



Get out more!

# Wirtschaftliche Herstellung von Präzisionskomponenten – ein Praxisleitfaden

10. Internationale Fachtagung Produktionsmesstechnik



Rheineck, 02/09/2024

BMK Bringmann Manufacturing Knowledge AG

CH-9424 Rheineck

[www.bmk.swiss](http://www.bmk.swiss)

# Über uns

BMK bringt die Produktion nach vorne. Ob Sie schnell und verlässlich Teile benötigen, in die Produktion neuer Teilefamilien einsteigen, Mitarbeiter ausbilden oder Ausschuss reduzieren wollen. BMK ist Ihr Produktionspartner.

BMK wurde 1975 als Lohnfertiger BMK Bodensee Metall AG von Walter Kuhn gegründet. Im Jahr 2022 erfolgte die Neuausrichtung zum unabhängigen Produktionspartner.

Geschäftsführer und Mehrheitseigentümer ist Dr. Bernhard Bringmann. Bernhard war nach seiner Dissertation am Institut für die Werkzeugmaschinen und Fertigung der ETH Zürich lange Jahre beim Werkzeugmaschinenhersteller Starrag AG als Leiter Versuch, Entwicklungsleiter und Geschäftsführer tätig und kennt die Herausforderungen der Produktion.

Als Betriebsleiter arbeitet Yann Mabillard. Yann hat als gelernter Polymechaniker, Werk- und Lehrmeister sowie ausgewiesener Prozessfachmann bald 20 Jahre praktische Erfahrung in der Fertigung.

Mit unserem Team und unseren Partnern sind wir für alle Herausforderungen gerüstet. Wir freuen uns auf Sie!



# BMK – Der Lohnfertiger für 2024

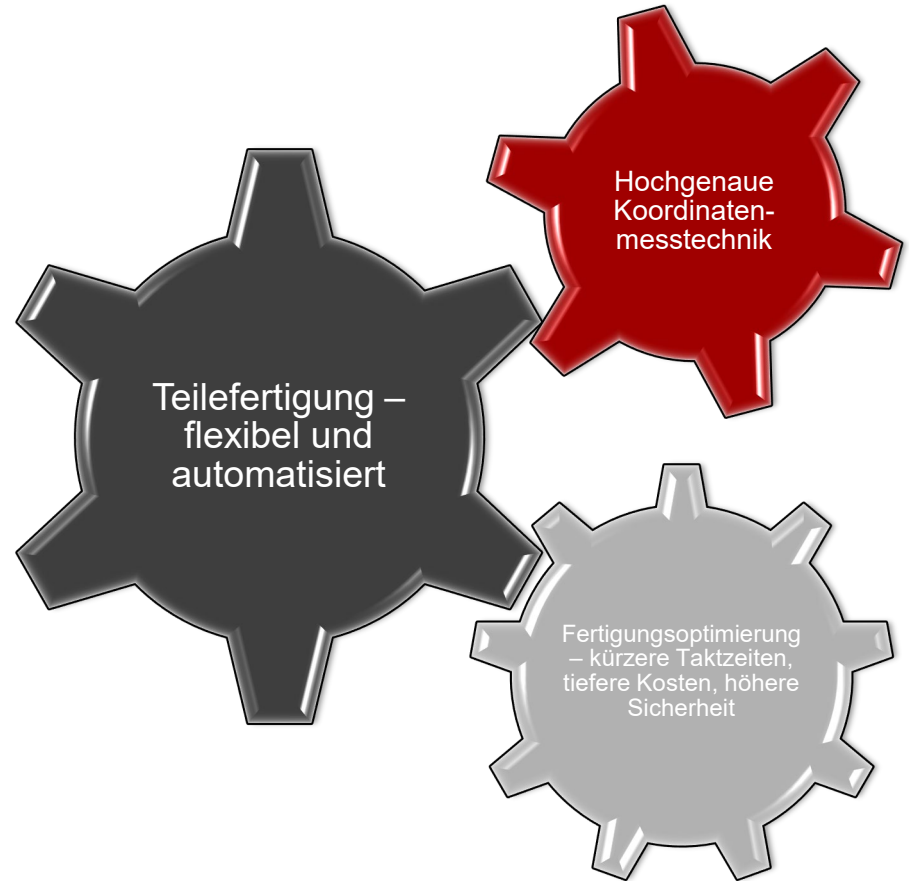
Warum gibt es BMK?

- < Weil viele Fertiger 1990 stehen geblieben sind!

Wir fertigen, wie man heute fertigen sollte

- < Effiziente Prozessentwicklung mit modernen Tools (Frequenzganganalyse, Makroprogrammierung, Werkzeugstandardisierung)
- < Teilefertigung flexibel automatisiert für alle Losgrößen
- < Prüfung nach ISO-GPS

ISO 9001:2015 zertifiziert



# Tägliches Brot der Fertiger

- < Komponenten mit hohen Genauigkeitsanforderungen für mechanische Bauteile (z. B. Optik, Präzisionsmaschinenbau), typischerweise



10 -20  $\mu\text{m}$



1 -5  $\mu\text{m}$



1 -5  $\mu\text{m}$



1 -5  $\mu\text{m}$



1 -5  $\mu\text{m}$

- < sollen kostengünstig (automatisiert) in gleichbleibenden Qualität geliefert werden

- < Solche Genauigkeitsanforderungen sind nichts neues, aber man kommt weg vom «Künstleransatz» (der Experte mit >20 Jahren Erfahrung auf dem Lehrenbohrwerk/ Schleifmaschine kriegt das irgendwie hin, der Monteur, der sein Leben lang schon Optiken/ Spindeln/... montiert, weiss dann schon, was er zu machen hat...)

# Stand der Technik

- ◀ Good news! Kostengünstiges Fertigen von hochgenauen Komponenten ist vielfach möglich durch
- ◀ Höhere Genauigkeit von Fräs-/ Drehmaschinen
  - Thermisches Verhalten optimiert
  - Hohe geometrische Grundgenauigkeit
  - Hochgenaue Messsysteme und Messtastern auf der Maschine
  - «Auto calibration» -> Selbstkalibrierung mit Messtastern
- ◀ 5-Seiten Bearbeitung und Verfahrensintegration
- ◀ Fortschritte bei Werkzeugen (Standzeiten bzw. Möglichkeiten für Hartbearbeitung)
- ◀ Kostengünstiger und zuverlässiger Automatisierung

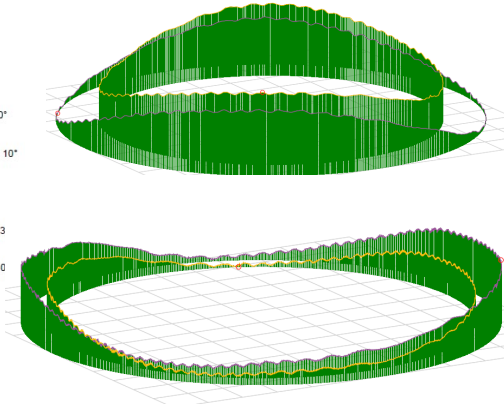
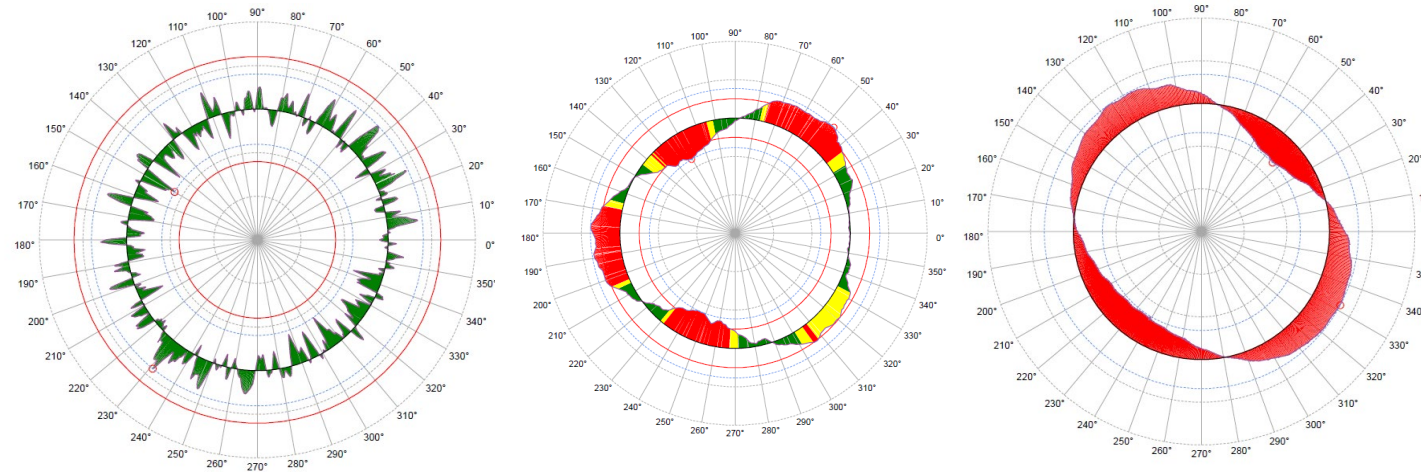
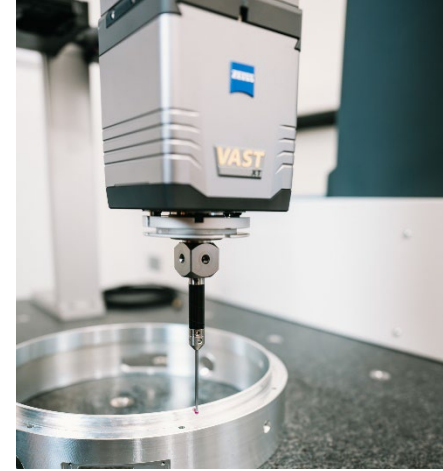


# Systematische Analyse verbleibender Abweichungen

- ◀ Anfallende Abweichungen können mit Koordinatenmessgeräten gut (grafisch) analysiert werden und systematisch Abhilfe geschaffen werden

ODER

- ◀ Man versucht einfach irgendwas oder (noch schlimmer) hofft, dass es beim nächsten mal schon gut kommt



# Stand der Technik

◀ Unserer Erfahrung nach erreichbare Genauigkeiten per Drehen/ Fräsen (wenn man die richtigen Maschinen hat und weiss, was man tut)



10  $\mu\text{m}$



2 - 3  $\mu\text{m}$



3 - 4  $\mu\text{m}$



3 - 5  $\mu\text{m}$



3 - 5  $\mu\text{m}$

◀ Wenn das nicht ausreicht, gibt es andere Verfahren



<1  $\mu\text{m}$  (Schleifen/ Läppen)



<1  $\mu\text{m}$  (Schleifen/ Läppen)



1 - 2  $\mu\text{m}$  (Rundschleifen)



1 - 2  $\mu\text{m}$  (Läppen/ Schleifen)



ZEISS CALYPSO

7.4.08

Bauteilname  
Zeichnungsnummer

Auftragsnummer  
Firma

KMG-Typ MICURA\_6206  
KMG-Nr 145223051731  
Prüfer Master

Interne Nr.  
Teile Ident 26  
Datum 13.08.2024  
Ablauf Alle Prüfmerkmale  
Anzahl Messwerte 12  
Anzahl Messwerte: rot 0



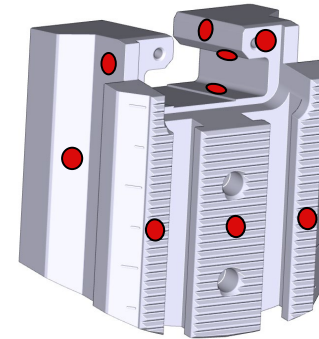
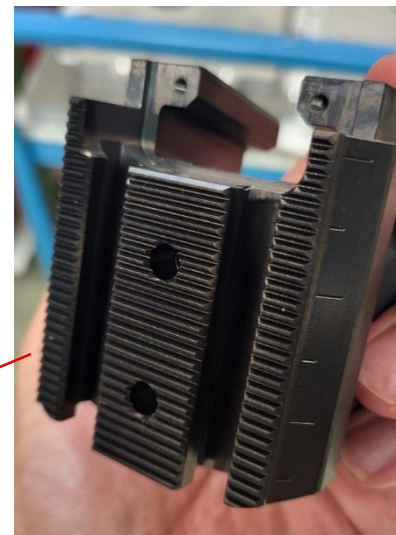
Name	Messwert	Nennmaß	+Tol	-Tol	Abweichung	+/-
10_Durchmesser_A	63,98983 mm	64,00000	-0,00500	-0,03000	-0,01017	
10_RundheitA	0,00224 mm	0,00000	0,02000	0,00000	0,00224	
11_BzuA	0,00368 mm	0,00000	0,00500	0,00000	0,00368	
12_Ebene11.192zuA	0,00362 mm	0,00000	0,00500	0,00000	0,00362	
13_EbeneXzuA	0,00155 mm	0,00000	0,00200	0,00000	0,00155	
14_EbeneZzuA	0,00294 mm	0,00000	0,00400	0,00000	0,00294	
15_Durchmesser_048.3	48,30011 mm	48,30000	0,02500	0,00000	0,00011	
16_048.3zuA	0,00241 mm	0,00000	0,01000	0,00000	0,00241	
17_Durchmesser_072.3	72,32333 mm	72,30000	0,03000	0,00000	0,02333	
18_072.3zuA	0,00122 mm	0,00000	0,01000	0,00000	0,00122	
EbenheitB	0,00322 mm	0,00000	0,00500	0,00000	0,00322	
Ebenheit11.192	0,00314 mm	0,00000	0,00500	0,00000	0,00314	



Get out more!



- < Sehr innovativer Hersteller von Spannsystemen aus Gossau, SG
- < Gutes Beispiel
  - < Alle wichtigen Flächen in einer Aufspannung herstellbar
  - < Spannfläche kann danach abgetrennt werden
  - < Toleranzhaltige Oberflächenbehandlung





## Problem gelöst? Nicht ganz...

◀ Das gilt nicht, wenn...

- 1 ▶ ... die relevanten Elemente nicht in der gleichen Aufspannung bearbeitet werden können
- 2 ▶ ... das Teil/ die Aufspannsituation nicht ausreichend stabil ist, dass die Komponente nicht vom Spann- oder Bearbeitungsdruck deformiert wird
- 3 ▶ ... die Komponente durch den Abbau von Eigenspannungen beim Auspannen deformiert wird
- 4 ▶ ... keine Oberflächenbehandlung erfolgt, die die Bauteilgeometrie «zerstört»  
    { ▶ ... die Bezüge ungeeignet sind }

# Welche Tricks kennen wir, um es dennoch hinzukriegen?

## Umkonstruktion

- < Anderes Material, Oberflächenbehandlung, grössere Radien, bessere Zugänglichkeit für Werkzeuge, Prüfung von Toleranzen, ...
- < Herausforderung ist oft relativ profan, z. B. Teil ist als Drehteil konstruiert, könnte aber besser gefräst werden, allerdings können dann die vorgegebenen Freistiche nicht erzeugt werden
- < Oft aus organisatorischen Gründen schwer umsetzbar, Tolerierung kommt z. T. an Grenzen

## Temporäre Bezüge

- < Bezugsflächen können in einem Setup erzeugt werden und einem zweiten Setup auf der Maschine angetastet werden
- < Spezialtrick: Temporäre Bezugsfläche in einem Setup erzeugen, diese zur Ausrichtung verwenden und dann wieder abtragen

## Bezugsfläche als Auflage

- < Bezugsfläche (für Parallelität, Lauf, Rechtwinkligkeit) ist die Auflage für die Bearbeitungen der Toleranzen hierauf
- < Das funktioniert gut, wenn es keine Absätze nach aussen gibt -> Läppen möglich (Schleifen teurer und Spannung viel aufwändiger) und wenn man es auf einer Magnetplatte spannen kann

# Welche Tricks kennen wir, um es dennoch hinzukriegen?

Spannung auf  
vielen Punkten

- ◀ Labiles Teil wird auf mit mehreren «schwimmenden» Punkten gespannt, und daher deutlich weniger deformiert (typischerweise z. B. 6-Backen statt 3-Backenfutter)

Sonderspannvor-  
richtung

- ◀ Stabile Spannflächen sind nicht einfach zugänglich, daher wird eine spezielle Form hergestellt, mit der gespannt wird (einfachstes: Alu-Formbacken für Schraubstöcke, kann aber beliebig teuer werden)

Kinematisch  
korrekte  
Spannung

- ◀ Um Bauteil nicht zu deformieren, wird es auf genau so vielen Punkten gehalten, wie es Freiheitsgrade im Raum hat -> Ebene auf 3 Punkten spannen, beliebigen Körper auf 6 Punkten
- ◀ Um sicher zu spannen ohne Abdrücke können die Spannpunkte zu formschlüssigen Flächen erweitert werden (z. B. aus faserverstärktem Kunststoff)

## Welche Tricks kennen wir, um es dennoch hinzukriegen?

### Teil verlängern

- ◀ Um eine stabile Spannung zu erreichen, wird das Rohmaterial in einer Richtung grösser gemacht. Auf dieser Fläche wird gespannt, ohne das Bauteil zu deformieren. Nach der Bearbeitung wird über ein dünner Spannstege angebracht, das Teil ausgebrochen und verputzt

### Spannungsarm- glühen

- ◀ Viele Materialien können gegläht werden. Damit können oft Deformationen durch die Bearbeitung oder eine anschließende Oberflächenbehandlung praktisch auf 0 reduziert werden.
- ◀ Das ermöglicht, dass Toleranzen in einer Aufspannung/ Maschine erzeugt und erhalten werden, obwohl danach noch viel Material abgetragen wird bzw. eine Oberflächenbehandlung folgt.

### Elektroerosion

- ◀ Elektroerosion macht vieles möglich: keine Prozesskräfte, scharfe Kanten, sehr genau, sehr gute Oberflächen
- ◀ Damit können viele Geometrien erzeugt werden, die spanabhebend nicht möglich wären

# Welche Tricks kennen wir, um es dennoch hinzukriegen?

## Kompensations- mass auf KMG

- ◀ Genaues Mass (Abstände, Durchmesser) wird mit Aufmass gefertigt, Mass wird auf Koordinatenmessgerät bestimmt und Korrekturmass bestimmt
- ◀ Mit Messtaster auf der Maschine wird das Teil wieder angetastet und mit Fixmass bearbeitet (um etwaige Abweichungen in Werkzeuglänge/-durchmesser zu ermitteln), wieder angetastet und mit Differenz zum Korrekturmass bearbeitet

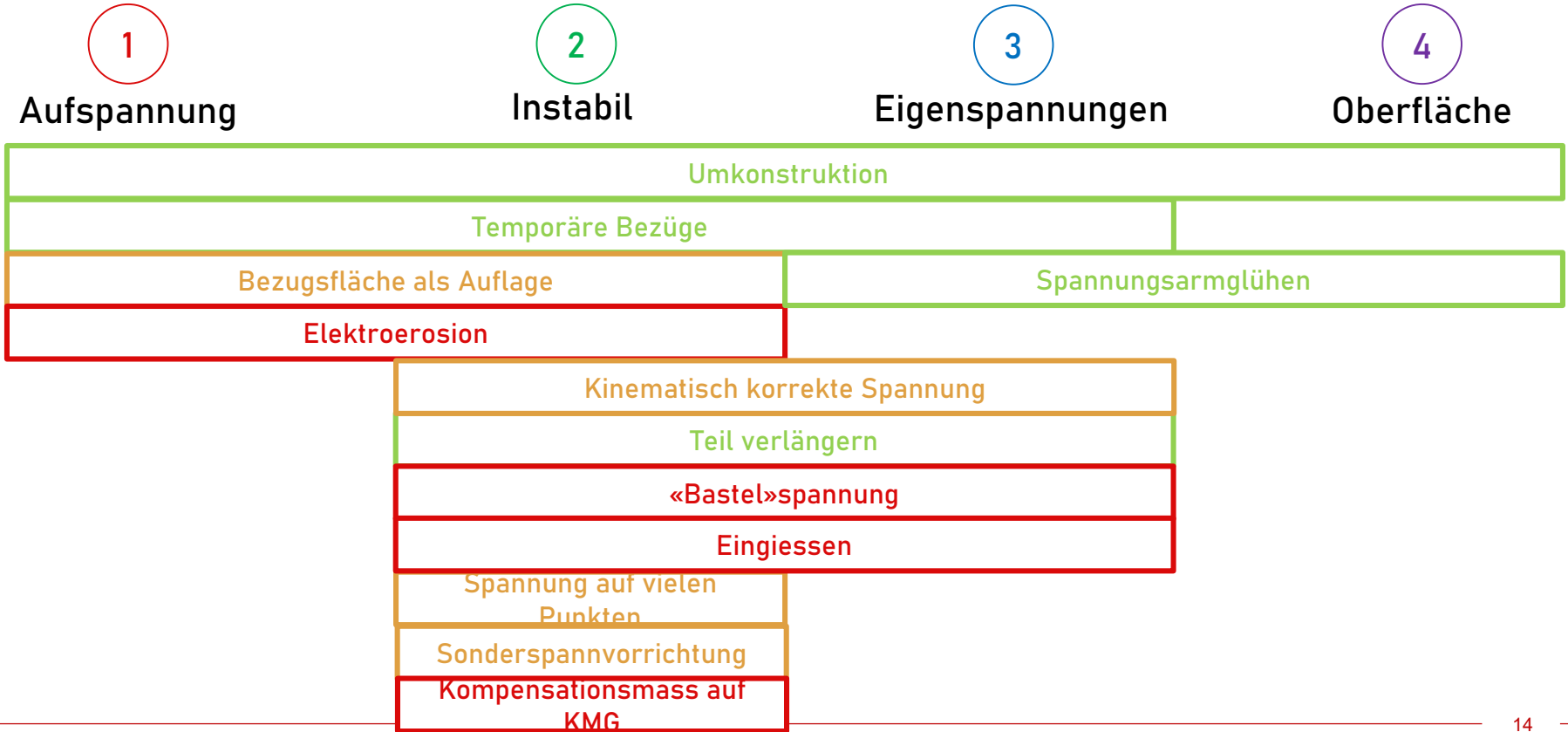
## «Bastel- spannung»

- ◀ Teil wird nur angestellt, Messuhren werden an allen kritischen Positionen angestellt
- ◀ Teil wird angezogen, Messuhren kontrollieren Deformation. Entweder wird mit bestimmter Kraft angezogen oder Spannungspunkte werden mit Folien oder Endmassen in der Position je nach Deformation angepasst

## Eingiessen

- ◀ Eine Teil der Komponente wird bearbeitet (typischerweise Freiformfläche wie Turbinenschaufelblatt), die Komponente wird eingegossen und im Anschluss fertigbearbeitet (z. B. Turbinenschaufelfuss)
- ◀ In heissem Wasser wird die Vergussmasse wieder flüssig

# Leitfaden mögliche Lösungen für Praxisprobleme



# Zusammenfassung

- < Die erreichbaren Toleranzen an einem Bauteil hängen weitgehend von der Gestaltung ab
- < Bei idealer Eignung für die Fertigung ist eine stabile und kostengünstige Fertigung mit Toleranzen im  $\mu\text{m}$ -Bereich möglich
- < Je nach Herausforderung am Bauteil gibt es eine überschaubare Anzahl von Strategien, um die Teile doch zu fertigen. Dies erhöht jedoch die Kosten und vermindert die erzeugbare Genauigkeit
- < Gut ist...
  - < wenn alle relevanten anspruchsvollen Toleranzen können in einer Aufspannung gefertigt werden können
- < Oder zumindest...
  - < das Teil kann robust gespannt werden kann
  - < das Teil hat praktisch frei von internen Spannung ist
  - < der Hauptbezug in einer Aufspannung sauber hergestellt werden kann und dann auf diesem gut gespannt werden kann
  - < die Oberflächenbehandlung die Geometrie nicht gross beeinflusst



## Mehr über BMK



[www.bmk.swiss](http://www.bmk.swiss)



[BMK Bringmann Manufacturing  
Knowledge AG – YouTube](#)



[www.linkedin.com/company/  
bmk-manufacturing/](http://www.linkedin.com/company/bmk-manufacturing/)