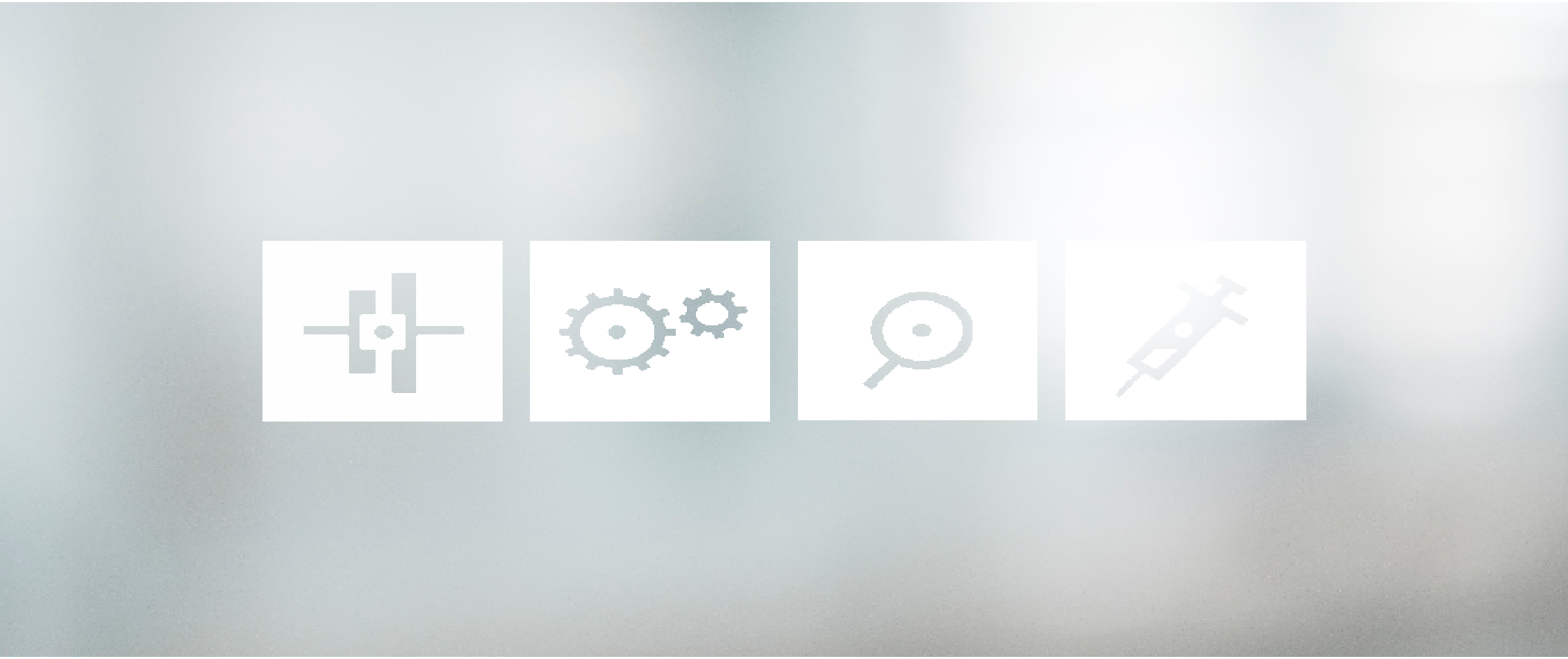
SCHOLZ

HIGH TECH IN KUNSTSTOFF



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Einblick in die Welt der Kunststoffverzahnungen

Eine andere Welt ?!

15.Tagung „Feinwerktechnische Konstruktion“ der DGFT
13./14.10.2022
Dresden

Dr.-Ing. Andreas Langheinrich
Horst Scholz GmbH & Co. KG

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Inhalt

- SCHOLZ
- Vorteile
- Herausforderungen
- Dimensionen und Anwendungen
- Qualität und Qualitätssicherung
- Fertigung im Grenzbereich
- Zukunftsperspektiven

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

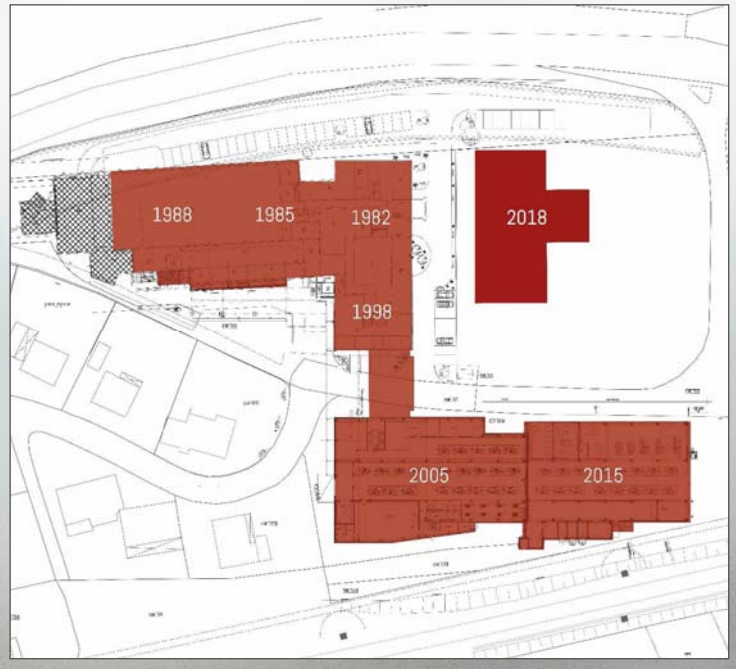
Inhalt

- SCHOLZ
- Vorteile
- Herausforderungen
- Dimensionen und Anwendungen
- Qualität und Qualitätssicherung
- Fertigung im Grenzbereich
- Zukunftsperspektiven

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

SCHOLZ

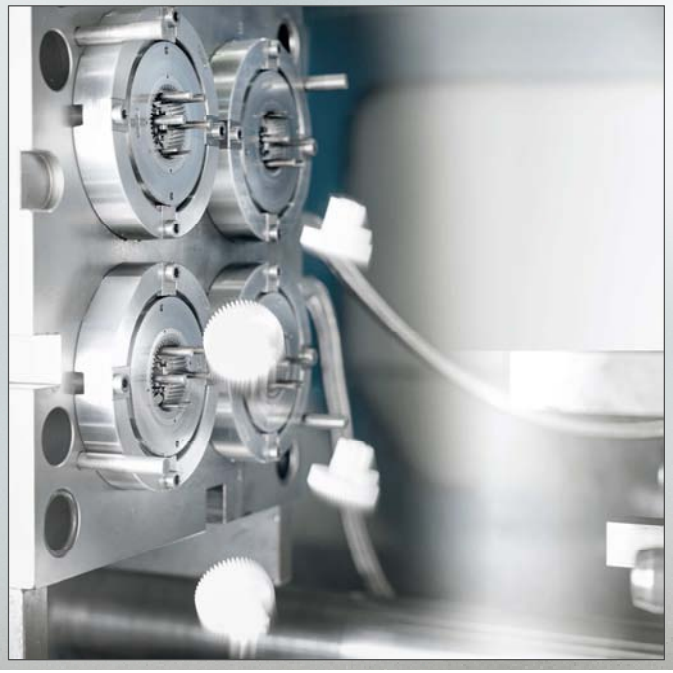
- Hersteller von Hochpräzisions-Kunststoffteilen durch Spritzguss für mehrere Branchen
- 200 Mitarbeiter (Firmenstandort in Kronach)



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

SCHOLZ

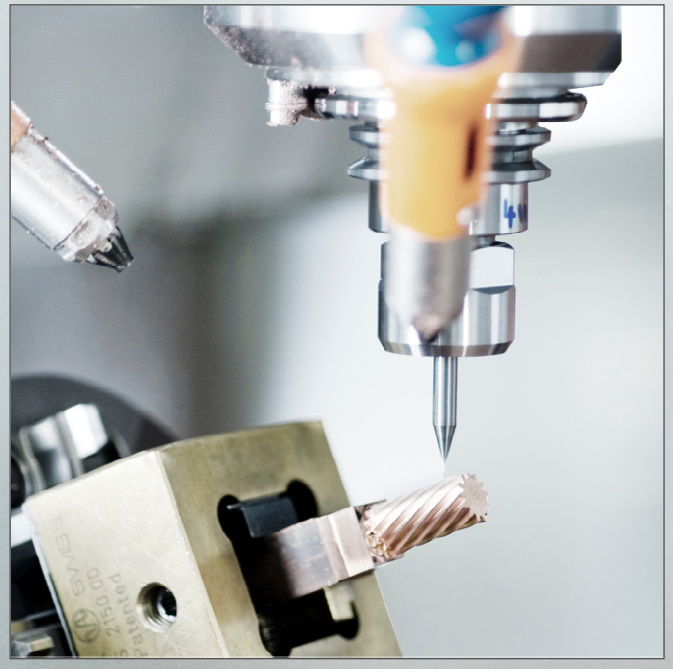
- 80 Spritzgussmaschinen
- 1.300.000.000 Teile pro Jahr

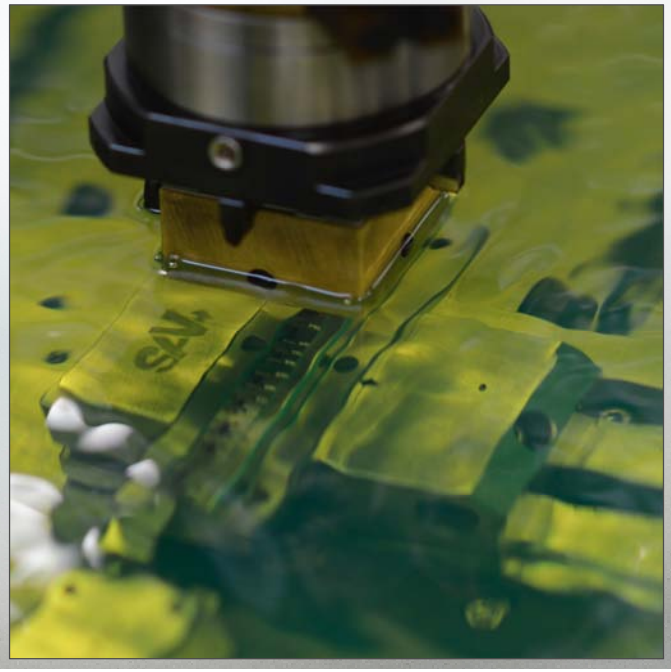


SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

SCHOLZ

- Eigener Werkzeugbau (Fräsen • Schleifen • Drehen • Senkerodieren • Drahterodieren)
- 50 Spritzgusswerkzeuge / Jahr

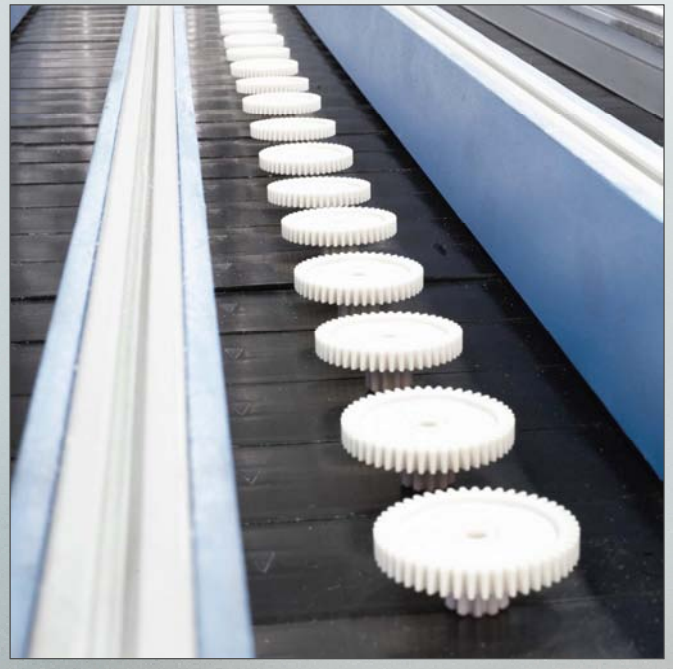


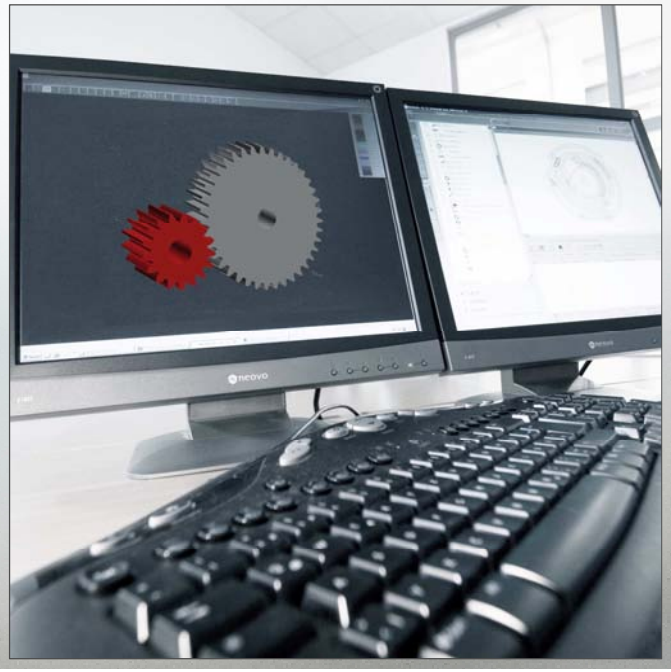


SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

SCHOLZ

- Fertigung von Kunststoffverzahnungen seit 1992
- Auslegung von Kunststoffverzahnungen





SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

SCHOLZ

- Zahnradprüfstand • Stift-Scheibe-Prüfstand
- Fertigung von Kunststoff-Prüfverzahnungen der Baugröße 1 (m_n = 1 mm) nach VDI 2736

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Inhalt

- SCHOLZ
- Vorteile
- Herausforderungen
- Dimensionen und Anwendungen
- Qualität und Qualitätssicherung
- Fertigung im Grenzbereich
- Zukunftsperspektiven

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Vorteile

- Prädestiniert für Leichtbauanwendungen (nur 15% - 20% das Gewichts von Stahl)
- Preisgünstige Herstellung
- Schnelle Fertigung / Massenproduktion
- Im Regelfall keine Nacharbeit (z.B. Schleifen) notwendig
- Innere Dämpfung
- Betrieb im Trockenlauf möglich
- Inkorporierte Schmierung (z.B. durch PTFE) realisierbar

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Inhalt

- SCHOLZ
- Vorteile
- Herausforderungen
- Dimensionen und Anwendungen
- Qualität und Qualitätssicherung
- Fertigung im Grenzbereich
- Zukunftsperspektiven

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Herausforderungen

- Die Berechnung von Kunststoffverzahnungen ist in der deutschen Richtlinie VDI 2736 (Ersatz für VDI 2545) beschrieben
- VDI 2736 ist abgeleitet von Normen zur Tragfähigkeitsberechnung von Metallzahnrädern
  - DIN 3990 (deutsche Norm)
  - ISO 6336 (internationale Norm, welche auf der DIN 3990 basiert)
- Die Berechnung der Beanspruchungen nach VDI 2736 erfolgt in gleicher Art und Weise wie nach DIN 3990 / ISO 6336
- Momentan gibt es keine DIN / EN / ISO - Norm zur Berechnung der mechanischen / tribologischen Tragfähigkeit von Kunststoffzahnrädern, weswegen im Jahr 2021 im DIN eine Arbeitsgruppe für die Erstellung einer entsprechenden Norm gegründet wurde

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Herausforderungen

- Großer Mangel an anwendbaren Materialkennwerten für Kunststoffzahnräder
- Mechanische und tribologische Materialkennwerte von Kunststoffen sind aufgrund der folgenden Parameter vermutlich schwerer als bei Metallen zu ermitteln:

➢ Feuchtigkeit (Aufnahme durch den Kunststoff)

➢ Temperatur (signifikanter Einfluss auf Festigkeit und Steifigkeit des Kunststoffs)

➢ Schmierstoff (mögliche Eigenschaftsveränderungen bei Eindringen in den Kunststoff)

➢ Lastfrequenz (aus Dämpfung resultierende Erwärmung des Kunststoffs)

➢ Kriechen (des Kunststoffs bei dauerhaft anliegender Last)

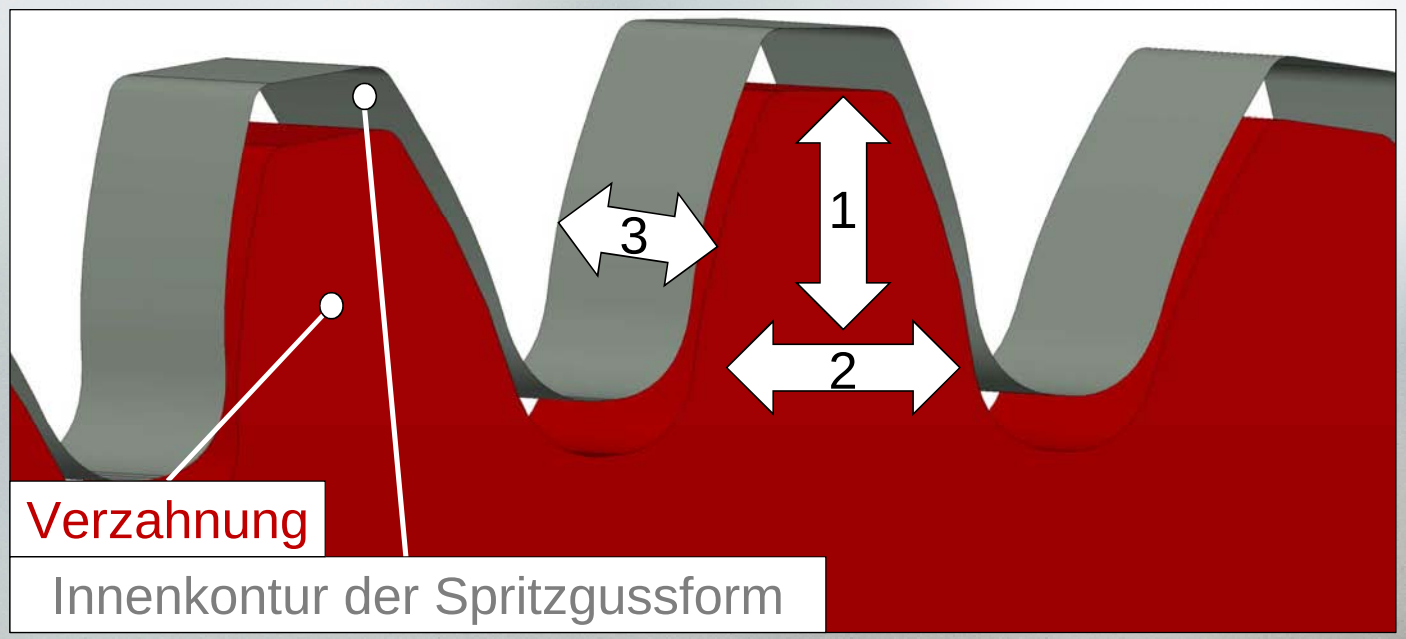
➢ Alterung

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Herausforderungen

- Schwindung

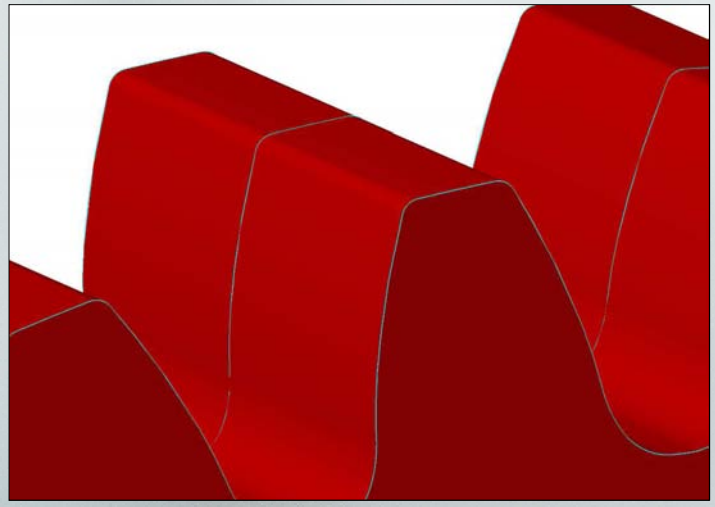
➢ radial (1)
➢ tangential (2)
➢ axial (3)



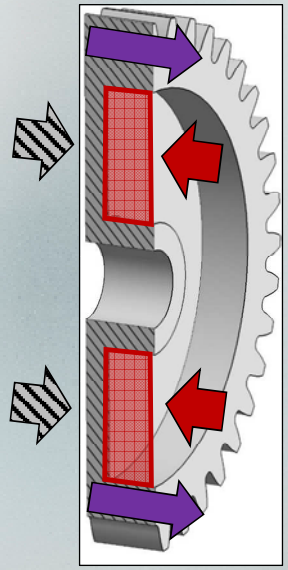
SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Herausforderungen

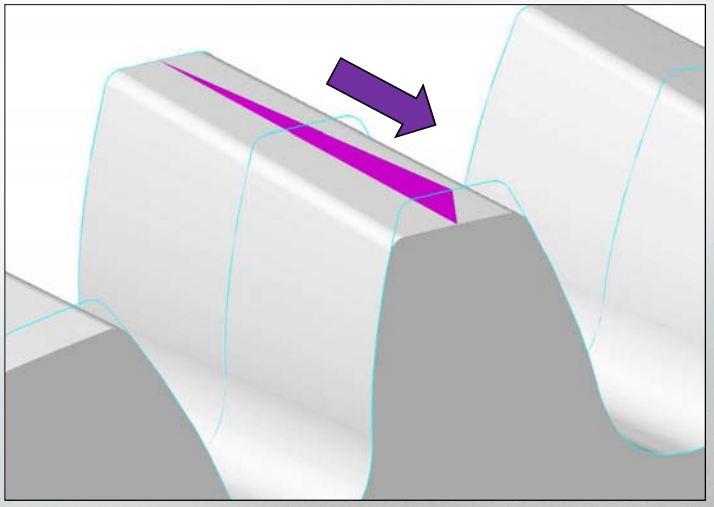
- Verzug (z.B. an Kopf- und Fußkreiszylinder) aufgrund von Schwindung



Zylindrischer Zahnkopfbereich



Stegrad (außermittiger Steg)



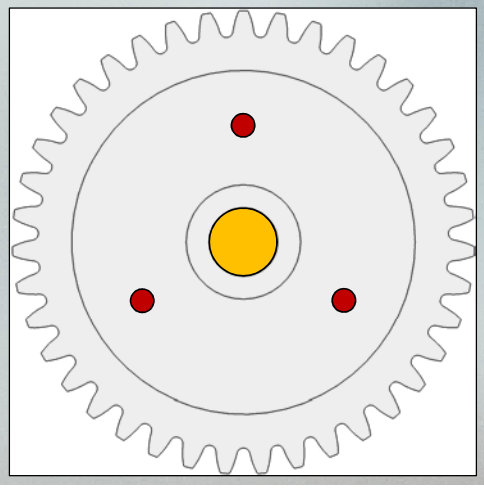
Konischer Zahnkopfbereich

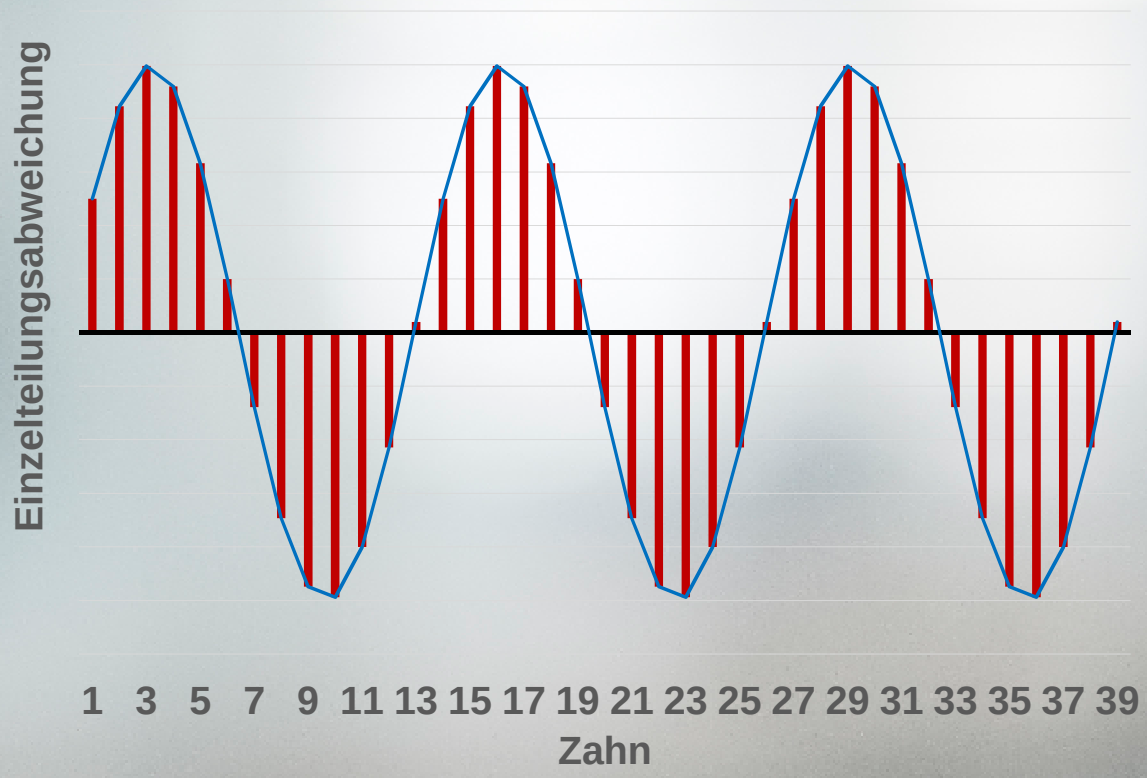
SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Herausforderungen

- Zentraler Anspritzpunkt aufgrund der Achsbohrung (●) nicht möglich ; Punktsymmetrisch und mit gleicher Winkelteilung zur Zahnradachse liegende Anspritzpunkte (●)

- Sinusförmige Abweichungen z.B. in der der Zahnteilung





SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Inhalt

- SCHOLZ
- Vorteile
- Herausforderungen
- Dimensionen und Anwendungen
- Qualität und Qualitätssicherung
- Fertigung im Grenzbereich
- Zukunftsperspektiven

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- DIN 58405 (Stirnradgetriebe der Feinwerktechnik)

  $m_n > 0.16$ mm (Qualitätsstufen 5 bis 8)

  $m_n > 0.25$ mm (Qualitätsstufen 9 bis 10)
  typische Qualitätsstufen von Kunststoffverzahnungen

  $m_n \leq 3.00$ mm („Schwermaschinenbau“)

- VDI 2731 Teil 1 (Mikrogetriebe – Grundlagen)

  Mikroverzahnungen : $m_n < 0.2$ mm

DK 621.833 : 681 : 001.4 DEUTSCHE NORMEN Mai 1972

DIN 58405 Blatt 1

Stirnradgetriebe der Feinwerktechnik
Geltungsbereich, Begriffe, Bestimmungsgrößen, Einteilung

Spur gear drives for fine mechanics; scope, definitions, principal design data, classification

Engrenages cylindriques pour la mécanique de précision; domaine d'application, définitions, valeurs déterminatives, classification

Diese Norm stützt sich weitgehend auf die Verzahnungsnormen des Maschinenbaus DIN 3960 ff., sofern nicht wegen der besonderen Belange der Feinwerktechnik andere Festlegungen notwendig sind. Zum besseren Verständnis sind in dieser Norm in manchen Fällen Wiederholungen aus DIN 3960 ff. gemacht worden.
Die Verweise auf die anderen Blätter dieser Norm beziehen sich auf die Ausgaben Mai 1972.

Inhalt und Übersicht

Blatt 1. Geltungsbereich, Begriffe, Bestimmungsgrößen, Einteilung

1. Einführung
1.1. Allgemeine Grundbegriffe
1.2. Zeichen und Benennungen
1.3. Begriffe
1.3.1. Getriebepaarung
1.3.2. Überschnittene Stirnräder
1.4. Aufbau des Getriebepaarungssystems
2. Geltungsbereich
3.1. Bezugsprofil für die Verzahnung
3.2. Modul m
3.3. Profilverschiebungsfaktor x
3.4. Schrägungswinkel β_0
3.5. Zähnezahl z
3.6. Teilkreisdurchmesser d_0
3.7. Zahnlücke λ
3. Begriffsbestimmungen und Bestimmungsgrößen
3.1. Kopfkreis, Kopfkreisdurchmesser d_k
3.1.1. Kopfrückgang $k \cdot m$
3.2. Lage der Bezugsprofile zum Teilkreis
3.2.1. Profilverschiebung; Profilverschiebungsfaktor x
3.2.2. Unterschnitt
3.2.3. Vermeidung des Unterschnittes durch Profilverschiebung
3.2.4. Zulässige Paarungen mit unterschnittenen Nullrädern
3.3. Überdeckungsgrad ε
3.3.1. Profilüberdeckung (Eingriffsdauer) ε_γ
3.3.2. Sprungüberdeckung $\varepsilon_{\varrho\gamma}$
3.3.3. Gesamtüberdeckungsgrad $\varepsilon_{\gamma ges}$
3.4. Zahnweite W
3.5. Zweikugelweite N
3.5.1. Zweikugelweite bei Null-Rädern
3.5.2. Zweikugelweite bei V-Rädern
3.6. Verdrehflankenspiel j_d
3.6.1. Bei absoluter Toleranzaddition
3.6.2. Bei statistischer Toleranzaddition
3.6.3. Umrechnung des Verdrehflankenspieles von µm in Winkel-Sekunden
4. Einteilung

Blatt 2. Getriebepaarungsauswahl, Toleranzen, Abmaße

1. Getriebepaarungsauswahl
1.1. Richtlinien für die Wahl einer Getriebepaarung
1.2. Allgemeine Voraussetzungen für eine Getriebepaarung
2. Toleranzen für den Radkörper
2.1. Toleranzen für den Durchmesser des Kopfkreises (Kopfzylinder)
2.1.1. Radkörper für nichtüberschnittene Stirnräder
2.1.2. Radkörper für überschnittene Stirnräder
2.2. Zulässige Rundlaufabweichung des Kopfkreises (Kopfzylinder)
2.3. Zulässige Planlaufabweichung der Stirnflächen
3. Toleranzen für den Durchmesser des Kopfkreises bei überschnittenen Stirnrädern
3.1. Erforderliche Toleranzen bei indirekter Zahnweiten-(Zahndicken-)Messung
3.2. Sich ergebende Toleranzen bei direkter Zahnweiten-(Zahndicken-)Messung
4. Toleranzen und Abmaße für die Verzahnung
4.1. Zahnweitenabmaße Δ_{gW}
4.2. Zweikugelweitenabmaße Δ_{gN}
4.3. Wälzfehler F_i''
4.4. Wälzsprung f_i''
4.5. Rankenrichtungsfehler f_β
5. Toleranzen und Abmaße für das Gehäuse
5.1. Achsabstandsabmaße Δ_a
5.2. Achsrichtungsfehler f_Σ
6. Toleranzen für Getriebe
6.3. Toleranzen für Getriebe der Qualität 5
6.2. Toleranzen für Getriebe der Qualität 6
6.3. Toleranzen für Getriebe der Qualität 7
6.4. Toleranzen für Getriebe der Qualität 8
6.5. Toleranzen für Getriebe der Qualität 9
6.6. Toleranzen für Getriebe der Qualität 10

Fortsetzung Seite 2 bis 10

Fachnormenausschuß Feinmechanik und Optik im Deutschen Normenausschuß (DNA)
Ausschuß Verzahnungen in DNA

ICS 21.200 VDI-RICHTLINIEN April 2009

VEREIN DEUTSCHER INGENIEURE

Mikrogetriebe
Grundlagen

Microgears
Basic principles

VDI 2731
Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

VDI
Inhalt geprüft und unverändert weiterhin gültig
Januar 2014

Inhalt Seite
Vorbemerkung . . . 2
Einleitung . . . 2
1 Anwendungsbereich . . . 3
2 Normative Verweise . . . 3
3 Begriffe . . . 4
4 Formelzeichen und Abkürzungen . . . 7
5 Grundlagen zu Betrieb und Umfeld . . . 8
5.1 Einführung . . . 8
5.2 Geometrische Randbedingungen . . . 10
5.3 Leistungsrandbedingungen . . . 11
5.4 Funktionsrelevante Randbedingungen . . . 12
5.5 Mikrogetriebespezifische Randbedingungen . . . 12
6 Herstellung und Werkstoffe . . . 13
6.1 Zuordnung Fertigungsverfahren – Werkstoffgruppen – Losgrößen . . . 14
6.2 Werkstoffgruppen . . . 14
6.3 Fertigungsverfahren . . . 16
7 Berechnung und Konstruktion . . . 34
7.1 Mikrospezifische Aspekte bei der Auslegung des Getriebes . . . 34
7.2 Verzahnung, Zahnform und Toleranzen . . . 35
7.3 Geometrische Auslegung . . . 36
7.4 Festigkeitsnachweis von Mikrozahnrädern . . . 36
7.5 Weitere Elemente und sonstige Einflussgrößen bei der Auslegung . . . 41
8 Systemaufbau . . . 44
8.1 Automatisierungstechnik und Montage . . . 44
8.2 Verbindungstechnik . . . 45

Contents Page
Preliminary note . . . 2
Introduction . . . 2
1 Scope . . . 3
2 Normative references . . . 3
3 Terms and definitions . . . 4
4 Symbols and abbreviations . . . 7
5 Fundamentals of operation and the operational environment . . . 8
5.1 Introduction . . . 8
5.2 Geometric constraints . . . 10
5.3 Performance constraints . . . 11
5.4 Functionally relevant constraints . . . 12
5.5 Microgear-specific constraints . . . 12
6 Manufacturing and materials . . . 13
6.1 Allocation of manufacturing process – groups of materials – batch sizes . . . 14
6.2 Groups of materials . . . 14
6.3 Manufacturing processes . . . 16
7 Analysis and design . . . 34
7.1 Microscale-specific aspects of gear design . . . 34
7.2 Tooth system, tooth shape, and tolerances . . . 35
7.3 Geometric design . . . 36
7.4 Strength analysis of microgear wheels . . . 36
7.5 Further elements and other influencing variables in the design . . . 41
8 System structure . . . 44
8.1 Automation and assembly . . . 44
8.2 Connection technology . . . 45

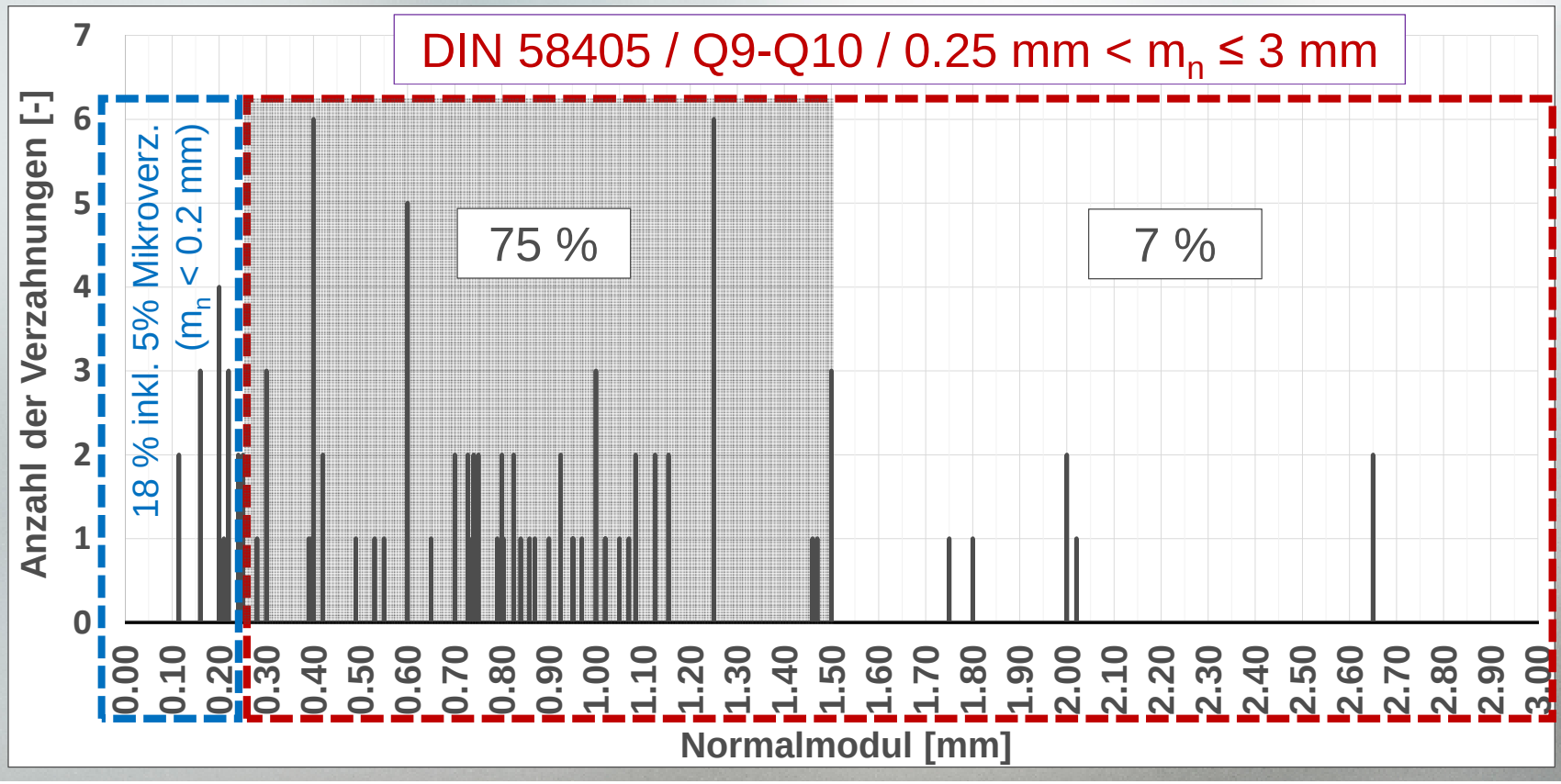
VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb
Ausschuss A200

VDI-Handbuch Getriebetechnik II: Gleichförmig übersetzte Getriebe

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

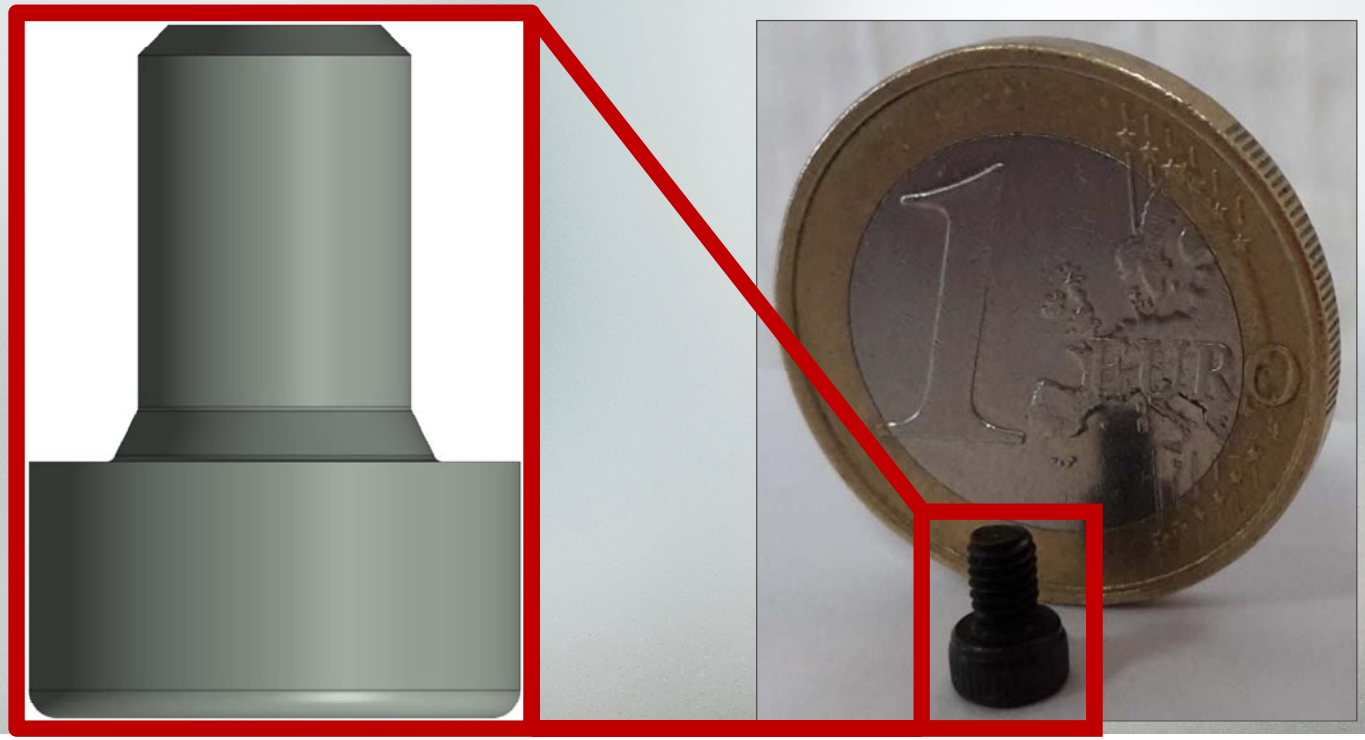
- Spektrum der Normalmoduln für die von SCHOLZ produzierten Kunststoff-verzahnungen



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- Zylinderschraube M2.5x4.0

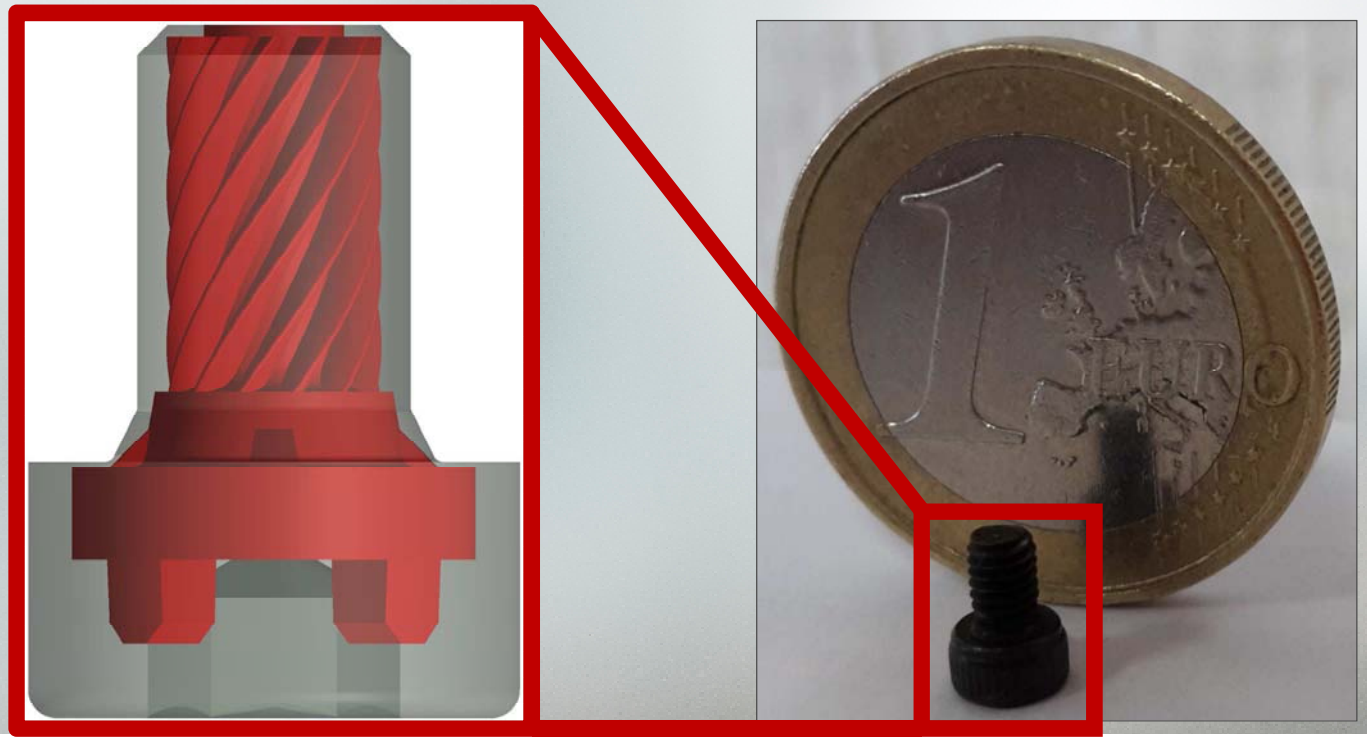


SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- Zylinderschraube M2.5x4.0
- Kleinster bisher von SCHOLZ gefertigter Normalmodul

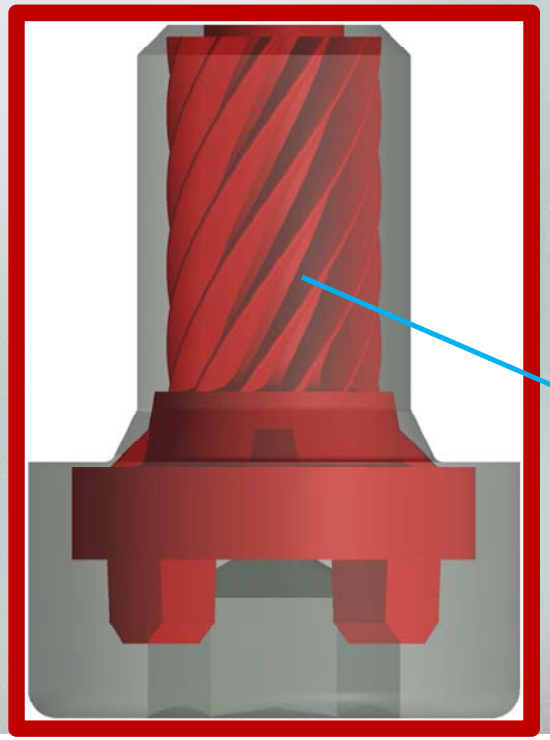
Schrägverzahnung
$m_n = 0.114$ mm
$\beta \approx 30°$

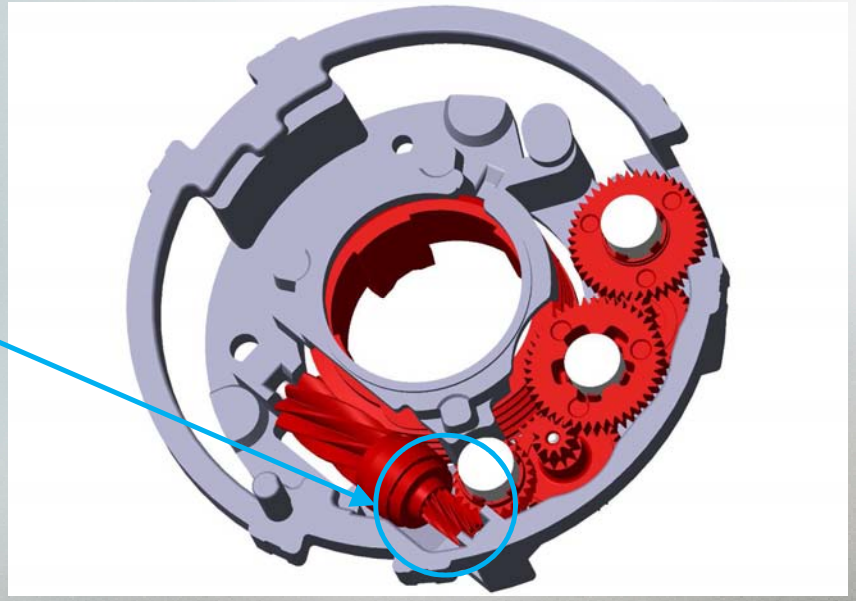


SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- Getriebe zur Bewegungsübertragung in einem Encoder

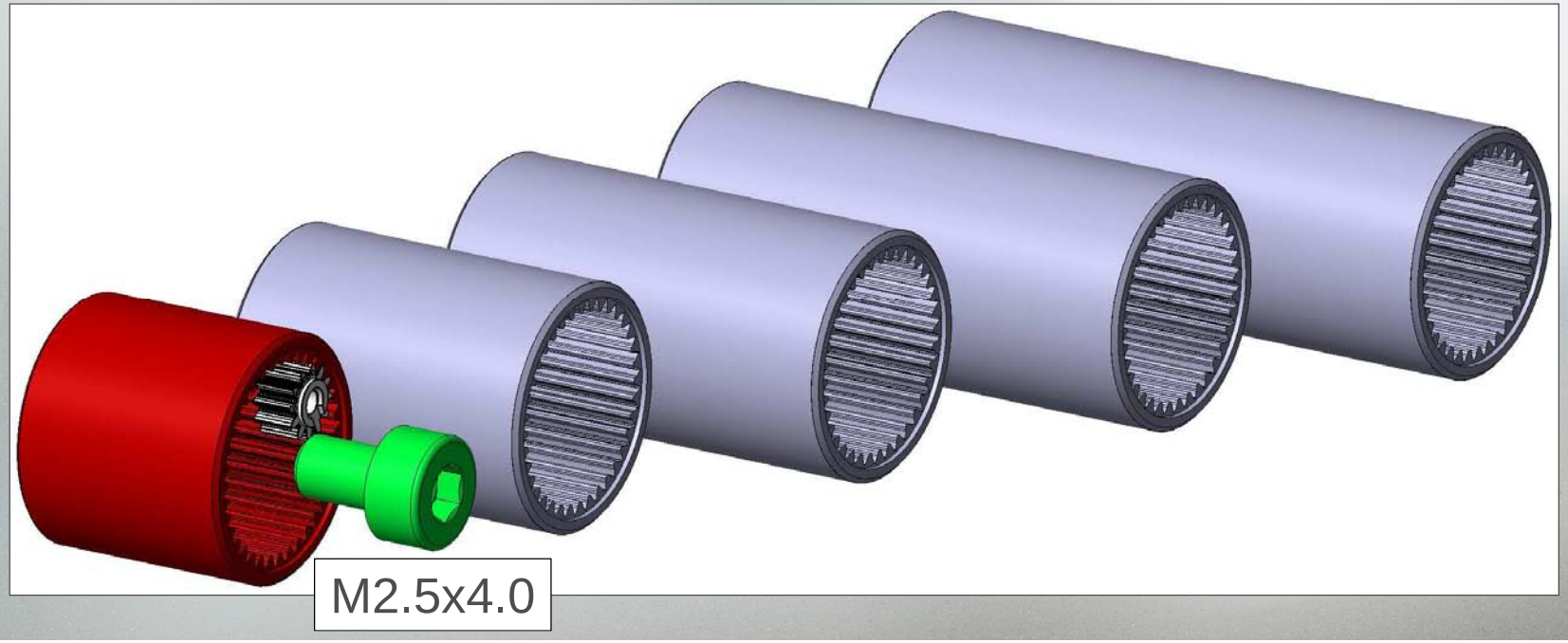




SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- Kleinleistungsantriebe [W] z.B. in kleinen Elektrogeräten mit unterschiedlich vielen Getriebestufen

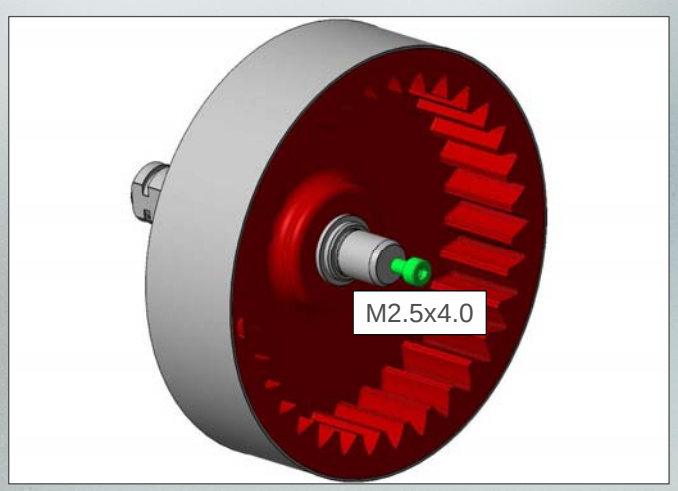


SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

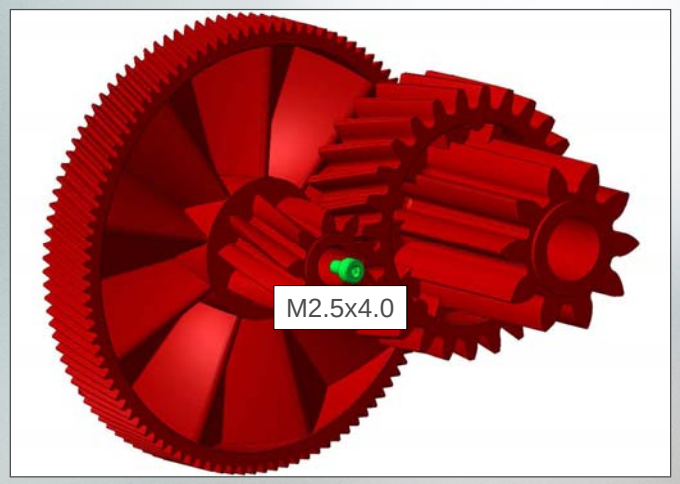
Dimensionen und Anwendungen

- Leistungsantriebe [W – 1 kW]

Elektrokettensäge



Fleischwolf

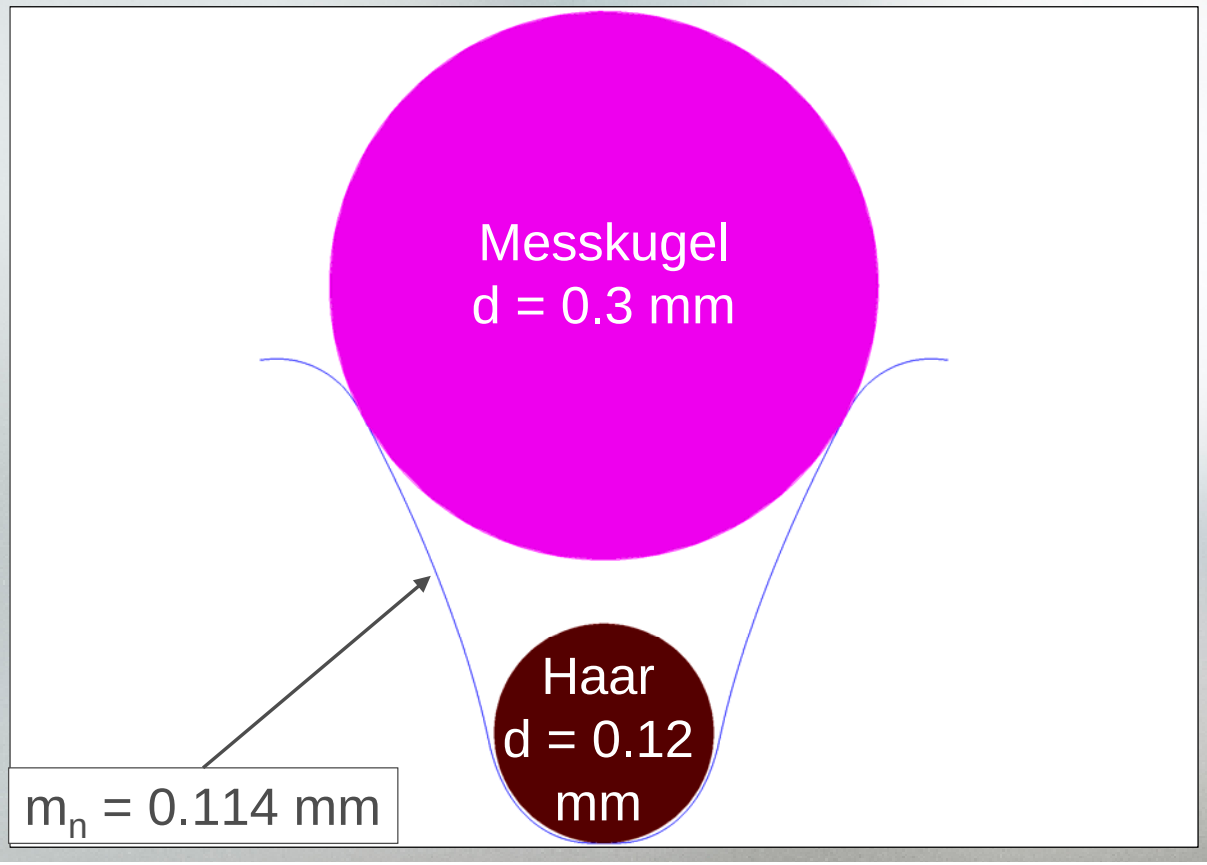


- Hochleistungsantriebe (Ölschmierung / Ölkühlung) [> 1 kW]

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- Kleinster bisher von SCHOLZ gefertigter Normalmodul (m_n = 0.114 mm)

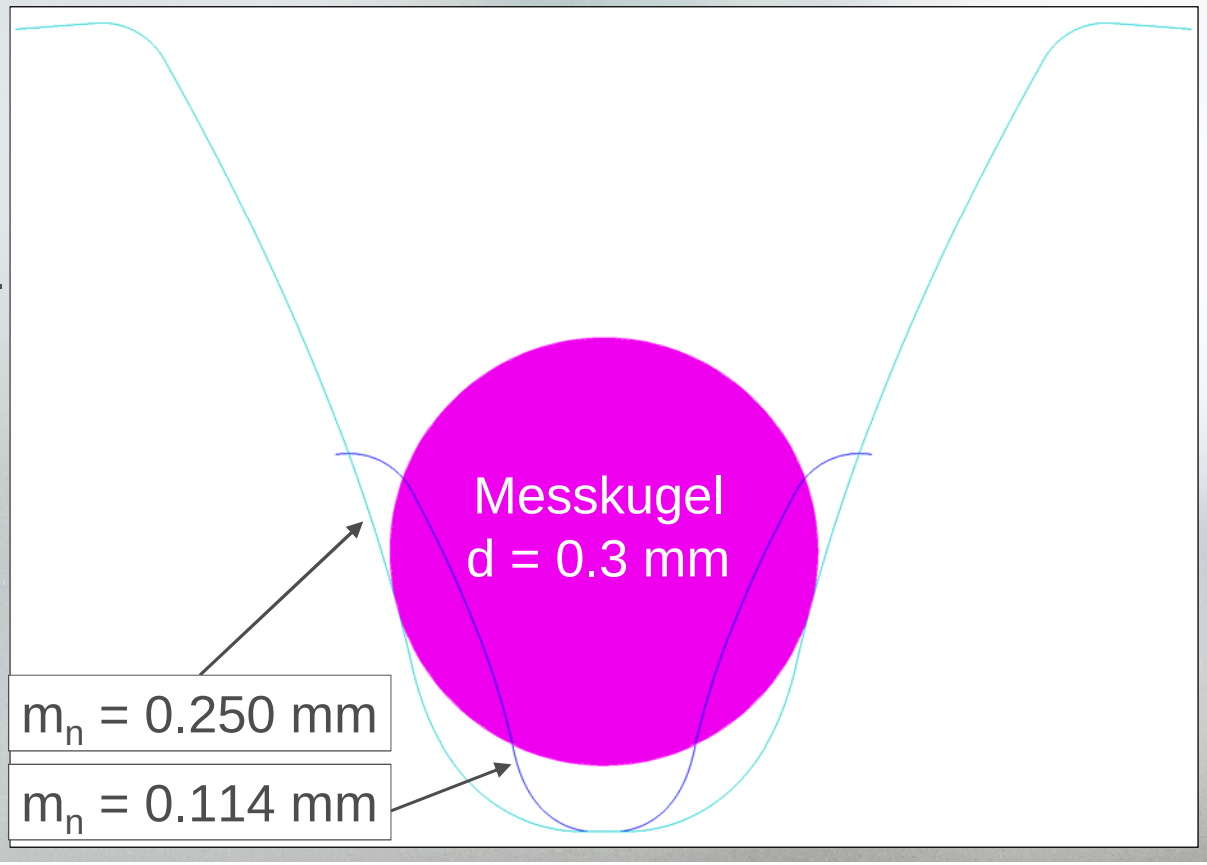


SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- Kleinster Normal-modul nach DIN 58405 für typische Qualitäts-stufen von Kunst-stoffzahnrädern (Q9/Q10)

  $m_n > 0.25$ mm

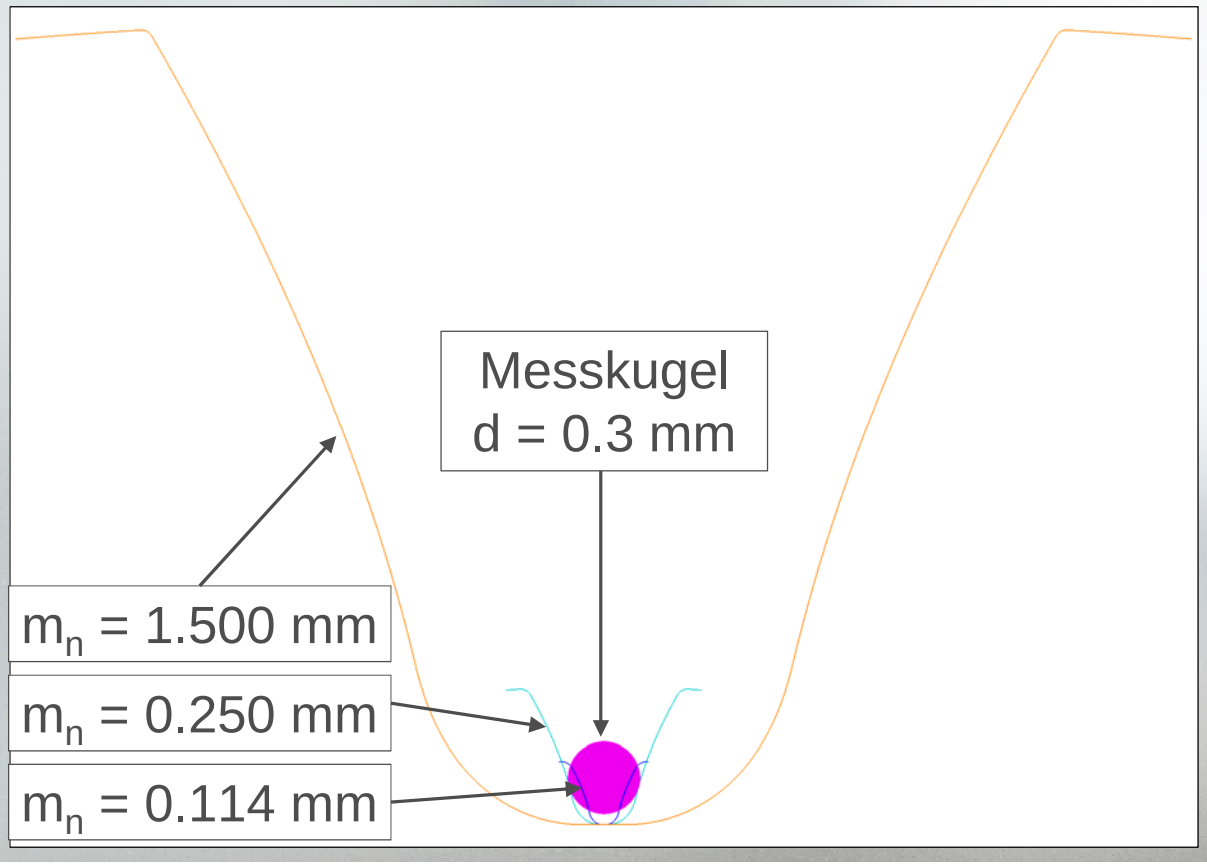


SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- 50% des größten Normalmoduls in DIN 58405

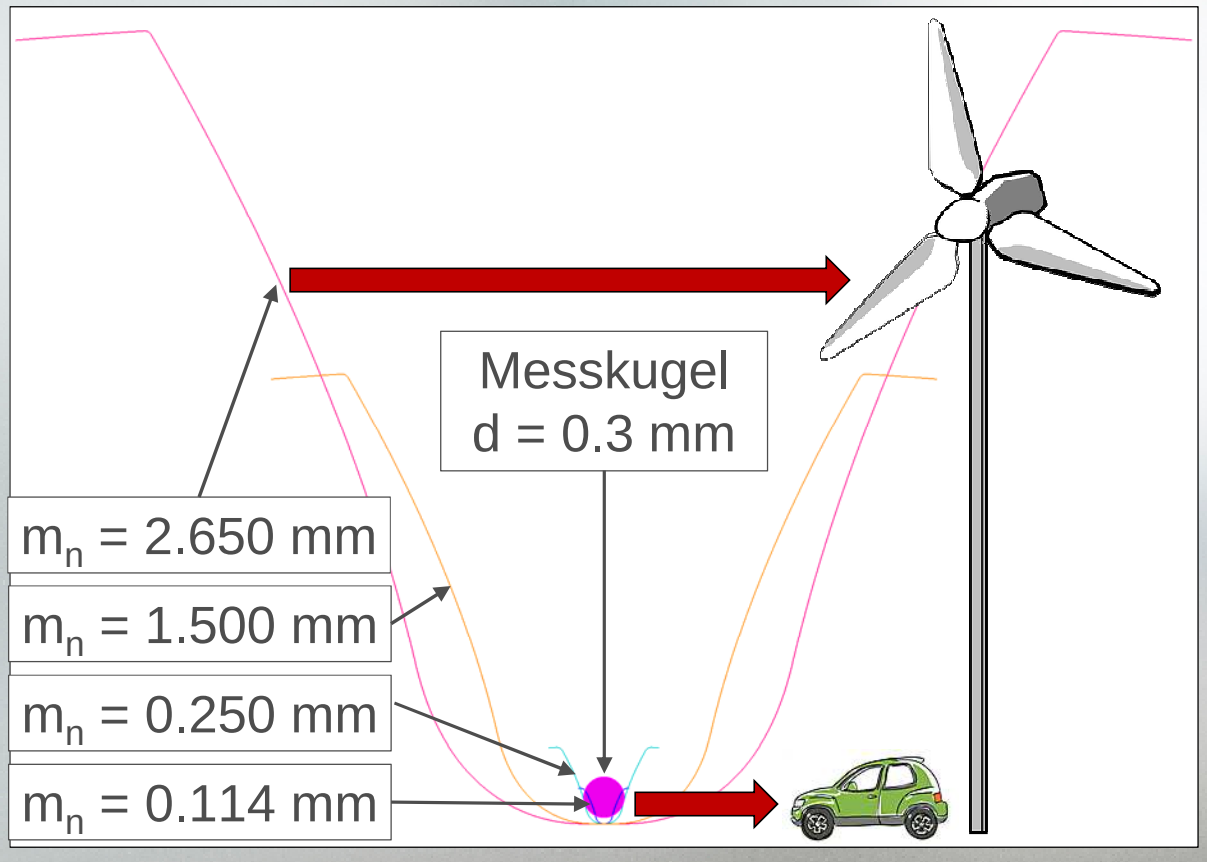
  m_n = 1.5 mm



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

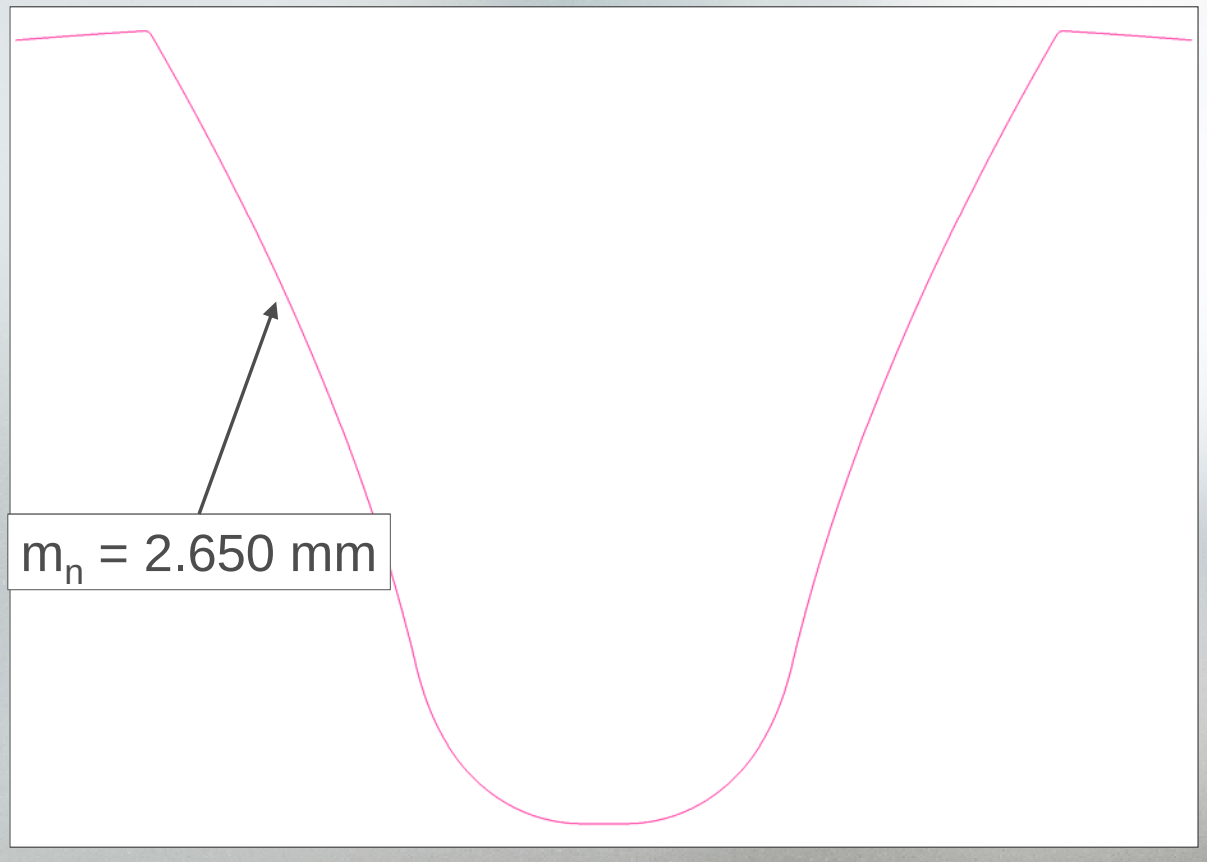
- Größter bisher von SCHOLZ gefertigter Normalmodul (m_n = 2.65 mm)
- 88% des größten Normalmoduls in DIN 58405 (m_n = 3 mm)



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

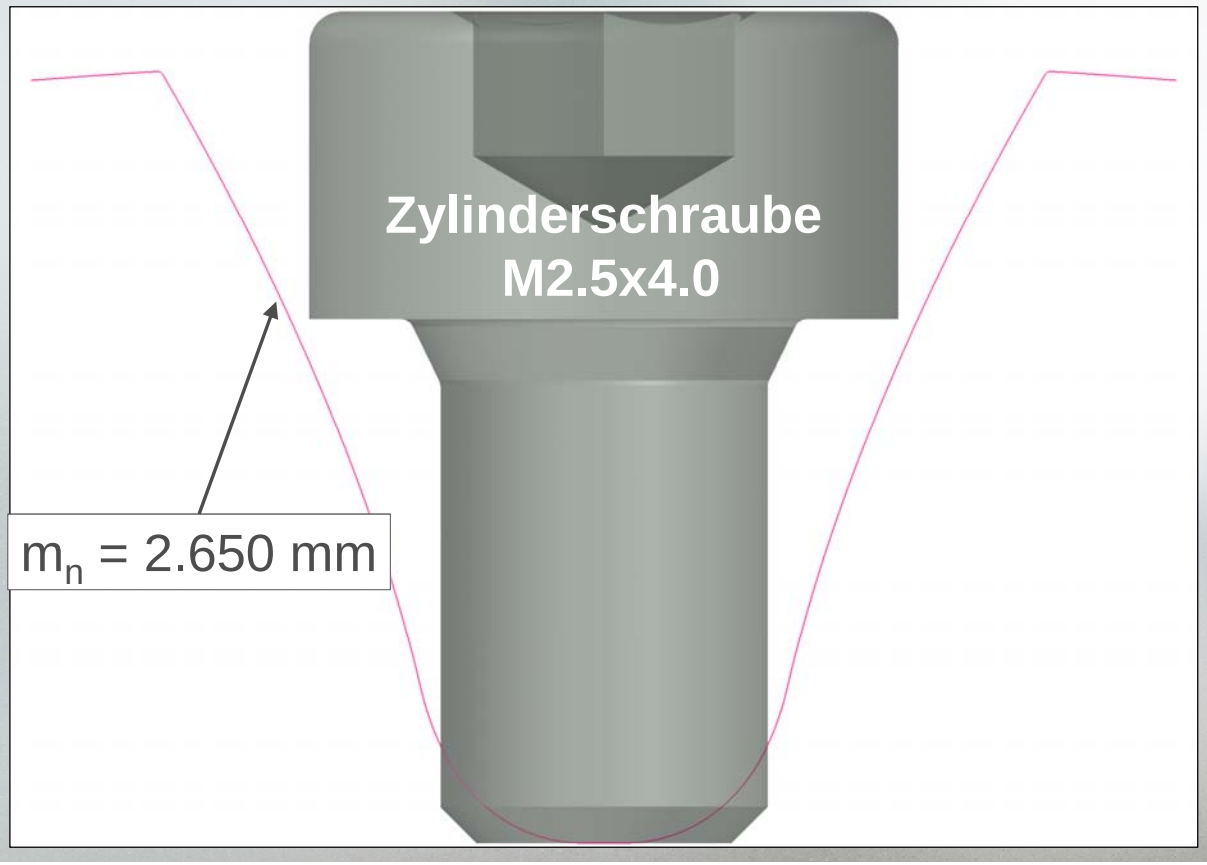
- Größter bisher von SCHOLZ gefertigter Normalmodul (m_n = 2.65 mm)
- 88% des größten Normalmoduls in DIN 58405 (m_n = 3 mm)



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Dimensionen und Anwendungen

- Größter bisher von SCHOLZ gefertigter Normalmodul (m_n = 2.65 mm)
- 88% des größten Normalmoduls in DIN 58405 (m_n = 3 mm)



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

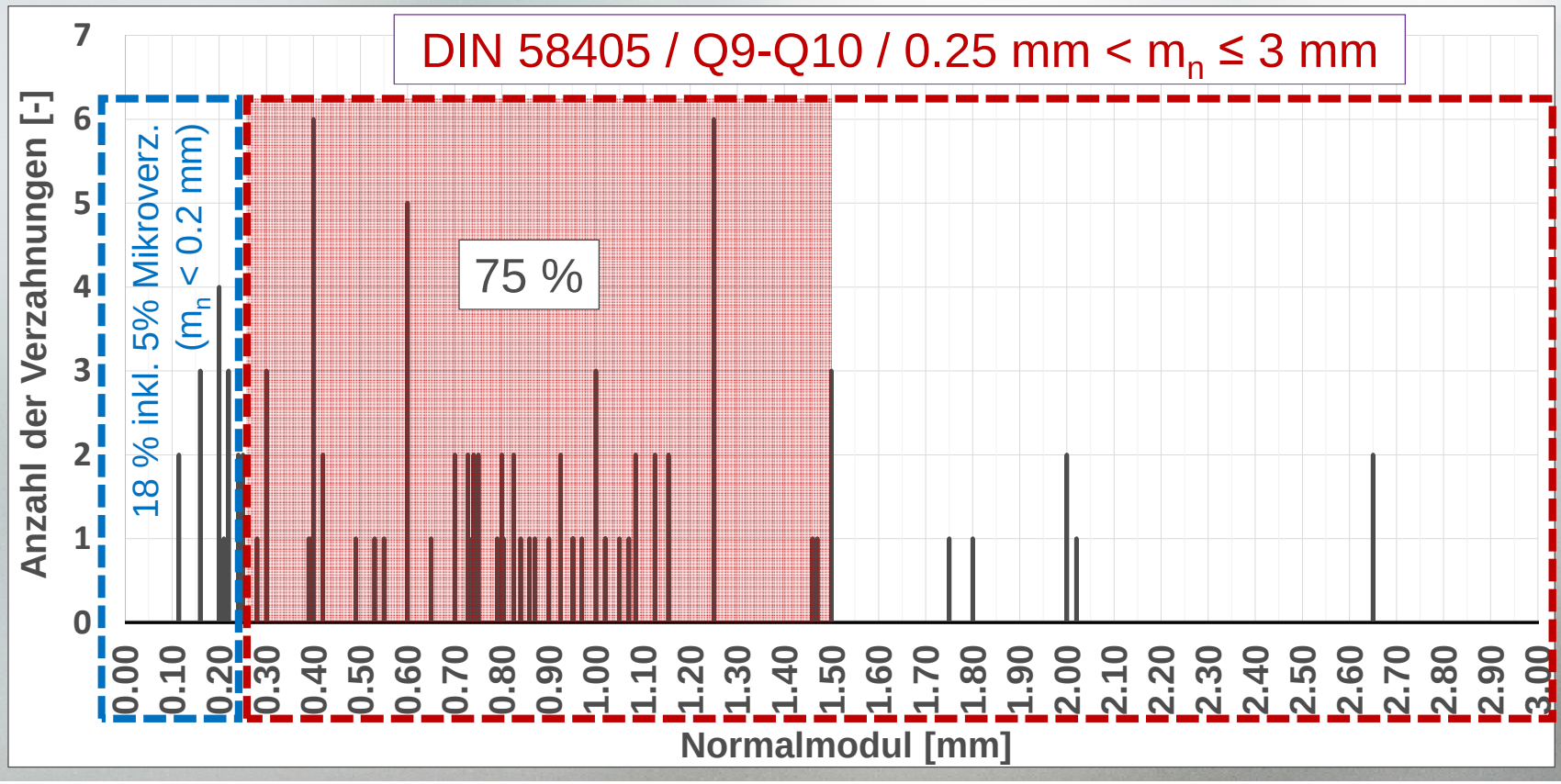
Inhalt

- SCHOLZ
- Vorteile
- Herausforderungen
- Dimensionen und Anwendungen
- Qualität und Qualitätssicherung
- Fertigung im Grenzbereich
- Zukunftsperspektiven

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

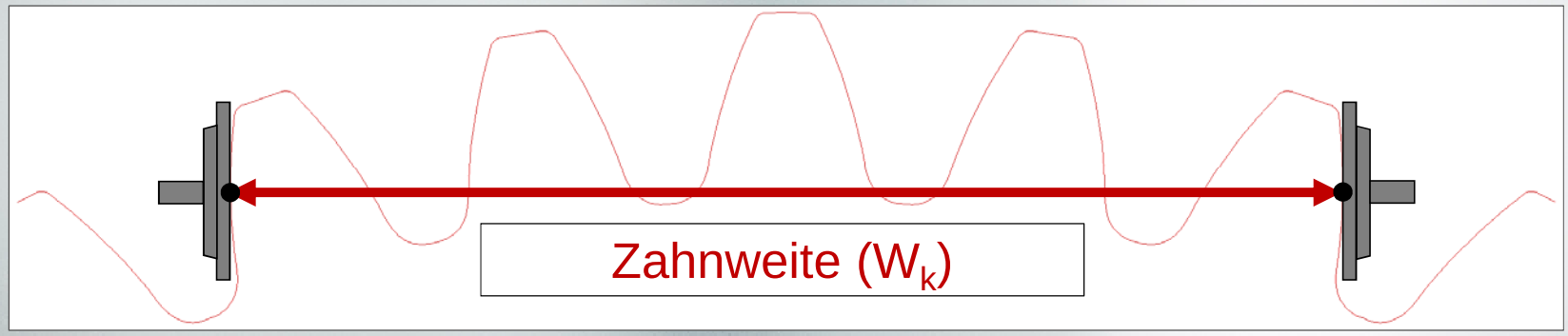
Qualität und Qualitätssicherung

- Spektrum der Normalmoduln für die von SCHOLZ produzierten Kunststoff-verzahnungen



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Qualität und Qualitätssicherung



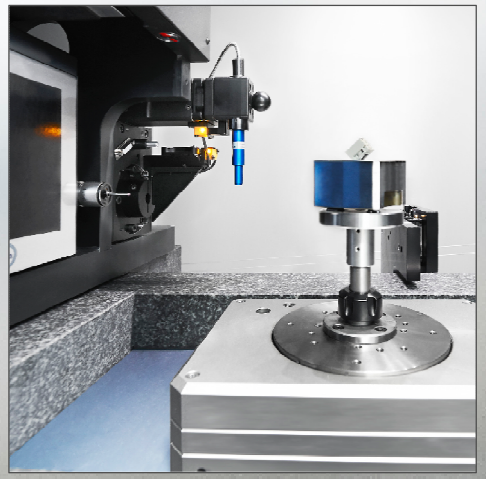
- Selbst bei den Qualitätsstufen 9 und 10 nach DIN 58405 bewegt sich der Zahnweiten-toleranzbereich (A_{Wo} - A_{Wu}) bei Kunststoffverzahnungen mit Normalmoduln von 0.25 mm < m_n ≤ 1.5 mm und charakteristischen Teilkreisdurchmessern von 3 mm ≤ d ≤ 100 mm im Bereich weniger hundertstel Millimeter.

- Qualitätsstufe 9 : 23 µm ≤ A_{Wo} - A_{Wu} ≤ 42 µm
- Qualitätsstufe 10 : 34 µm ≤ A_{Wo} - A_{Wu} ≤ 59 µm

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Qualität und Qualitätssicherung

- Messmethoden:
  - taktil
  - optisch
  - Computertomograph (CT)



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

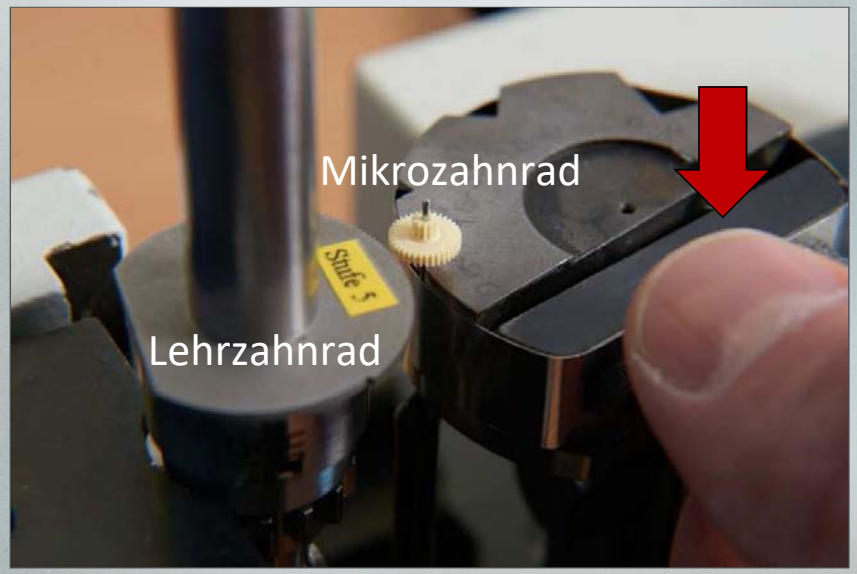
Inhalt

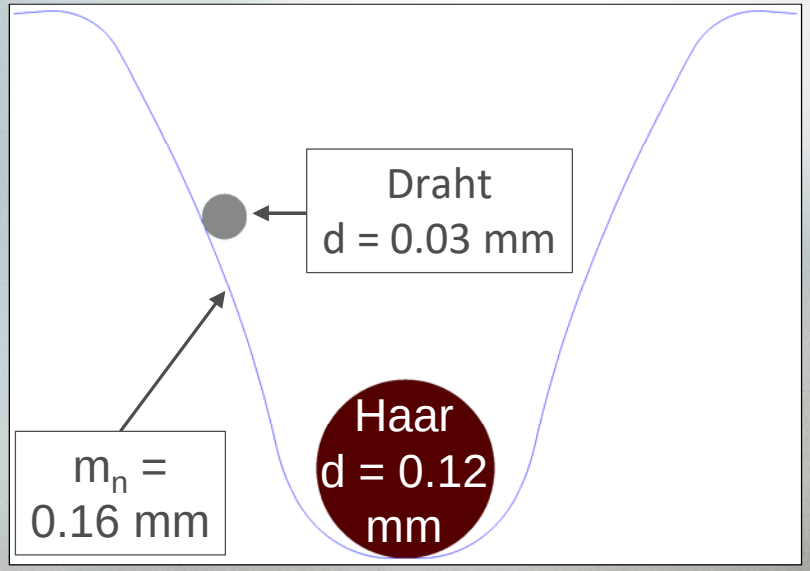
- SCHOLZ
- Vorteile
- Herausforderungen
- Dimensionen und Anwendungen
- Qualität und Qualitätssicherung
- Fertigung im Grenzbereich
- Zukunftsperspektiven

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Fertigung im Grenzbereich

- Lehrzahnräder zur Prüfung von Mikrozahnrädern (m_n = 0.16 mm)
- Innerbetriebliche Fertigung durch Drahterodieren

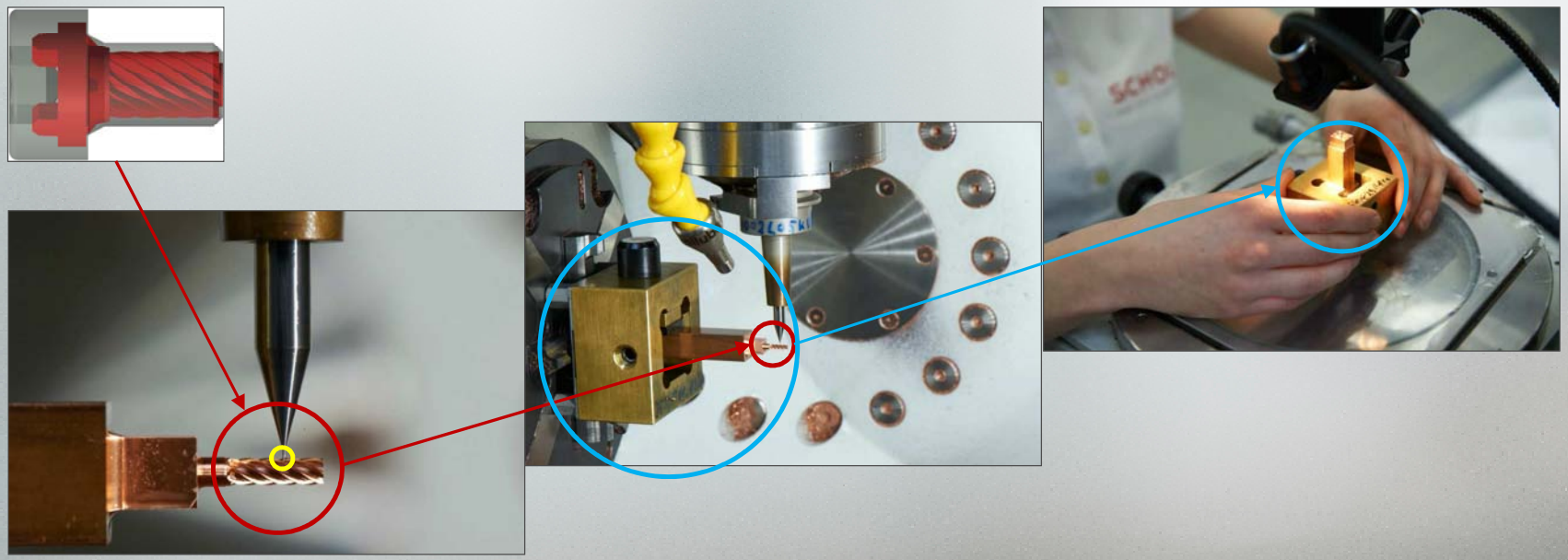




SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Fertigung im Grenzbereich

- Fertigung (Fräsen) der Elektrode für Senkerodieren
- Fräser mit einem Durchmesser von ca. 0.1 mm



SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Inhalt

- SCHOLZ
- Vorteile
- Herausforderungen
- Dimensionen und Anwendungen
- Qualität und Qualitätssicherung
- Fertigung im Grenzbereich
- Zukunftsperspektiven

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Zukunftsperspektiven

- Abgesicherte Werkstoffkennwerte unter Einbindung charakteristischer Parameter wie
  - Feuchtigkeitsaufnahme
  - Temperatur (Umgebung / Reibung / Dämpfung)
  - …

  , um aussagekräftige Berechnungsergebnisse zur mechanischen und tribologischen Tragfähigkeit von Kunststoffzahnrädern erhalten zu können

- Suche nach Zahnradanwendungen bei welchen Stahl durch Kunststoff ersetzt werden kann

- Änderung der Sichtweise der Kunststoffverzahnungen vom „Plastikteil“ hin zum „Maschinenelement“

SCHOLZ
HIGH TECH IN KUNSTSTOFF

Vielen Dank für Ihr Interesse !

Dr.-Ing. Andreas Langheinrich
Horst Scholz GmbH & Co. KG
Nalser Straße 39, 96317 Kronach
andreas.langheinrich@scholz-htik.de
+49 (0)9261 6077-33