
2. Kongress Ressourceneffiziente Produktion

Energieeffiziente Feinbearbeitung mit geometrisch unbestimmter Schneide und Minimalmengenschmierung

I. Baldermann (bielomatik), J. Gentzen (IWU), U. Harbs (VW), I. Harter (Junker), T. Magg (Tesch)

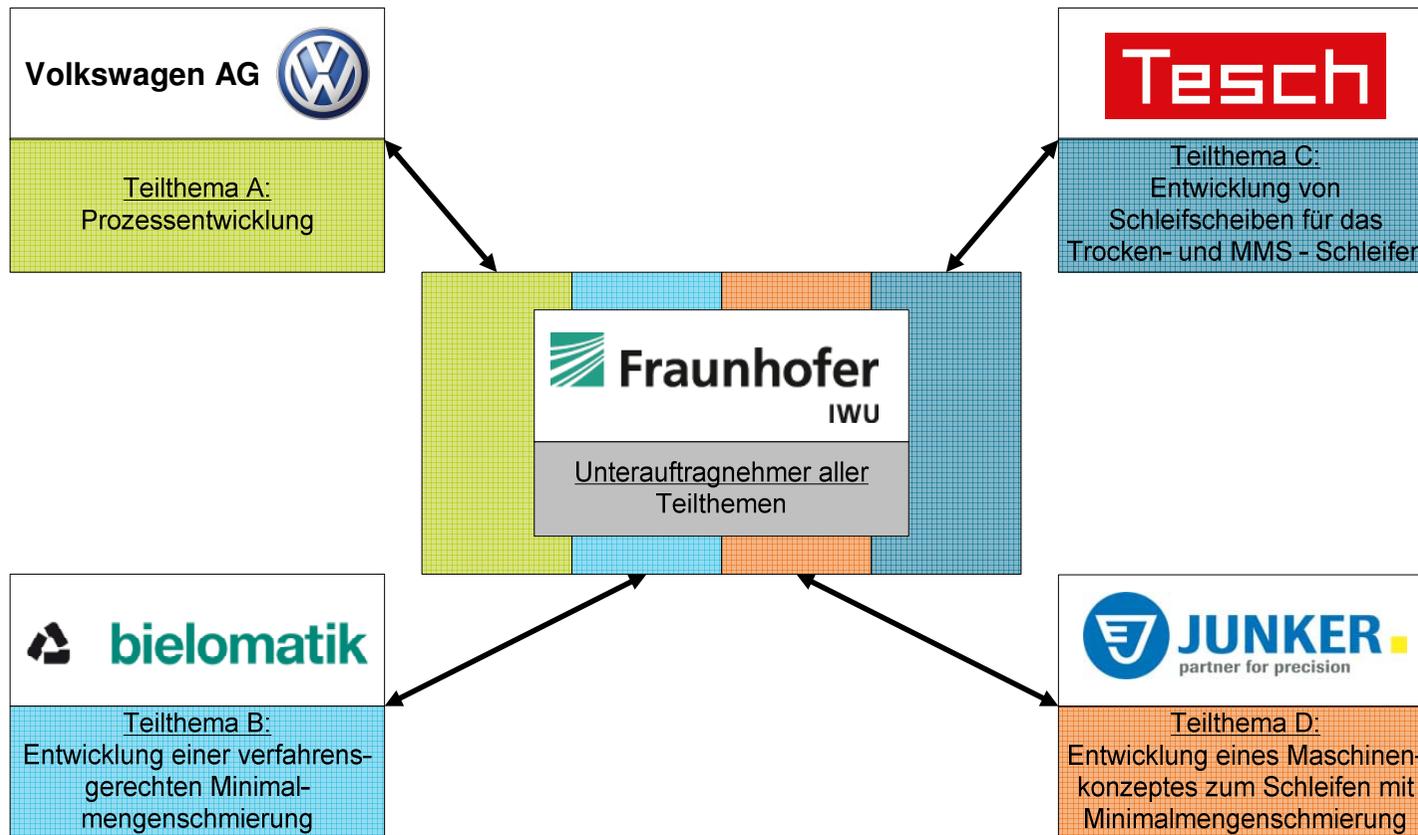
Gefördert vom BMWi im Rahmen des
5. Energieforschungsprogramms
„Energieeffiziente
Produktionsprozesse“



Leipzig, 02. März 2011



Energieeffiziente Feinbearbeitung mit geometrisch unbestimmter Schneide und Minimalmengenschmierung

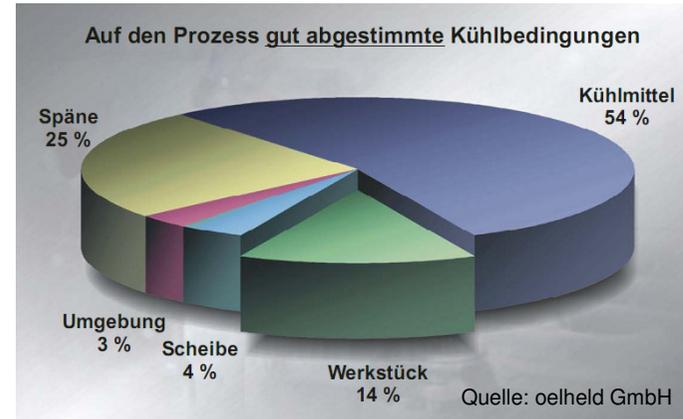
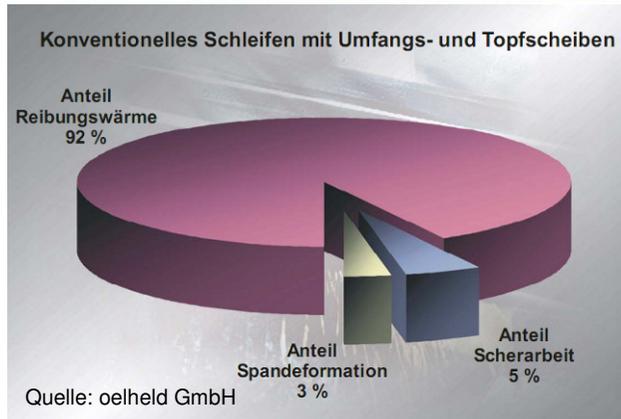
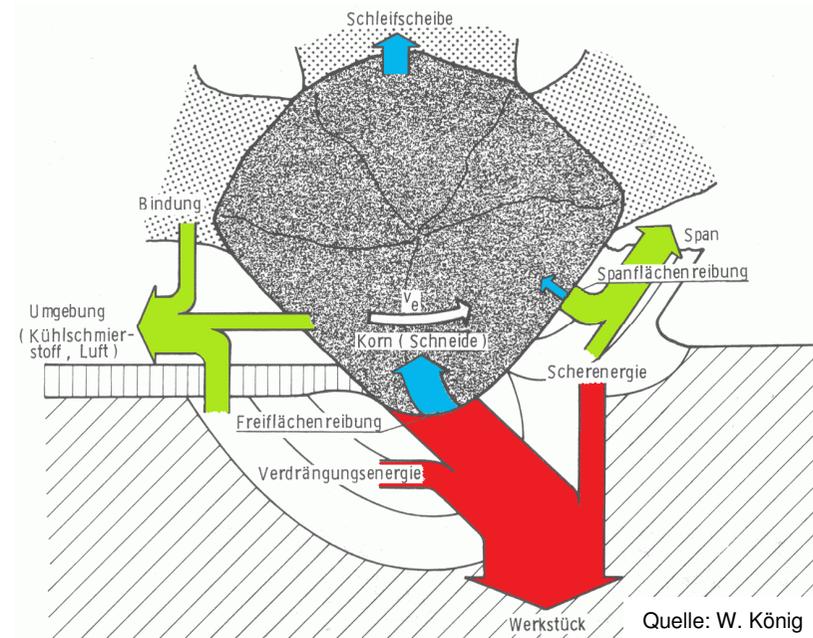
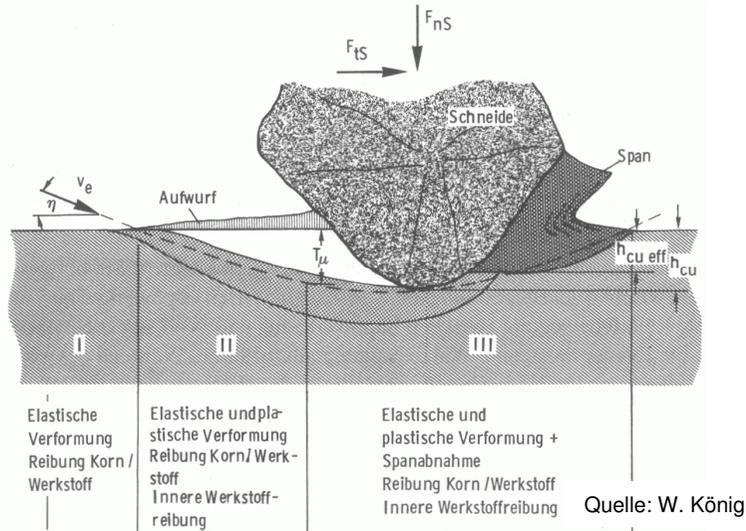


Energieeffiziente Feinbearbeitung mit geometrisch unbestimmter Schneide und Minimalmengenschmierung

1. Besonderheiten des Verfahrens Schleifen zur Trockenbearbeitung
2. Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen
3. Ergebnisse
4. Zusammenfassung

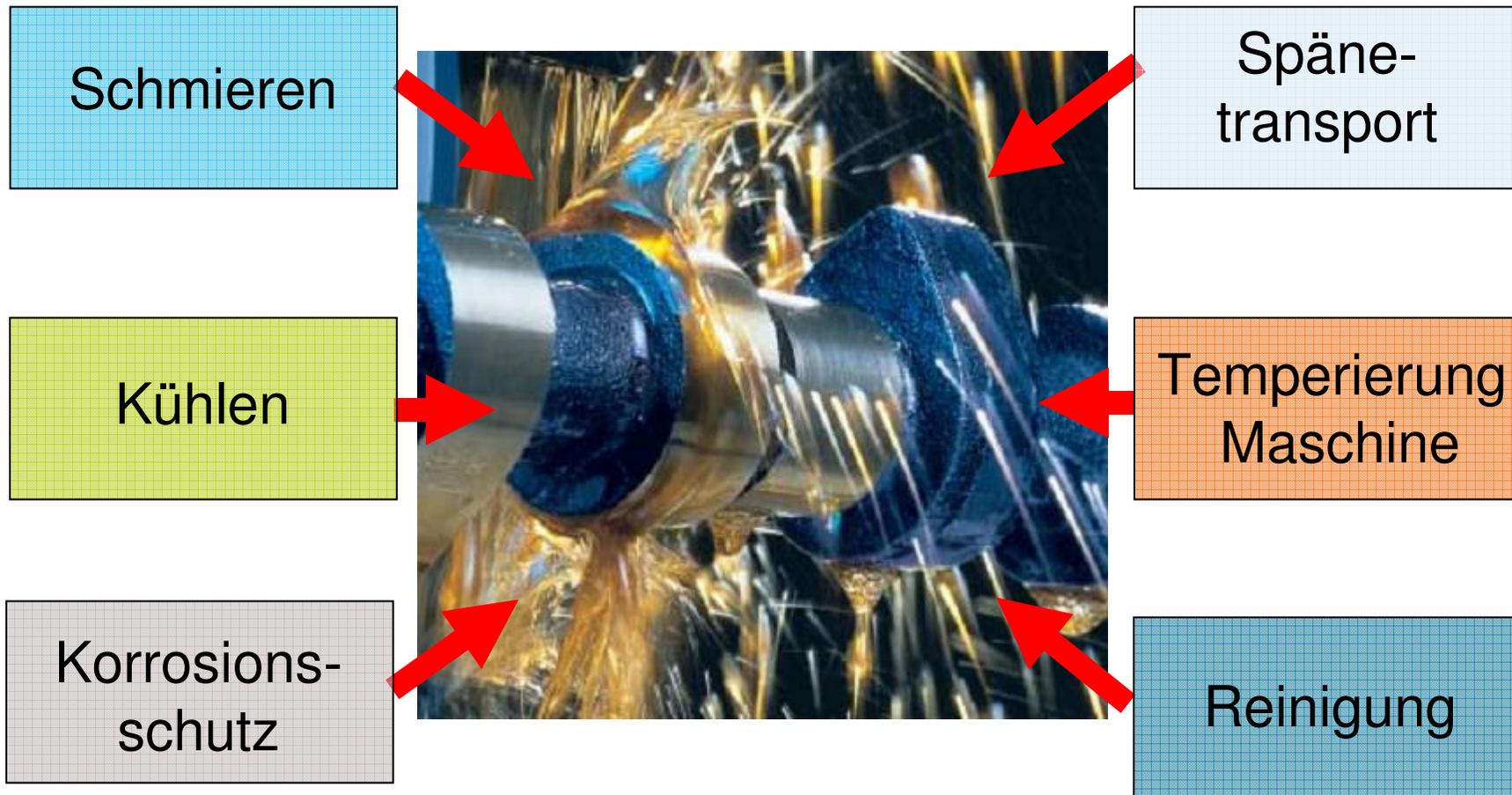
Besonderheiten des Verfahrens Schleifen zur Trockenbearbeitung

Zerspanungswärme beim Schleifen



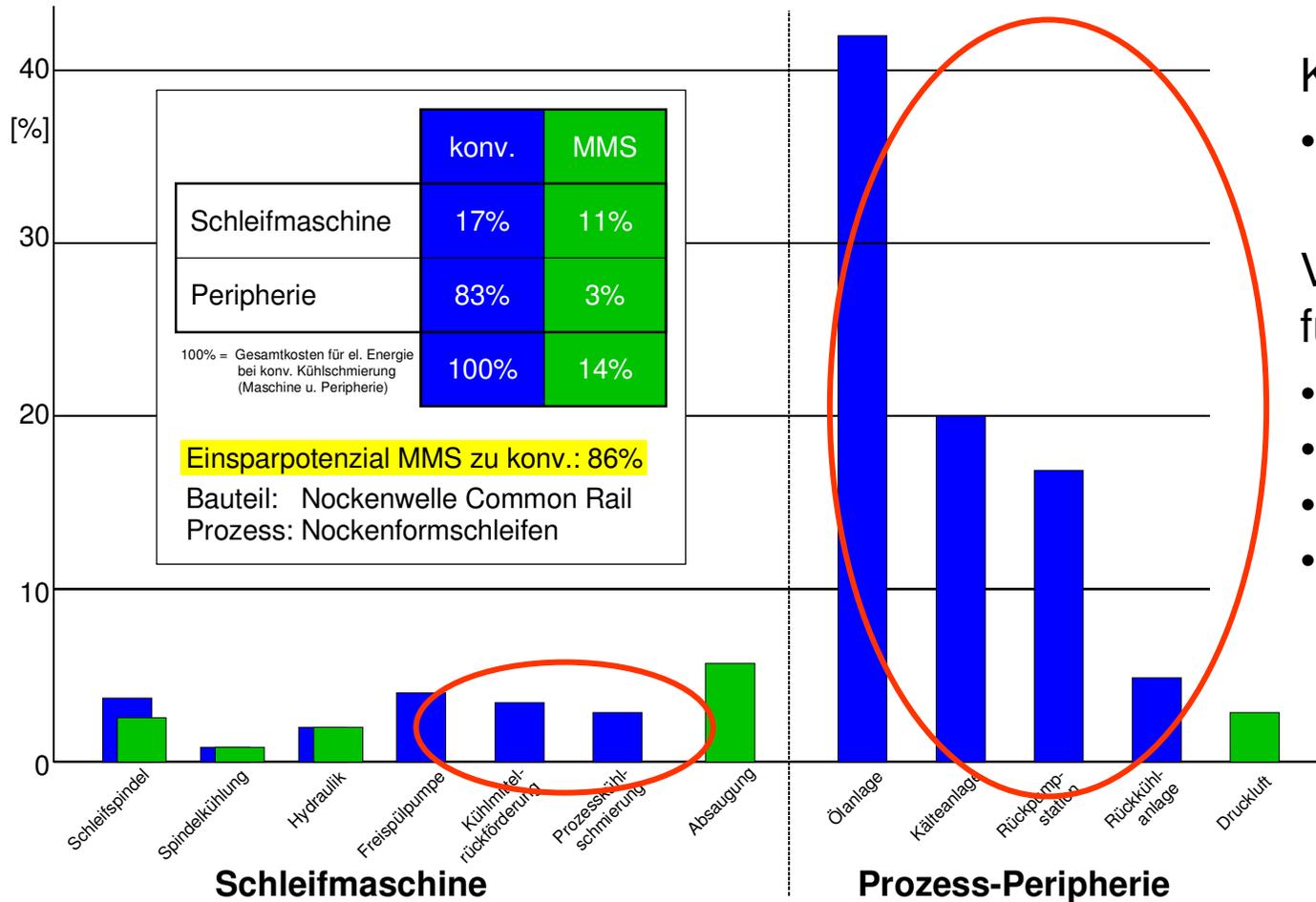
Besonderheiten des Verfahrens Schleifen zur Trockenbearbeitung

Funktionen des Kühlschmierstoffs



Besonderheiten des Verfahrens Schleifen zur Trockenbearbeitung

Potenzial der Trockenbearbeitung



Kosten elektr. Energie:

- **Potenzial:** s. Grafik

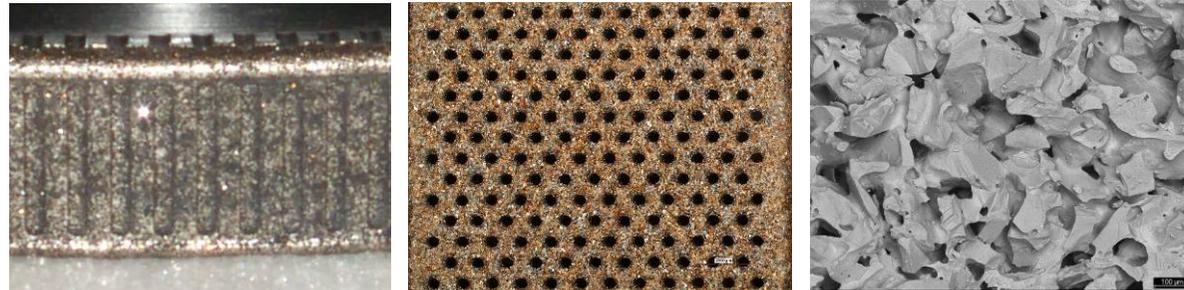
Vermeidung Kosten* für Kühlschmierstoff:

- Beschaffung
- Pflege
- Entsorgung
- Späneaufbereitung

*Personal- u. Sachkosten

Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

Vor- und Nachteile verschiedener Strukturen

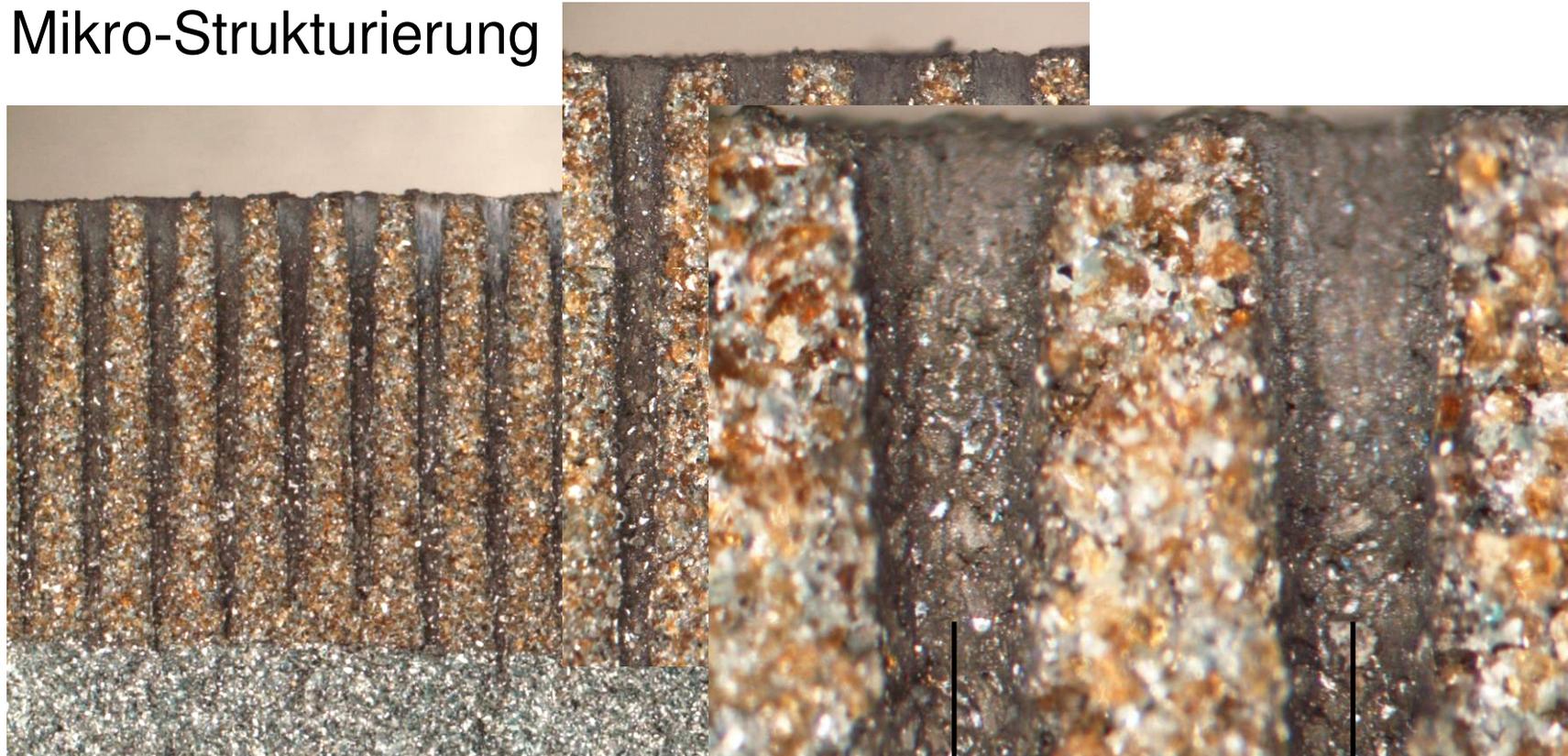


	Makro-Struktur	Mikro-Struktur	Porosität
Ausführungsart	Segmente, Nuten	Laserstrukturierter Belag	natürliche Porosität, zusätzliche Porenbildner
Abmessungen	mm – cm	µm – mm	µm - mm
Anpassung	zonenweise	lokal, sehr präzise	durchgängig, stochastisch
Kornhaltekraft	hoch	hoch	Abhängig von der Porosität
Zusätzlicher Verschleiß	kein	kein	Abhängig von der Porosität
Dynamische Anregung	möglich	gering	gering

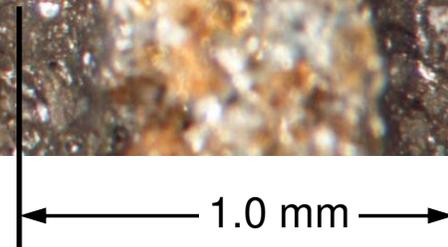
Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

Mit Laser eingebrachte Mikrostrukturen

Mikro-Strukturierung

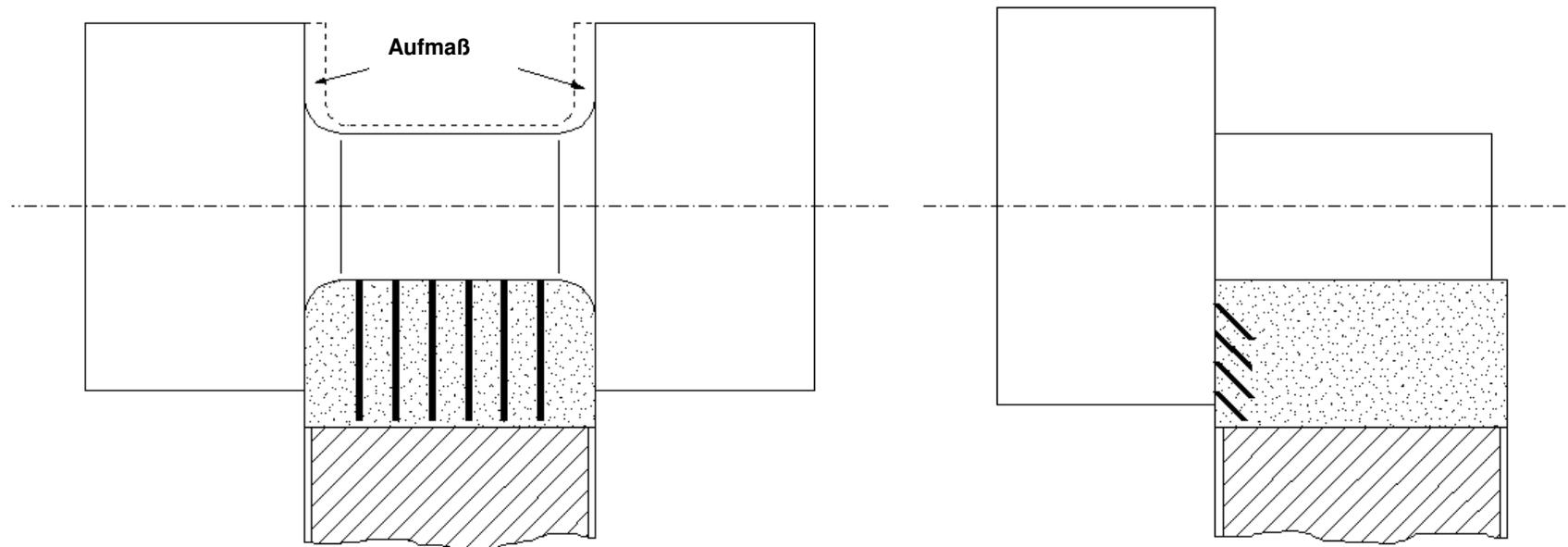


Schnitt durch einen mikrostrukturierten Schleifbelag



Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

Zonenweise Anpassung der Mikro-Strukturen an den Prozess

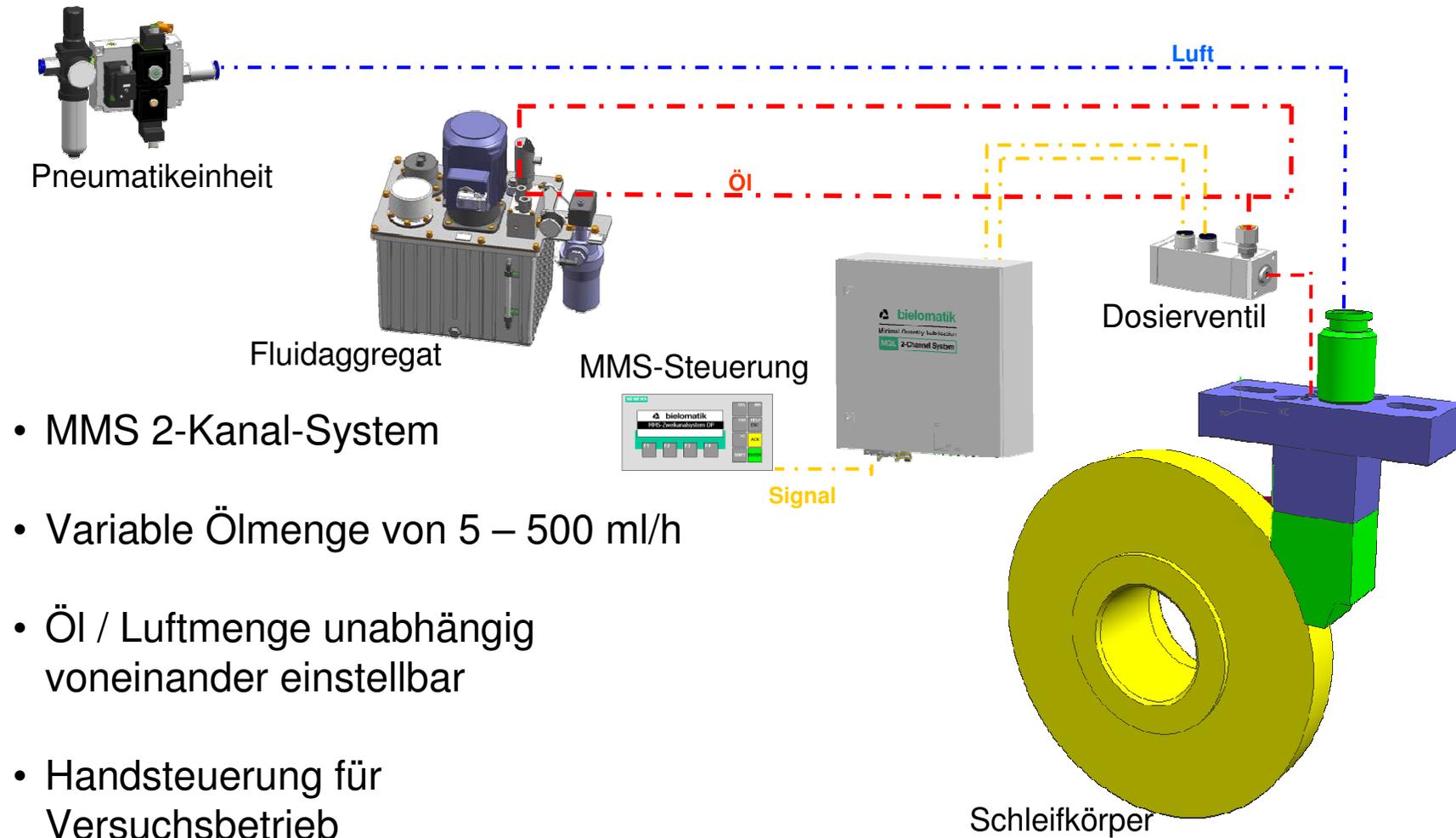


Anpassung an die Aufmaßverteilung

Vermeidung von Schleifbrand
an hohen Planschultern

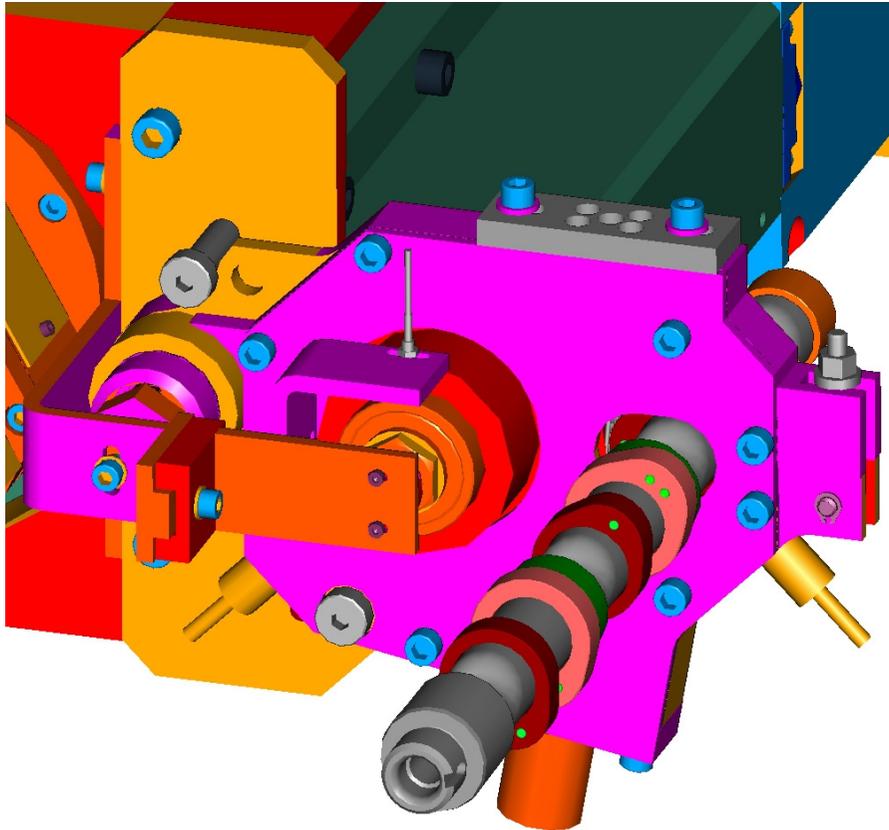
Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

Minimalmengenschmiersysteme für das Schleifen



Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

Maschinenanpassungen für das Schleifen mit Minimalmengenschmierung



Aufgaben:

- Sicherstellung einer vollständigen Absaugung aller Späne
- Verhinderung von Funkenflug in der Maschine
- Reduzierung von Wärmeeintrag in die Maschine

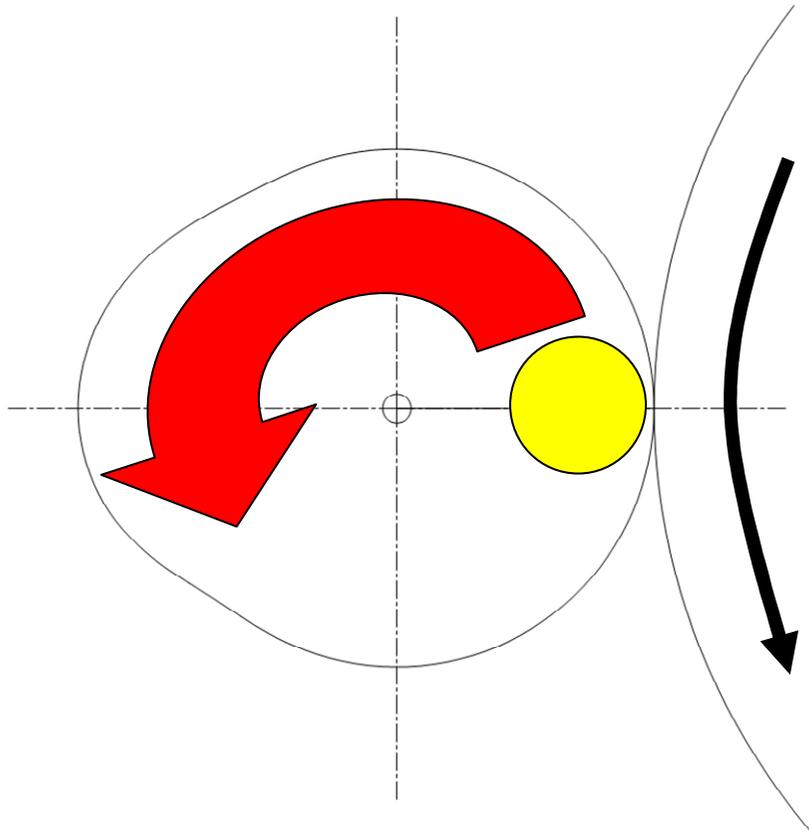
Lösungskonzept:

- Einbau einer Haube mit Absaugung, die Schleifkörper und Bearbeitungsposition komplett umschließt
- Integration von Messtechnik bei Versuchen

Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

Technologische Restriktionen beim Trockenschleifen

Geschwindigkeitsverhältnis q



- Quotient von Werkzeuggeschwindigkeit und Werkstückgeschwindigkeit ist wichtig für optimales thermisches Verhalten (heißes Material muss schnell vom Kontaktpunkt wegbewegt werden)
- Optimalwerte aus Literatur für Rundschleifen $q = 60$ (Schruppen) ... 120 (Schlichten)
- beim Nockenformschleifen $q = 610 \dots 760$

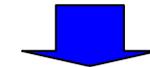
Geschwindigkeitsverhältnis



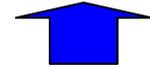
Schnittgeschwindigkeit



Kontaktlänge



spez. Zeitspanvolumen



Schleifzeit



Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

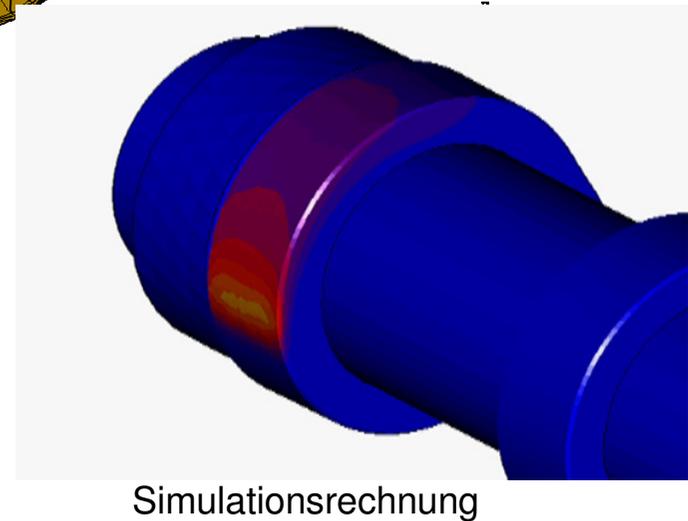
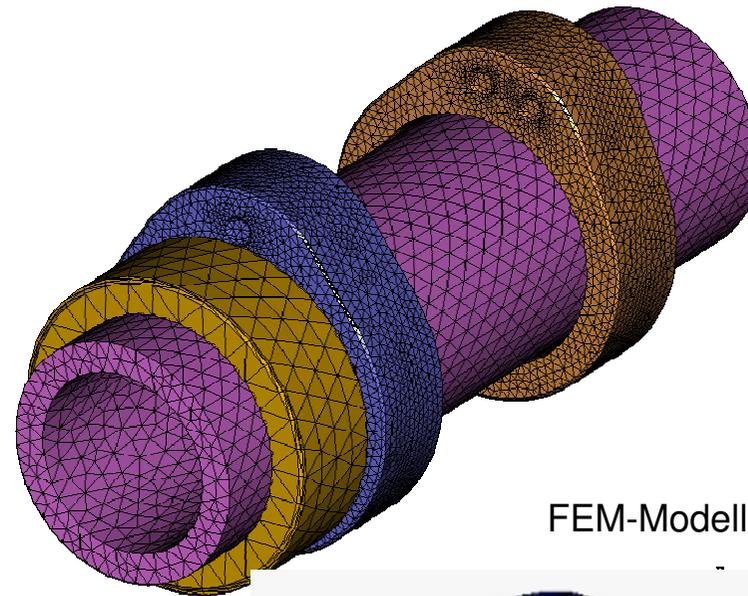
FEM-Simulation

Simulation mehrere Umläufe in partiellen Modellen

Thermische Randbedingungen:

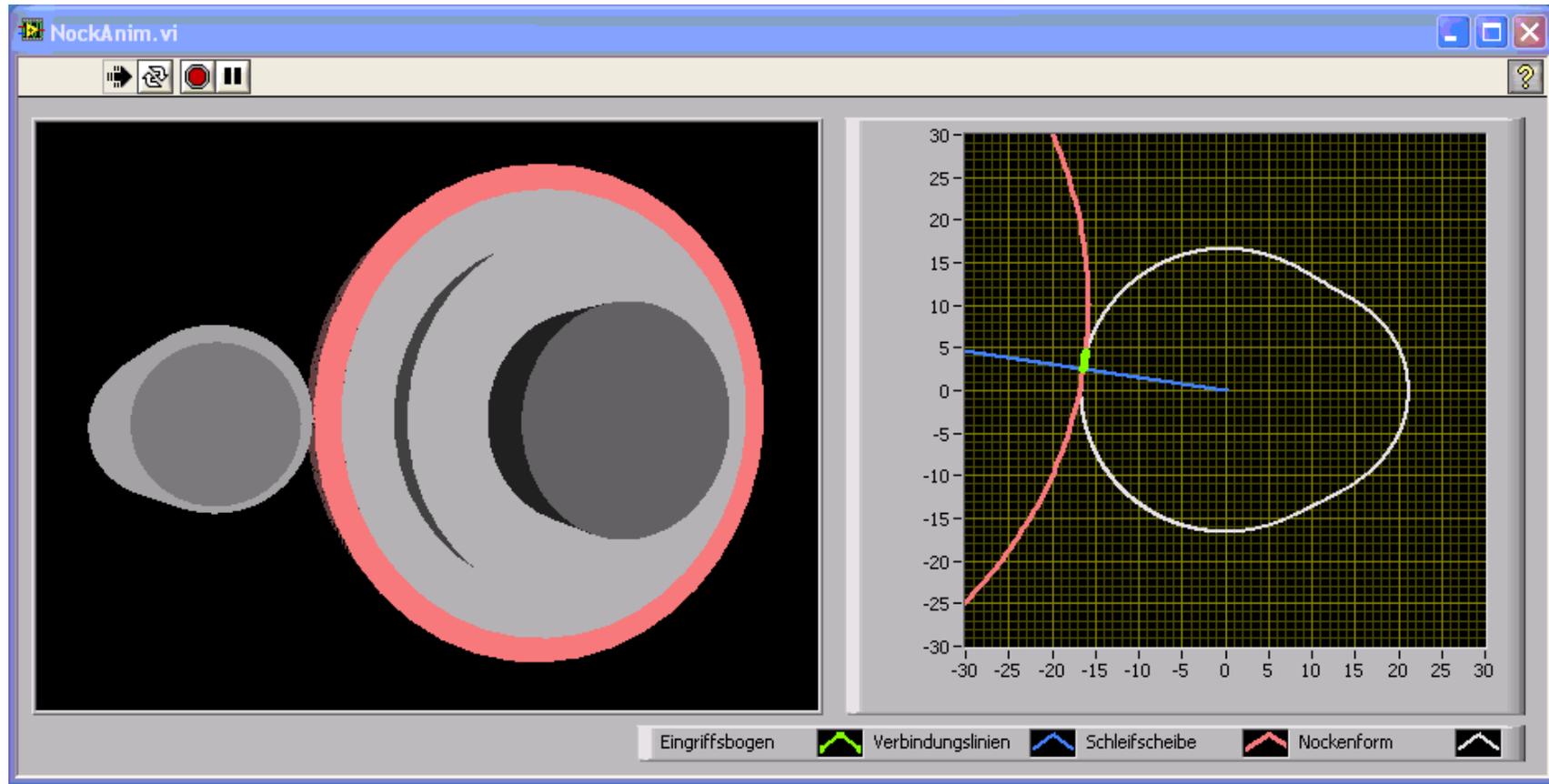
- Gauss-verteilte Wärmequelle mit Intensität q_0 , Radius r_0
- Variabel sind möglich: Intensität q_0 , Radius r_0 , Winkelgeschwindigkeit
- Wärmeübergang zu Umgebung
- Thermophysikalische Materialdaten aus Datenbasis des Programmsystems (nichtlinear von Temperatur abhängig)

Ziel: Ermittlung thermisch optimaler Bearbeitungsparameter und Bearbeitungsstrategien



Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

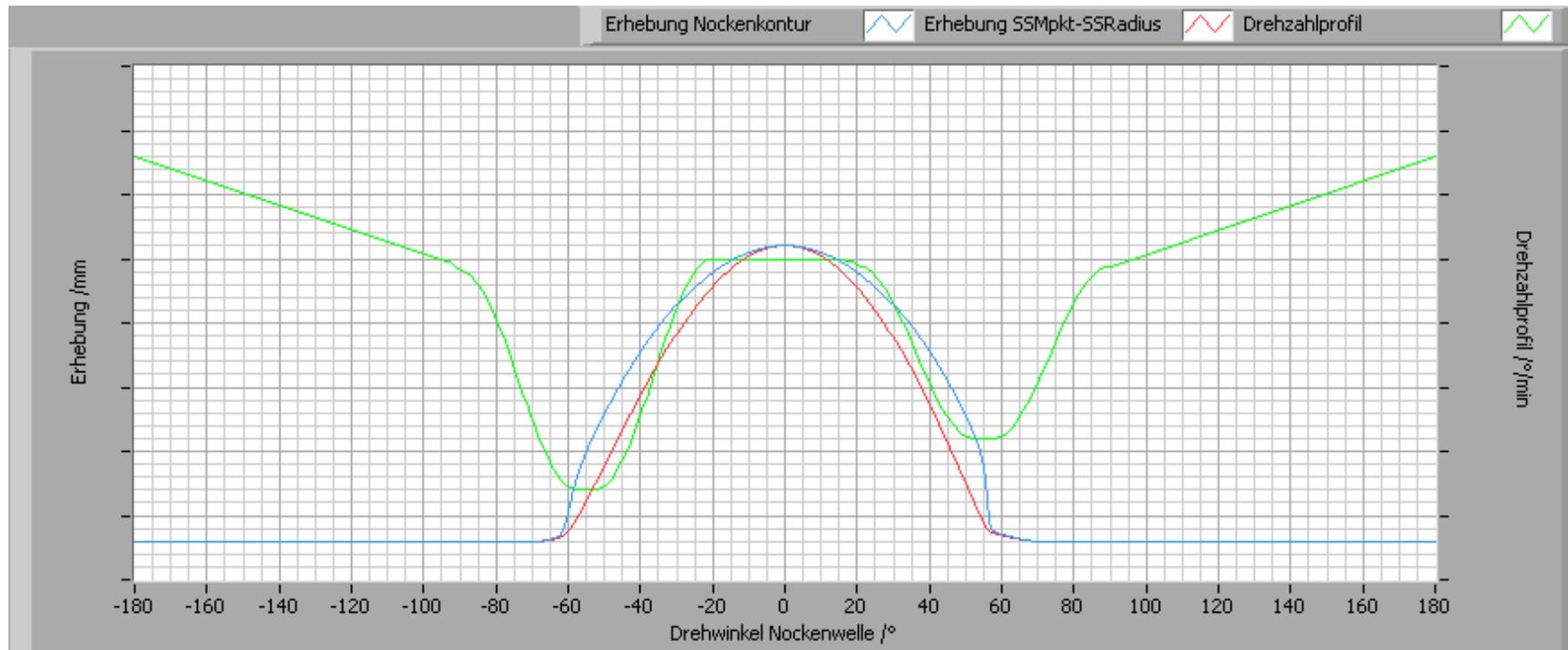
Technologie Nockenformschleifen



Variation der Eingriffsbedingungen beim Nockenformschleifen (animierte Darstellungen)

Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

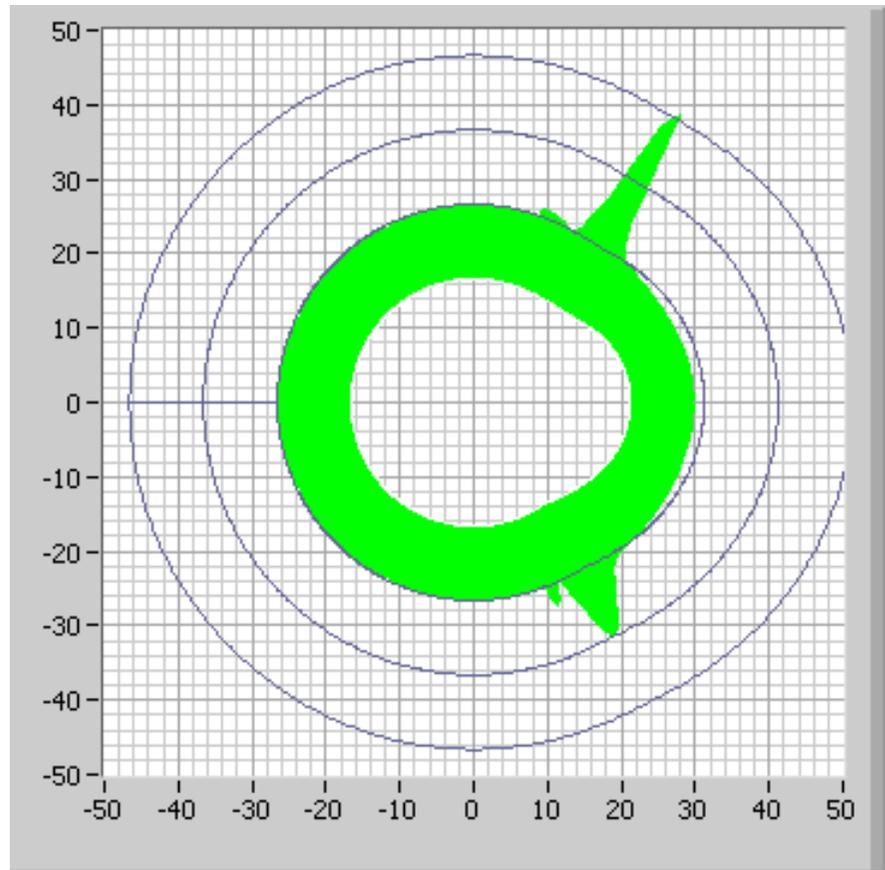
Technologie Nockenformschleifen



Beispiel für Erhebungskurven (Nockenform und Schleifscheibenmittelpunkt (- SS-Radius)) und ein Drehzahlprofil (Absenken der Werkstückgeschwindigkeit in den Flankenbereichen) beim Nockenformschleifen

Lösungsansätze für eine Trockenbearbeitung beim Schleifen

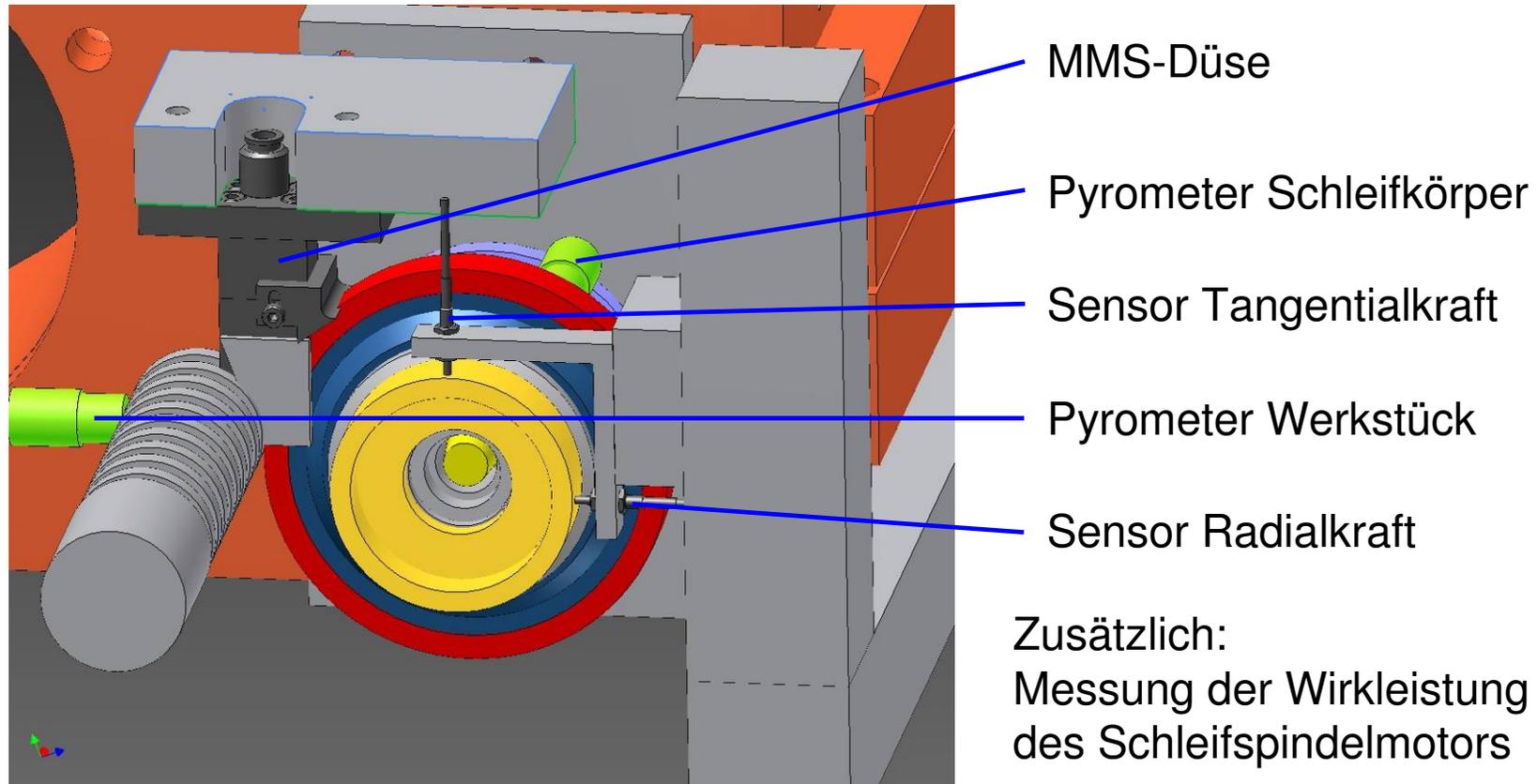
Eingriffsbogenlänge beim Nockenformschleifen



Verlauf der Eingriffsbogenlänge entlang der Nockenkontur

Ergebnisse

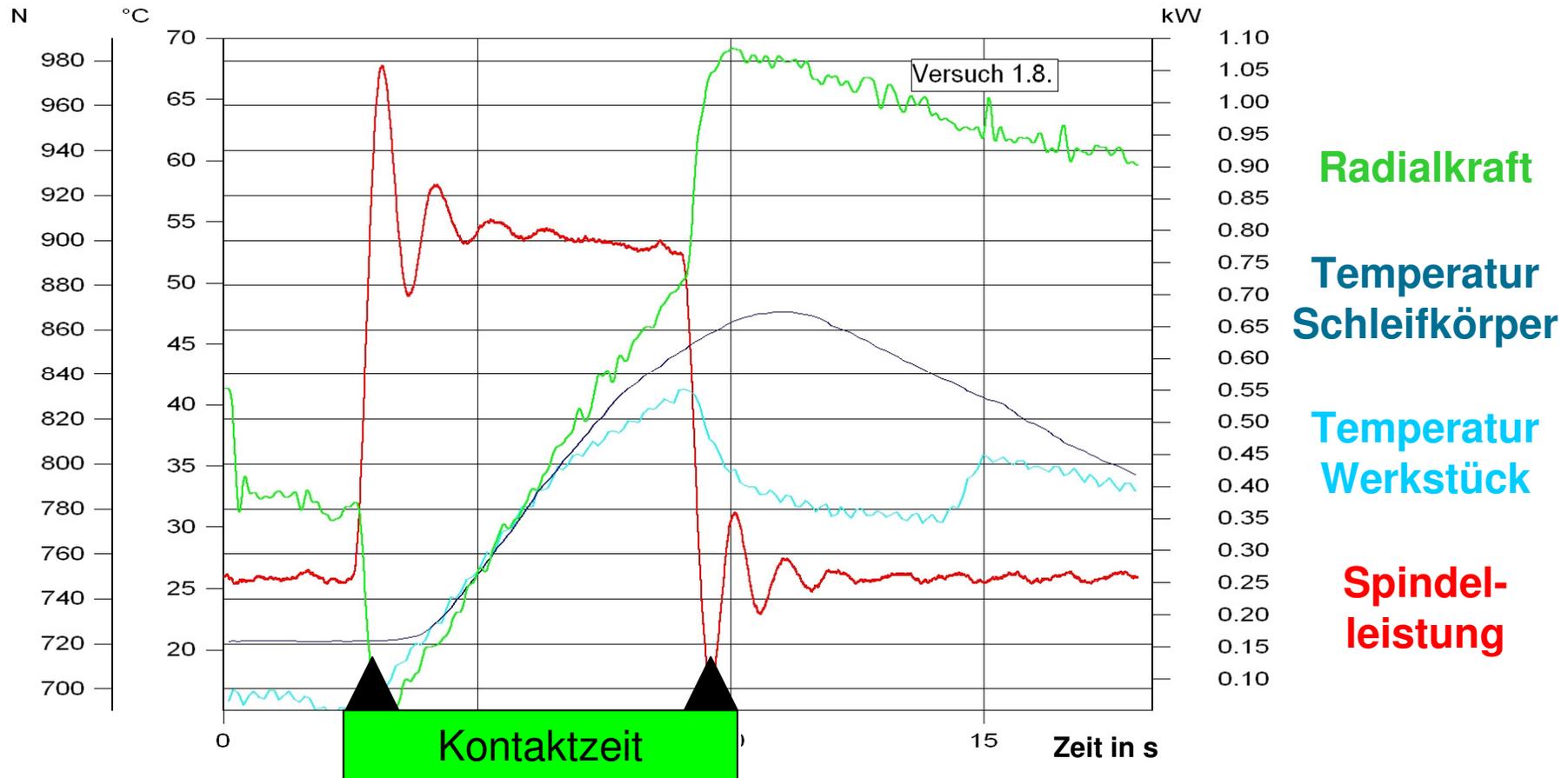
In-Prozess-Messungen



- Modifizierung einer KEL-VARIA UR 175/1500 am IWU
- Bearbeitung von runden Dummyteilen aus dem Originalwerkstoff

Ergebnisse

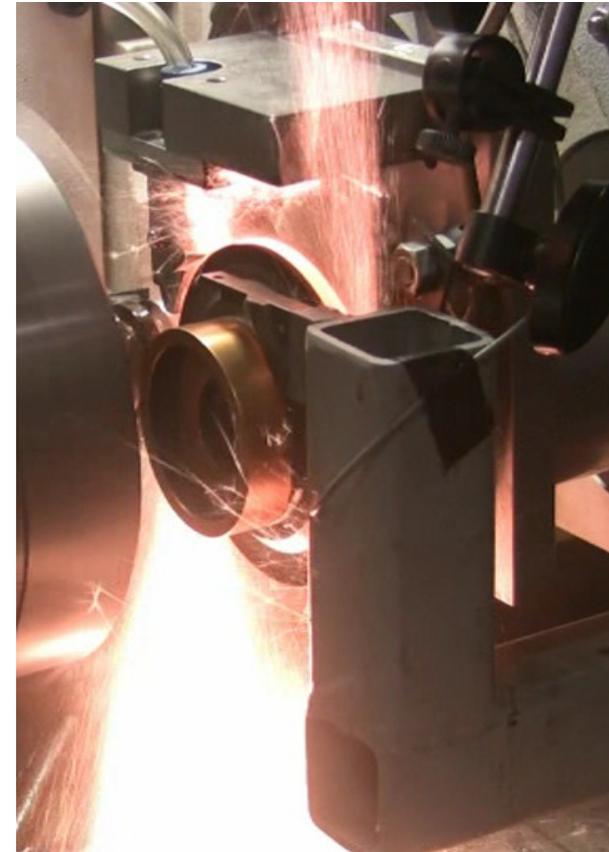
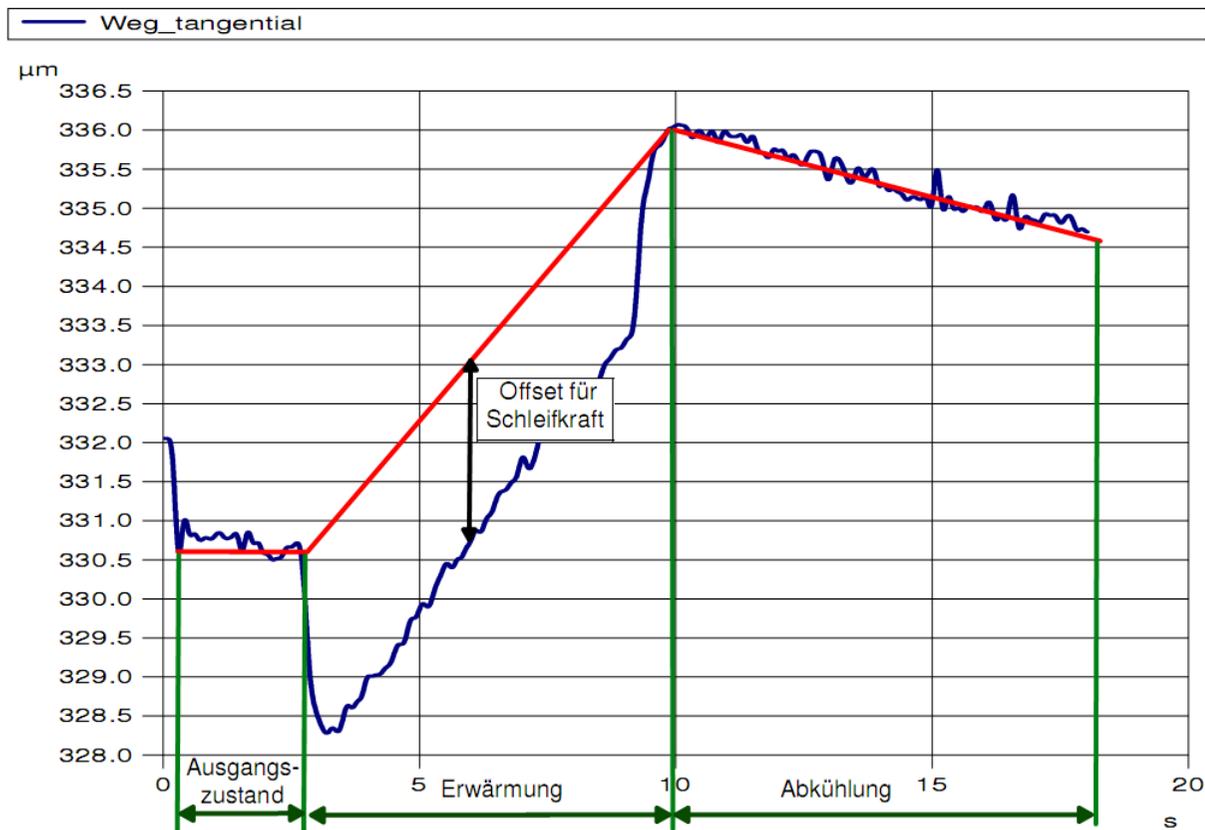
In-Prozess-Messungen



- typischer Messschrieb eines Versuches mit MMS (Dummyteil)

Ergebnisse

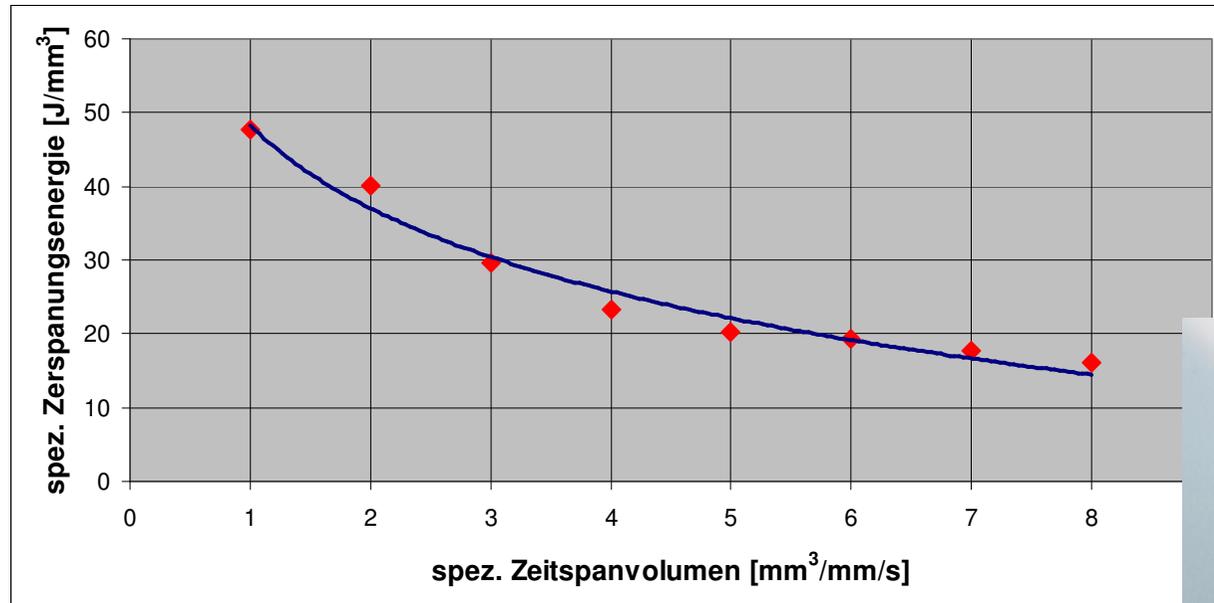
Thermischer Einfluss auf die Schleifkraftmessung



- bei Messungen im Mikrometerbereich müssen thermische Einflüsse bei der Auswertung berücksichtigt werden

Ergebnisse

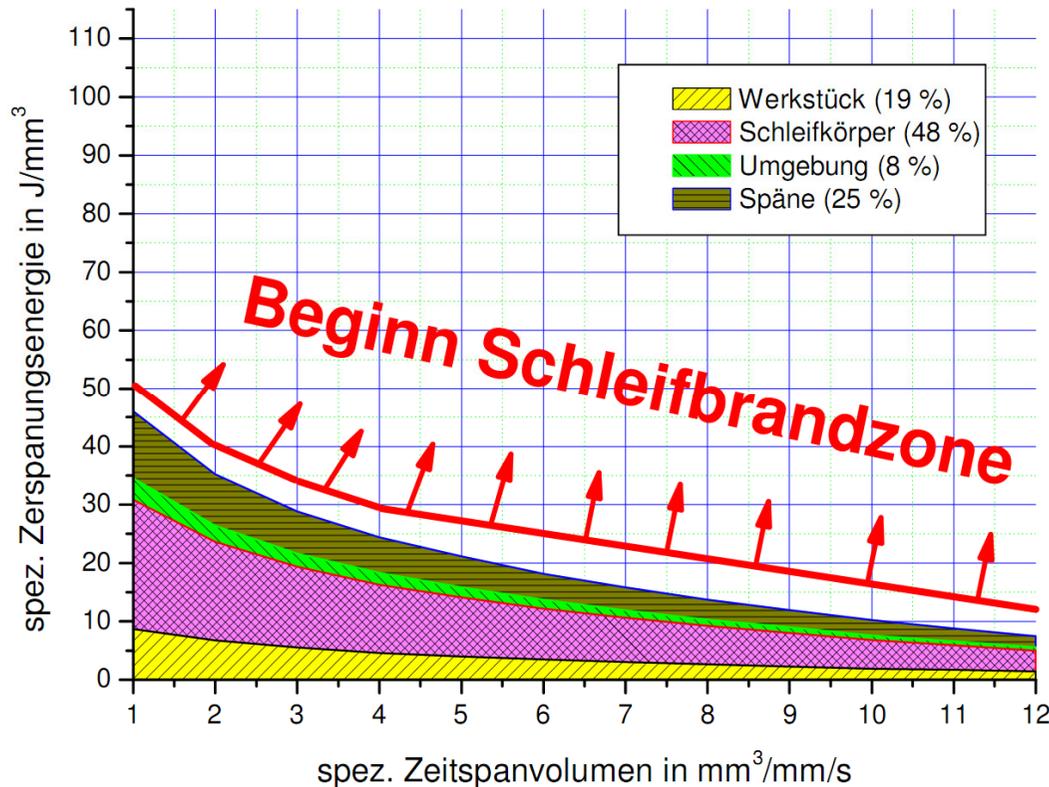
Spezifische Zerspanungsenergie



- spezifische Zerspanungsenergien von ca. 5...50 J/mm³ an Dummyteilen ermittelt
- Indiz für einen geringen Reibungsanteil
- mit zunehmendem Zeitspanvolumen nimmt die Zerspanungsenergie erwartungsgemäß ab

Ergebnisse

Ergebnisse Dummyteile



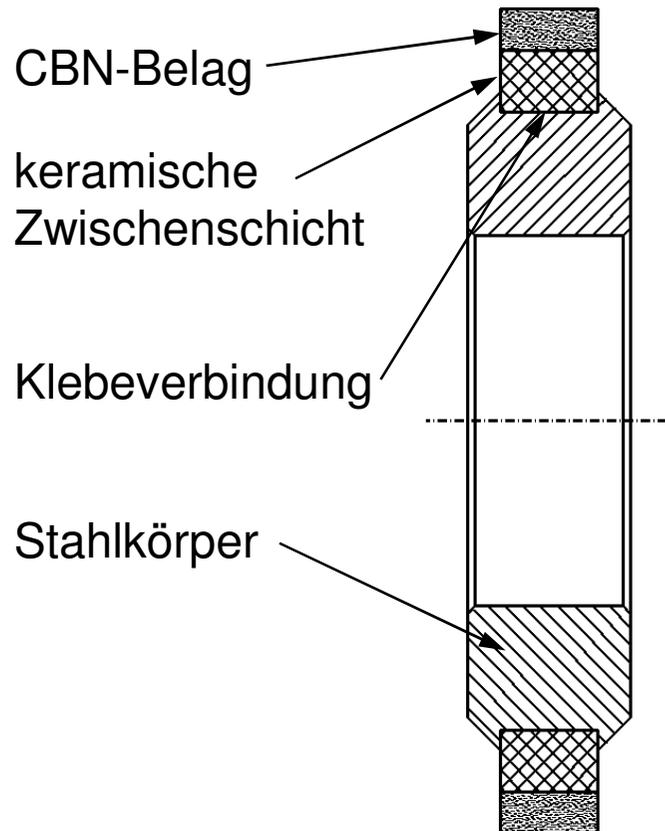
Grenze zur thermischen Randzonenbeeinflussung bei gehärtetem 100Cr6 beim Schleifen mit MMS

(basierend auf Dissertation Vits)

- die Wärmemenge, die beim Schleifen mit KSS durch den KSS abgeführt wird, wird beim Schleifen mit MMS durch den Schleifkörper und die Späne abgeführt
- somit keine thermischen Probleme unter Versuchsbedingungen
- die ermittelten Zerspanungsenergien liegen deutlich unterhalb der Schleifbrandgrenze
- bei runden Dummyteilen kein Schleifbrand nachweisbar

Ergebnisse

Optimierter Schleifkörperaufbau



Problem:

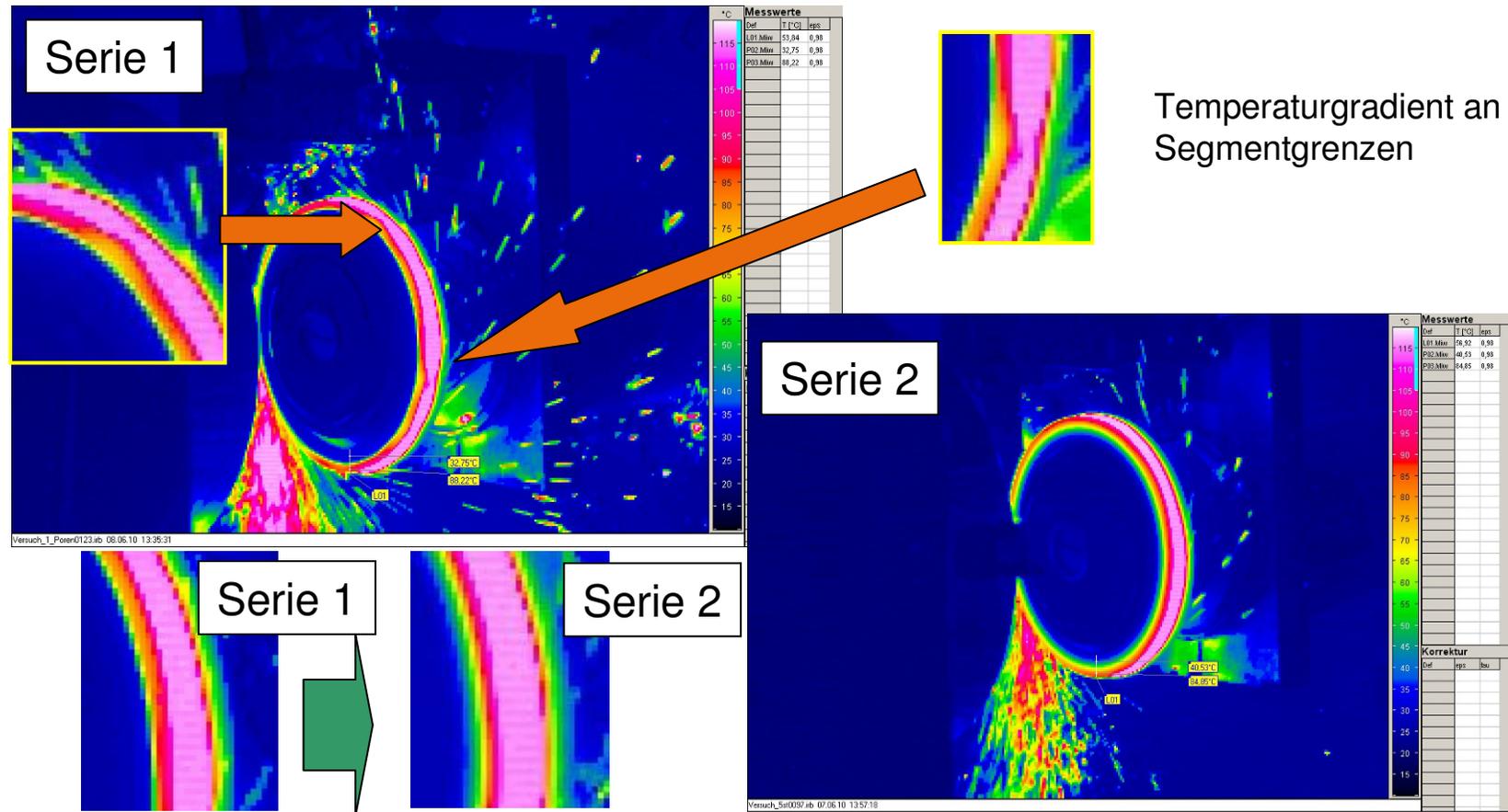
- starke Erwärmung des CBN-Belages, dadurch Lösen der Klebeverbindung

Lösungsansatz:

- Einsatz einer keramischen Zwischenschicht zur Verringerung der Wärmeleitfähigkeit des Keramikringes
- erhöhte Wärmeleitfähigkeit des Klebers
- keine Segmentierung des CBN-Belages

Ergebnisse

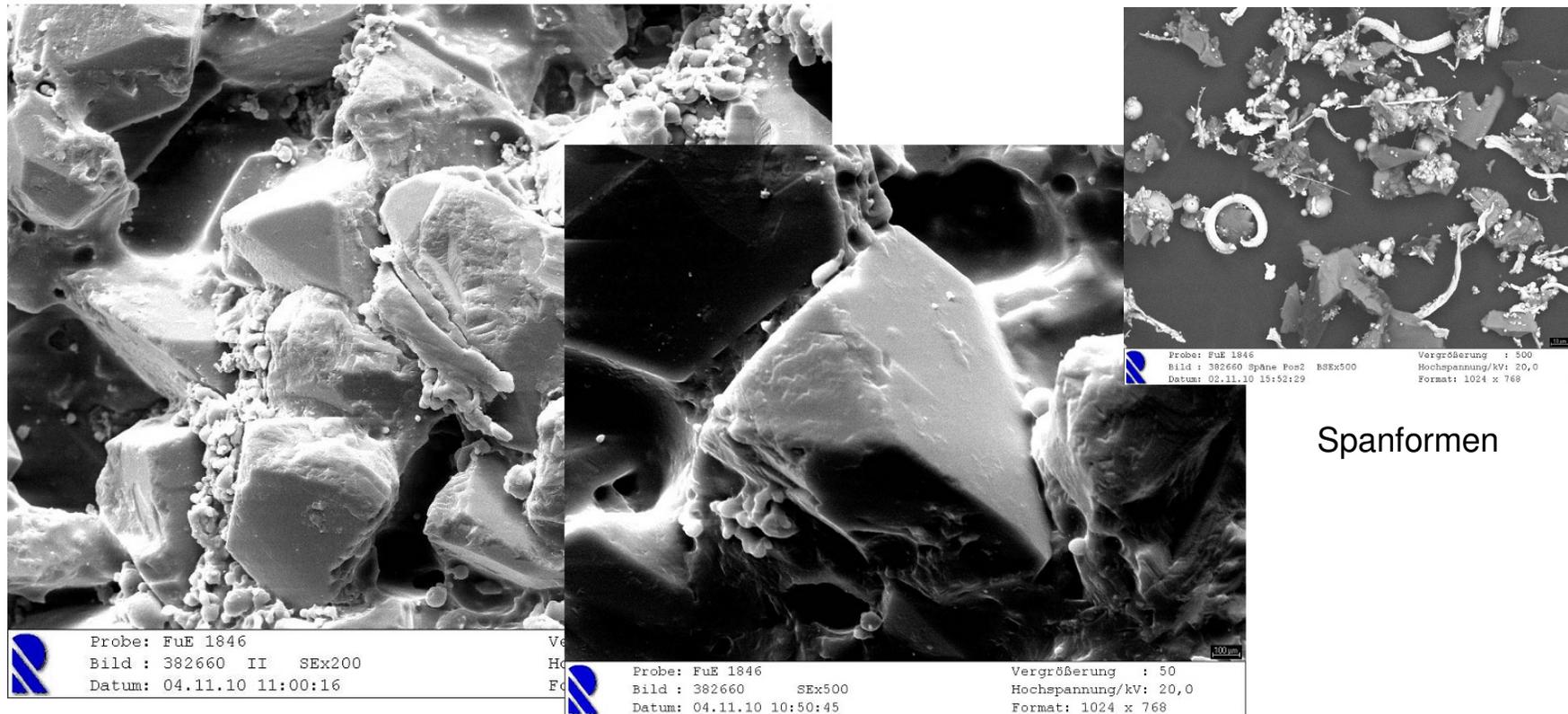
Thermisches Verhalten verschieden aufgebauter Schleifkörper



Thermoaufnahmen eines Schleifkörpers mit segmentiertem Belag (Serie 1) und optimierter Belagausführung (Serie 2)

Ergebnisse

Topografie des Schleifbelages und abgetragene Späne



Spanformen

REM-Aufnahmen eines Schleifkörpers nach der Bearbeitung mit MMS

- nur geringe Einlagerungen von Spänen in den Schleifkörper mit geringer Haftung der Späne am Schleifbelag

Ergebnisse

Aufbau und Technologie Referenzteil

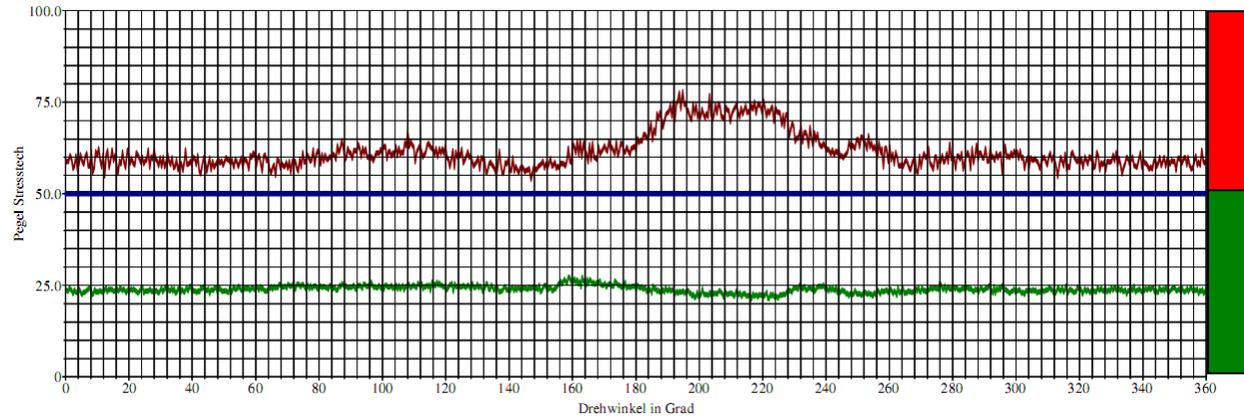


Auslass-Nockenwellen Dieselmotor Common-Rail:
3-Zylindermotor: Nocken roh (1) u. geschliffen (2)
4-Zylindermotor: Nocken geschliffen (3)

- Produktionsstandort:
Volkswagen Salzgitter
- Wellentyp: gebaut (Nocken,
Lagerringe, Endstücke, Rohr)
- Nockenwerkstoff:
100 Cr 6, induktionsgehärtet
- Schleifaufmaß gesamt:
ca. 0,5 mm (bez. auf Radius)
- Maschine: Junker Jucam
- Schleifscheibe: Tesch
- Kühlschmierstoff: Öl
- Tageskapazität: 9.200 Wellen
(4.600 Motoren 3- u. 4-Zyl.)

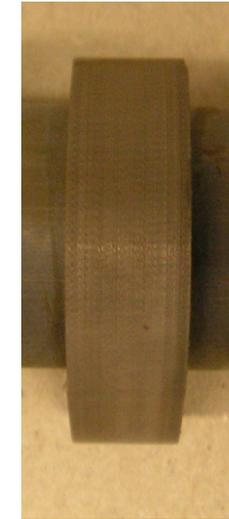
Ergebnisse

Schleifbrandprüfung Barkhausenrauschen



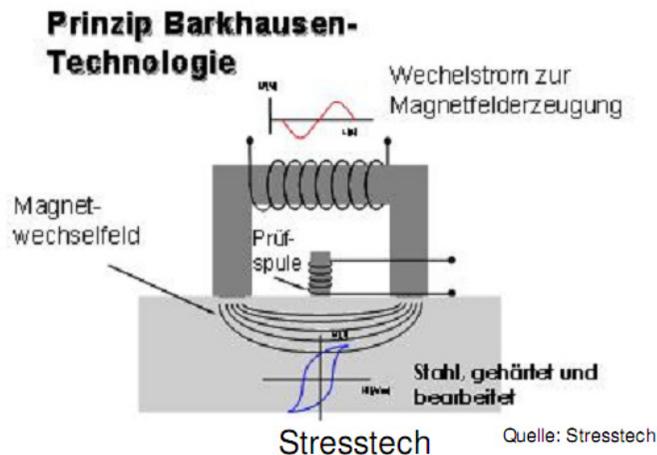
Schleif-
brand

Kein
Schleif-
brand



Messung eines Nockens mit Schleifbrand (rot) und ohne Schleifbrand (grün), beide Nocken mit MMS geschliffen

Referenzprüfung mit Nitalätzen



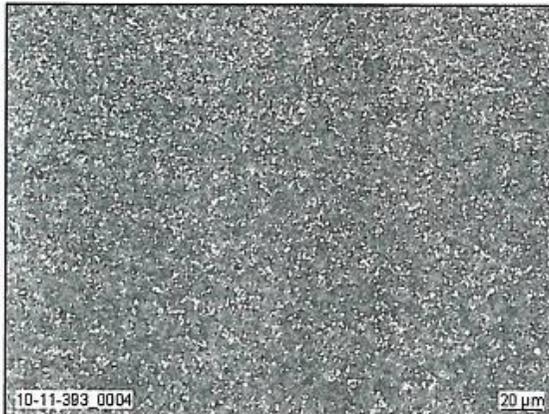
- Standardprüfverfahren zur Schleifbranderkennung bei Nocken ist das Barkhausenrauschen
- Verifizierung dieses Verfahrens beim Schleifen mit MMS erforderlich (Messung Mikrohärte, Nitalätzen usw.)

Ergebnisse

Schleifbrandprüfung sonstige Verfahren

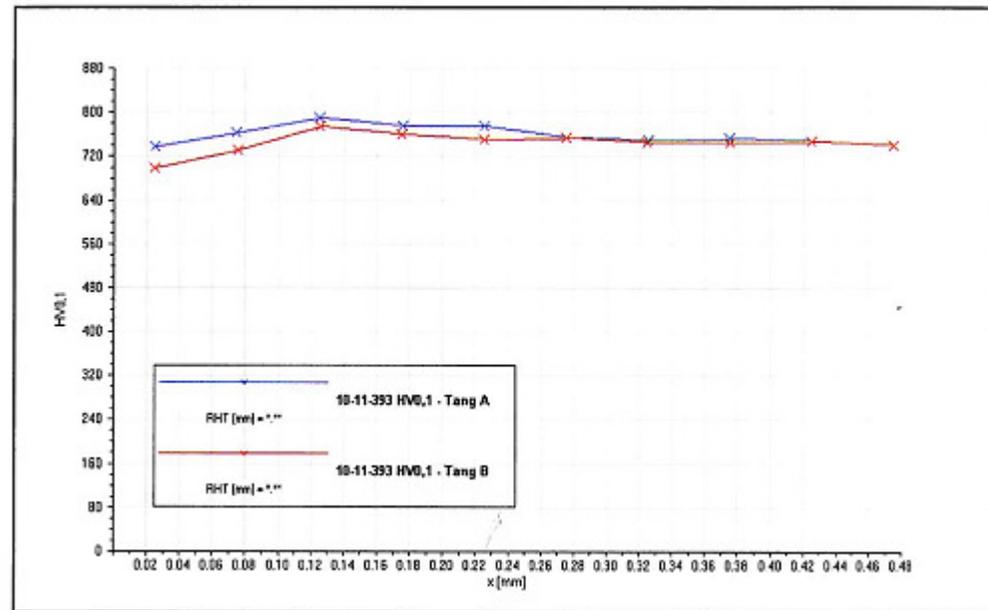
Schleifbrand liegt vor wenn:

- HV30 > HV5 auf Außenfläche
- Härteabfall bis 0,3 mm Tiefe > 100 HV am Schliff
- nach Nitalätzen Anlasszone erkennbar



Gefüge ohne Anlasszone

	Prüfstellen Nocken 2A			
	Nockenspitze	Tangente A	Tangente B	Grundkreis
HV 30	718	680	671	707
HV 5	718	689	673	713

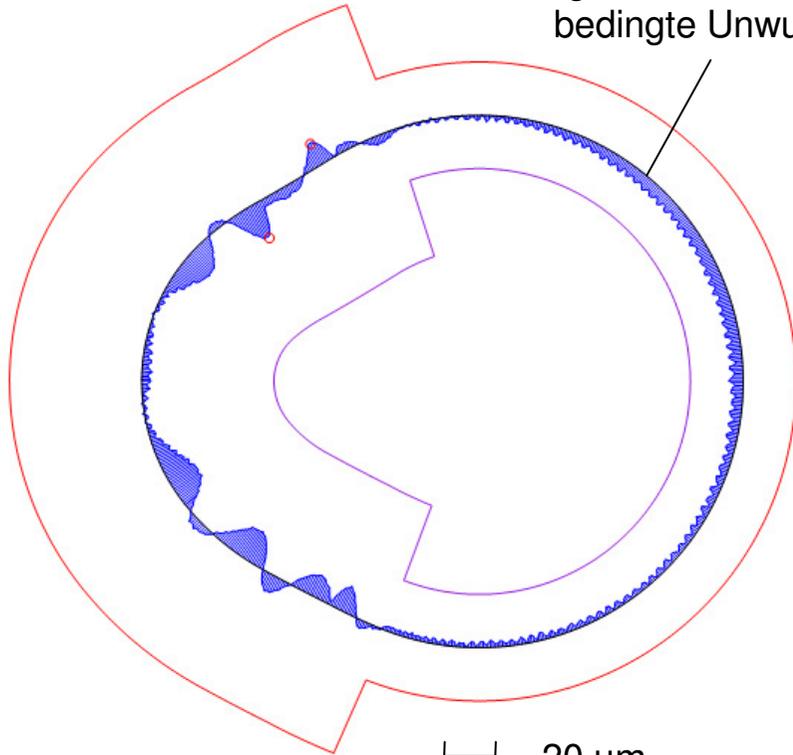


Bei allen Versuchsnocken, die beim Barkhausen-rauschen Gutteile waren, konnte auch mit anderen Prüfverfahren kein Schleifbrand nachgewiesen werden

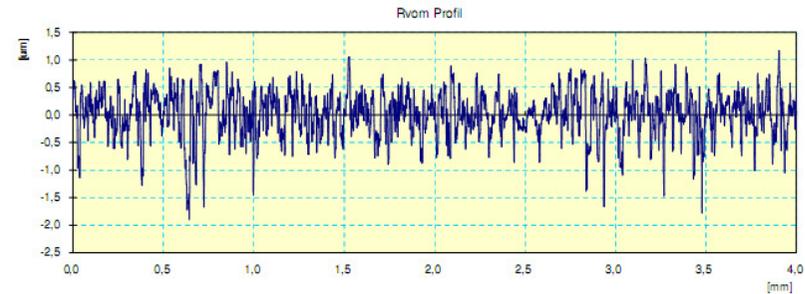
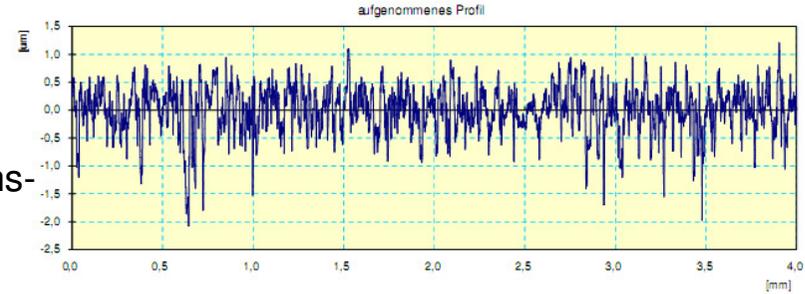
Ergebnisse

Geometrische Vermessung

Welligkeit durch versuchsbedingte Unwucht



- 20 µm
- Sollwert
- Abweichung
- Obere Toleranz
- Untere Toleranz

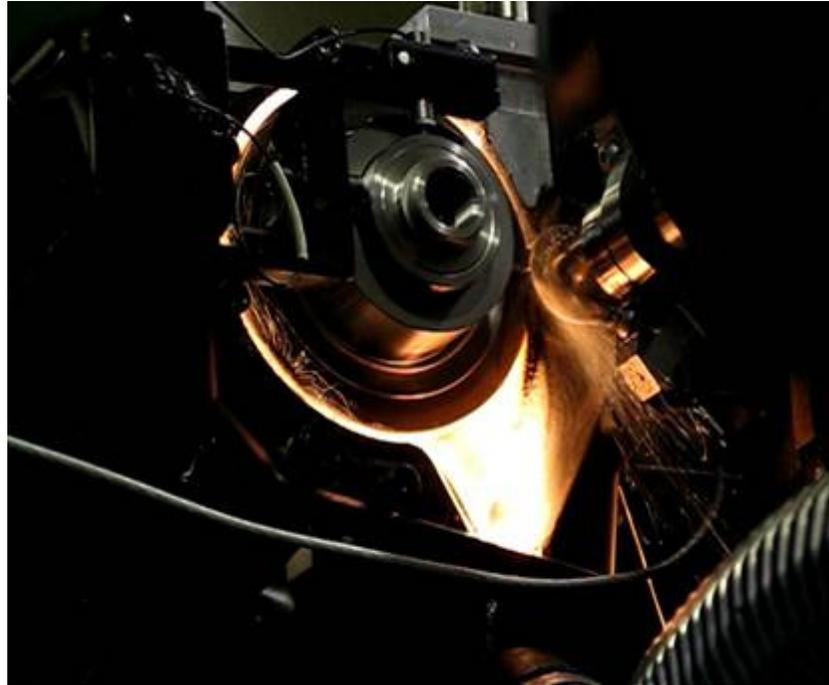


Werkstueck	Muster	Pruefer	Mitutoyo
Messgeraet	Surftest SJ-301	Kommentar	Version 3.20
Standard	JIS 2001	N	5
vom Profil	R	Cut-Off	0.8 mm
Bereich	AUTO	Filter	GAUSS
Ra	0.32µm		
Rz	2.55µm		
Rt	3.07µm		
Rp	1.01µm		

Unter Versuchsbedingungen sind alle geforderten Genauigkeiten erreichbar

Zusammenfassung

Fazit Projektstand



- die prinzipielle Machbarkeit konnte in Versuchen am Realbauteil nachgewiesen werden
 - im Versuch konnten einzelne Nocken in der Serientaktzeit unter Einhaltung aller Qualitätsanforderungen geschliffen werden
 - mit dem optimierten Schleifkörperkonzept ist ein hoher Wärmeeintrag in den Schleifkörper unter Versuchsbedingungen unproblematisch
-
- bis zu einem Serieneinsatz sind noch mehrere Aufgabenstellungen zu lösen

Zusammenfassung

Ausblick auf nächste Arbeitsschritte

