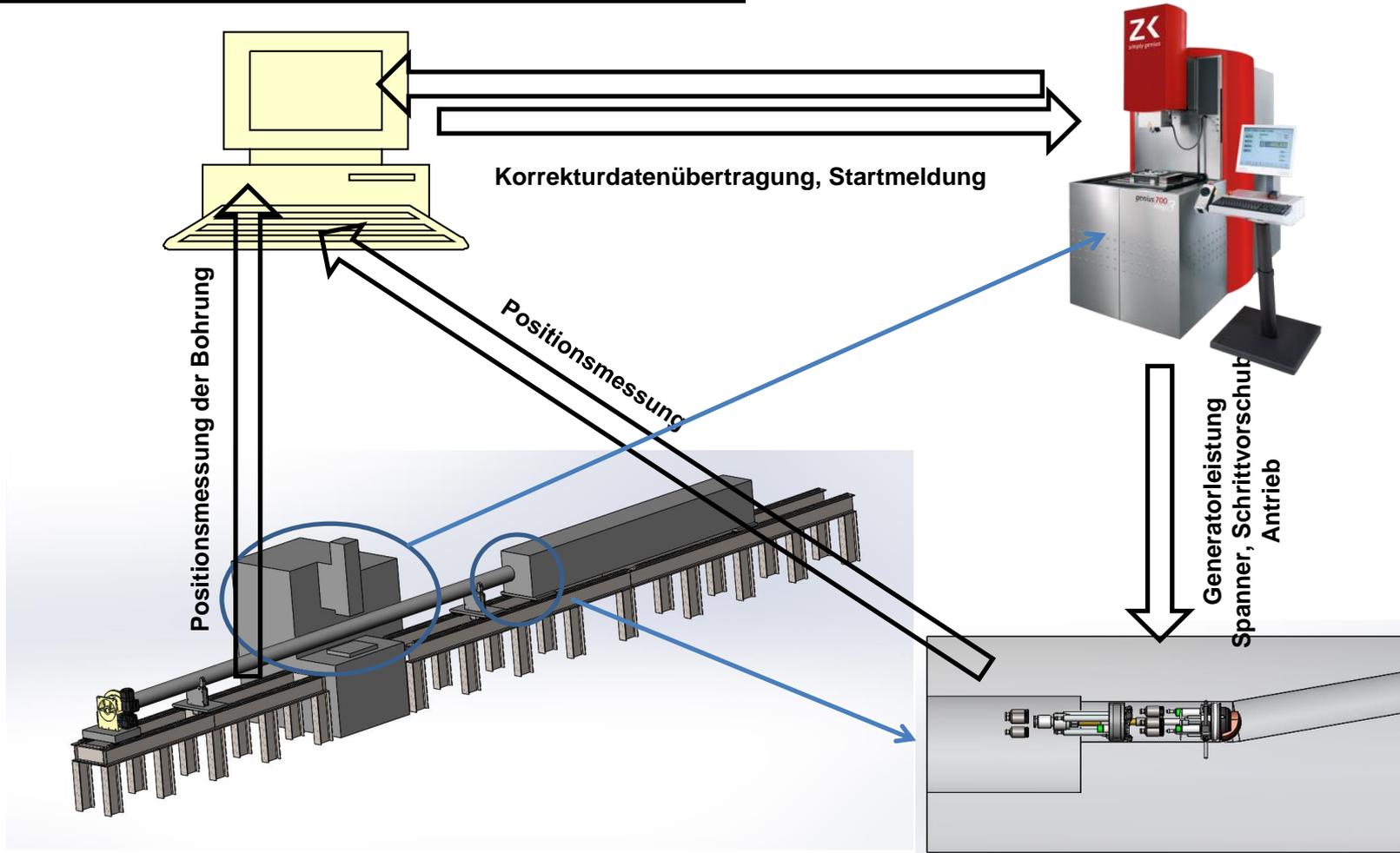
Führungseinheit vorne

Motor / Getriebe / Spindereinheit

Abdichtung



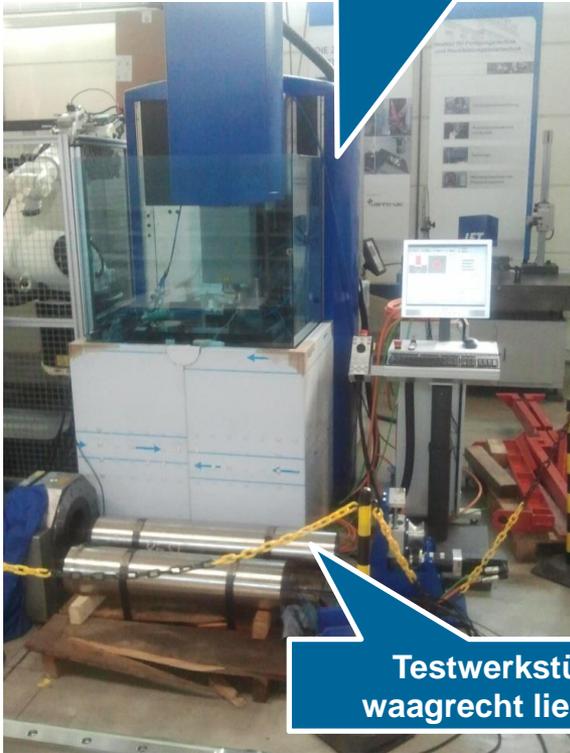
Anlagenkonzept - Steuerungstechnik





Steuerbare Vorrichtung

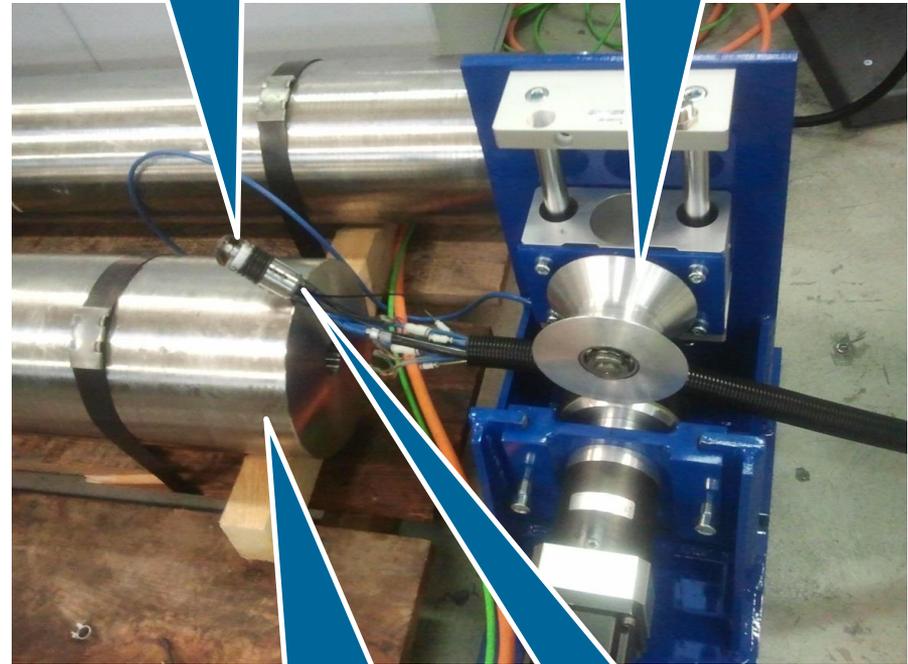
Erodier-Anlage Zimmer + Kreim
Z + K Genius 700



Testwerkstück
waagrecht liegend

Prototypeinheit

Nachschubeinheit

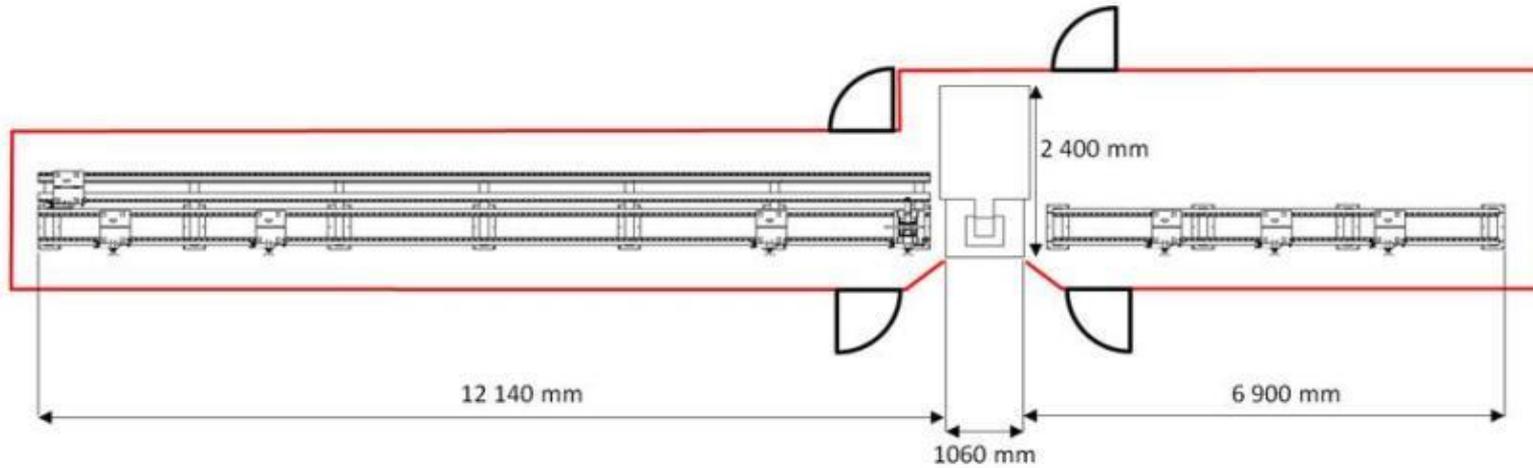


Teststück waagrecht
liegend

Antriebsmotoren



Aufbau der Anlage bei SBOT

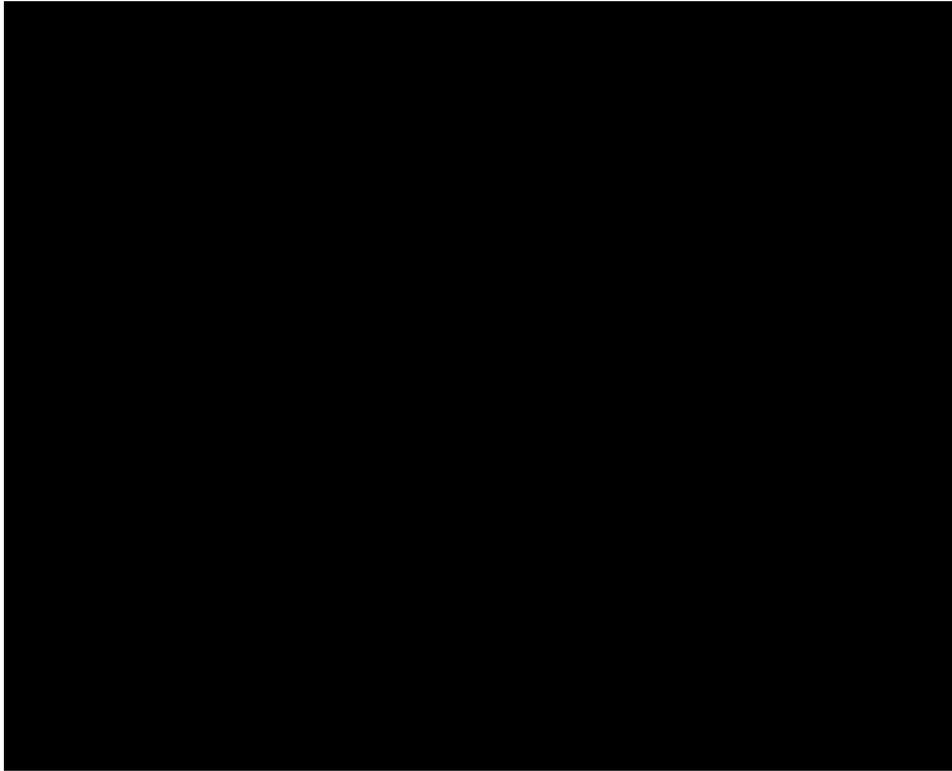


Zusammenfassung



- Gerade zu bohren, ist nicht einfach und hat seine heimtückischen Seiten!

„Take care! – selbst wenn man denkt, die Bohrung ist getan“





IFT Institute for Production Engineering
and Photonic Technologies

Univ.Prof. DI Dr. techn. habil. Friedrich Bleicher



Kontakt

Institute for Production Engineering and Photonic Technologies

Getreidemarkt 9/BA/8 OG
1060 Wien

T +43 1 58801 31101
E sek@ift.at



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN

