

# INDUSTRIE 4.0 FÜR ZAHNRÄDER



Schon seit langem konzentriert sich Klingelberg auf die Entwicklung von integrierten Systemen für die Produktion von Zahnrädern. Assistenzsysteme wie der Closed Loop unterstützen dabei sowohl in der Kegelrad- als auch in der Stirnrad-Produktion eine effiziente und sichere Prozesssteuerung. Für die durchgängige Integration aller Prozessinformationen in das cyberphysische Gesamtsystem im Sinne von Industrie 4.0 stellt Klingelberg jetzt mit der GearEngine® erstmals eine leistungsfähige, gemeinsame informationstechnische Infrastruktur zur Verfügung. SmartTooling zur Identifikation von Betriebsmitteln ist dabei der erste von vielen Bausteinen mit wachsendem Leistungsumfang.

Industrie 4.0 – das bedeutet Produktionsanlagen, die nicht nur in der realen Welt, sondern über ihren digitalen Zwilling auch in der virtuellen Welt existieren. Es entsteht ein bidirektionales System: Daten aus der realen Welt werden im digitalen Zwilling abgebildet und ausgewertet. Daraus lassen sich Aktionen ableiten, die wieder in den realen Prozess zurückfließen. So kann ein selbstlernendes, sich selbst optimierendes und steuerndes Produktionssystem entstehen. Änderungen im und Informationen aus dem realen Prozess beeinflussen den digitalen Zwilling – und umgekehrt.

## Closed Loop: bewährt in der Kegelrad-Fertigung ...

In der modernen Kegelrad-Fertigung hat sich seit vielen Jahren der Closed Loop als ein Teil von Industrie 4.0 durchgesetzt. Die Geometrie der Verzahnungspaarung, die zur Herstellung dieser Geometrie notwendige Maschinenkinematik und die notwendige Werkzeuggeometrie werden in einer virtuellen Herstellsimulation

ausgelegt und optimiert – um dann als Grundlage für Fertigung und Qualitätssicherung der Werkzeuge und der Kegelrad-Verzahnung an sich zu dienen. Die Messergebnisse der hergestellten Verzahnungen bilden die Voraussetzung für die Optimierung der Maschinenkinematik. Alle dabei verwendeten Informationen sind digital verfügbar und dokumentieren die Historie von Bauteil-Geometrie und Maschinenkinematik. Auch die Sekundärprozesse wie das Entgraten werden durch virtuelle Herstellsimulation ausgelegt.

## ... und neu in der Stirnrad-Produktion

Nun ist es an der Zeit, ein vergleichbares System für die Herstellung von Stirnrädern zu entwickeln und zu etablieren. Klingelberg geht diesen Weg konsequent für die Entwicklungen beim Wälzschleifen von Stirnrädern.

Im Gegensatz zum Kegelrad erfolgt beim Stirnrad die Auslegung der Verzahnungsgeometrie funktionsorientiert, ein möglicher Herstellprozess wird dabei

## Kompakt

### Closed Loop

Die digitale Verbindung zwischen Produktions- und Messmaschinen mit entsprechender Software ermöglicht in der Kegelrad-Fertigung bereits seit vielen Jahren vollautomatische Korrekturläufe. Nun etabliert sich dieser Industrie 4.0-Standard auch beim Wälzschleifen von Stirnrädern – wengleich auch auf einer völlig neuen technischen Basis.

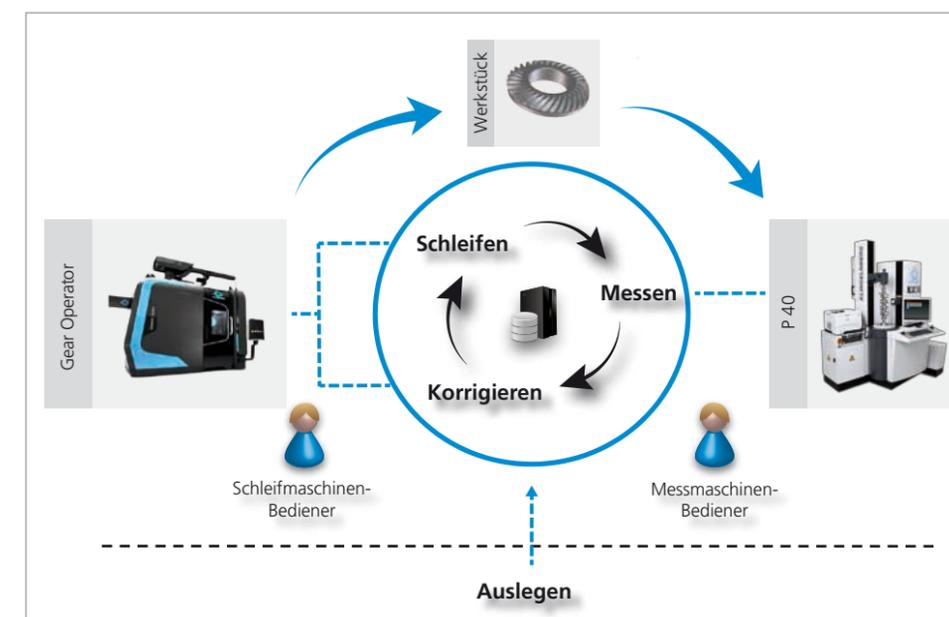


Abb. 1: Closed Loop

## Kompakt

### Der Gear Operator: Produktionssteuerung der nächsten Generation

Für den Betrieb des Closed Loop auf der Stirnrad-Schleifmaschine Speed Viper kommt mit dem Gear Operator eine neu entwickelte Bedienoberfläche zum Einsatz, die es ermöglicht, parallel zur Schleifmaschinen-Steuerung in den Gesamtprozess einzugreifen und Parameter zu verändern.

nicht berücksichtigt. Hier setzen jetzt die Neuentwicklungen an: Eine Herstellsimulation, in der zunächst das Abrichten der Schleifschnecke und als Folgeschritt das Wälzschleifen mit genau dieser Werkzeuggeometrie virtuell dargestellt werden, dient der Bestimmung einer ersten Näherung der herstellbaren Geometrie. Diese wird dann mit der funktionsorientierten Geometrie verglichen, resultierende Abweichungen werden bewertet und bei Bedarf in einer oder mehreren Optimierungsschleifen reduziert. Sind die vorgegebenen Toleranzen eingehalten, werden die Daten für die Fertigung freigegeben. Der Fertigungsprozess wird anschließend, vergleichbar zum Kegelrad, im Closed Loop (siehe Abb. 1, S.13) durchgeführt.

### Agilität und Transparenz dank verteilter Intelligenz

Voraussetzung für die erfolgreiche Durchführung einer solchen rückgekoppelten Optimierungsschleife sind neben einer intelligenten und vorausschauenden Prozesssteuerung insbesondere die unmittelbare Benachrichtigung an die kontrollausübende Stelle sowie die Bereitstellung umfassender Interaktionsmöglichkeiten, um den Fertigungsprozess gezielt beeinflussen zu können. Daher wurde für die Speed Viper – jüngster und agilster Spross der großen Familie der Stirnrad-Schleifmaschinen aus dem Hause Klingelberg – die altbekann-

te und bewährte Bedienoberfläche von Höfler in die nächste Softwaregeneration Gear Operator überführt. Dank einer neuen modularen Architektur, einer intuitiven und dynamischen Bedienoberfläche sowie zahlreicher Schnittstellen, kann der Gear Operator nun seine Stärken für übergeordnet und parallel arbeitende Systeme zur Verfügung stellen sowie die Dienste anderer Applikationen nutzen. Für die Integration in den zuvor beschriebenen Closed Loop geschieht dies durch Messaging- und Assistenzsysteme, die unabhängig von der Maschinensteuerung sind: Sobald eine neue Messinformation von der über das Produktionsnetzwerk angebotenen Messmaschine einläuft, wird der Bediener durch ein grafisches Element, die sogenannte „toast notification“, darüber in Kenntnis gesetzt und kann nun unmittelbar weitere Detailinformationen einsehen bzw. im Bedarfsfall direkt in den Produktionsprozess eingreifen. Und zwar vollkommen unabhängig davon, in welchem Fertigungsschritt sich die Maschine gerade befindet. Der Bediener ist damit – anders als bei herkömmlichen Bedienoberflächen – in der Lage, in einer parallel laufenden Bedienerführung zu agieren. Er kann somit entscheiden, wann er welche Detailinformationen sehen will und welche Aktionen er durchführen bzw. für eine spätere Durchführung konfigurieren möchte.

So kann er nun online nicht nur einsehen, wie sich die ausgewählten Messgrößen im vorgegebenen Toleranzintervall entwickelt haben, sondern sich auch anzeigen lassen, wie die weitere Entwicklung bei verschiedenen Korrekturstrategien voraussichtlich verlaufen wird – und mit diesen Informationen den weiteren Fertigungs- und Prüfprozess bestmöglich steuern. Die Entkopplung der Steuerung des Gesamtprozesses von der reinen Schleifmaschinen-Steuerung bietet nun auch die Möglichkeit, solche Funktionen auf anderen, zum Beispiel mobilen Endgeräten, anzubieten.



Abb. 2: Prozesssteuerung mit integriertem Closed Loop System

### GearEngine®: Daten- und Prozessmanagement vom Feinsten

Die Anforderungen in Zeiten von Industrie 4.0 gehen jedoch weit darüber hinaus: Es gilt nicht „nur“, die notwendige Werkstück-Geometrie zu gewährleisten – es geht um Nachvollziehbarkeit und Optimierung des gesamten Prozesses. Das schließt die Identifizierung der verwendeten Werkzeuge und Spannmittel genauso ein wie die vollständige Nachvollziehbarkeit von Produktionsbedingungen und der Qualität eines jeden einzelnen Werkstückes. Lösungsansatz ist die aktuell entstehende Klingelberg GearEngine®. Sie ist DAS zentrale Element für Datenerfassung und -speicherung sowie für die Kommunikationssteuerung. Der Grundgedanke ist, Daten für Herstellung und Qualitätssicherung, Daten zu verwendeten Werkzeugen und Produktionsmitteln sowie eine vollständige Teilehistorie in individuellen Datenbanken zu speichern. Über diverse Schnittstellen macht die GearEngine® all diese Informationen verfügbar, sodass sie in entsprechenden Applikationen für beliebige Auswertungen genutzt werden können. (Vgl. Abb. 3) Damit erwachsen vielfältigste Möglichkeiten, bisher unbekannte Zusammenhänge in der Produk-

tion zu analysieren, deren Auswirkungen auf die Qualität von einzelnen Bauteilen zu erkennen und steuernd einzugreifen. So wird es künftig beispielsweise für den Fräsprozess möglich sein, auf Basis der erfassten Daten zu analysieren, welchen Zusammenhang es zwischen dem Zustand eines Werkzeugspindel-Hauptlagers und dem Standzeitverhalten des Werkzeuges gibt. Natürlich lassen sich daraus Aktionen ableiten und im System umsetzen.

Durch eine vollständige Dokumentation aller Daten entsteht sowohl ein digitaler Zwilling zu jedem gefertigten Bauteil als auch eine 100%ige Rückverfolgbarkeit. Der Anwender profitiert davon auf vielen Ebenen: Zusammenhänge lassen sich erkennen, der Produktionsprozess wird leichter vorherseh- und reproduzierbar und damit auch einfacher zu steuern. Zusätzliche Vorteile entstehen, weil sich auch eigene Anwendungen für Analyse und Optimierung durch klar definierte Schnittstellen einfach adaptieren lassen.

### GearEngine® und Gear Operator – eine Kombi mit vielen Möglichkeiten

Es gibt viele Variablen – packen wir's an! Insbesondere die veränderlichen Eigenschaften der Maschinenumgebung sowie die wechselnde Maßhaltigkeit der eingesetzten Werkzeuge beeinflussen in der Praxis die Werkstück-Qualität. Hinzu kommt dank fortschreitender Sensortechnologie und sinkender Hardwarekosten eine stark wachsende Zahl von Messgrößen, die als Indikatoren für verschiedene Prozessstörungen herangezogen werden können. Als wichtigste Vertreter seien an dieser Stelle Auslastung und Unwucht der Werkzeugspindel sowie Temperatur- oder Beschleunigungswerte genannt. In der Sammlung und Exploration dieser großen Datenmengen liegt daher ein großes, bislang kaum genutztes Potenzial für eine nachhaltige Qualitätssteigerung.

## Kompakt

### GearEngine®

Vollständige Nachvollziehbarkeit von Produktionsbedingungen und der Qualität jeden einzelnen Werkstück bis hin zur exakten Identifizierung der eingesetzten Werkzeuge und Spannmittel – diese Datenmenge zu erfassen, auszuwerten und zu speichern ist die Aufgabe des aktuell in der Entwicklung stehenden zentralen Elements GearEngine®.

Industrie 4.0 umschließt bei Klingelberg die vollständige Nachvollziehbarkeit aller Prozesse und Produktionsbedingungen, inklusive der eingesetzten Werkzeuge.

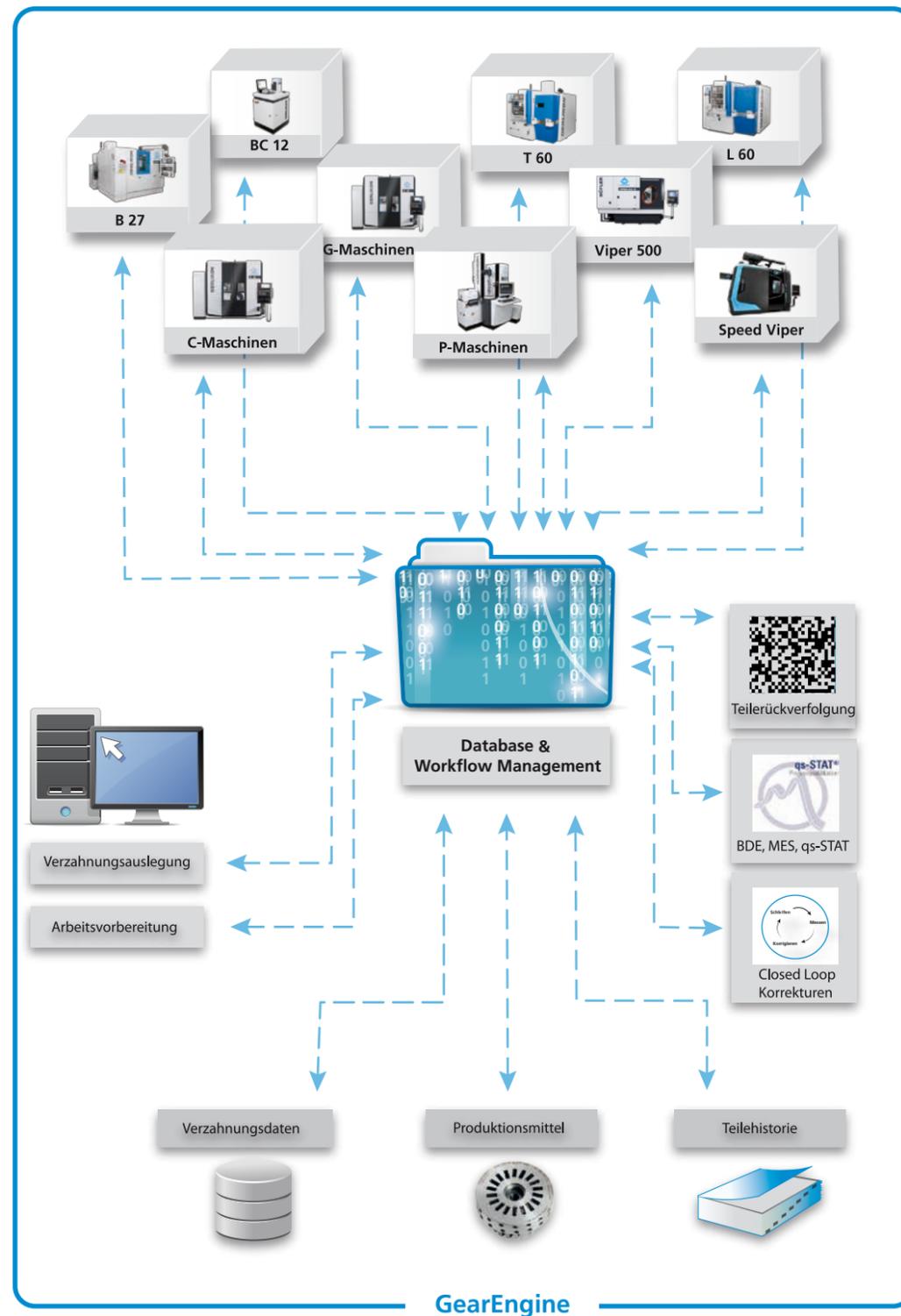


Abb. 3: Die GearEngine® ist die digitale Brücke zwischen Entwicklung, Produktion, Qualitätssicherung und Produktdokumentation.

Doch die größten Datenmengen geben nur dann die ihnen immanente Information preis, wenn Daten, Zustände und Prozessschritte einander zugeordnet und dadurch in Korrelation zueinander gebracht werden können. An dieser Stelle kommt der Maschinen-Steuerungssoftware als zentraler Schalt- und Schnittstelle zwischen Mensch, Maschine und Datenbasis eine entscheidende Rolle zu: Sie verknüpft eingelesene Werkzeugidentifikationen mit den aufeinanderfolgenden Prozessschritten sowie den zugehörigen Messdaten der relevanten Maschinenparameter. So hält sie die Möglichkeit für auswertende Applikationen parat, um den Prozesszustand darzustellen, zu überwachen oder nachträglich Zusammenhänge aufzuspüren.

Ein Beispiel: Beim Profilschleifen ist häufig der Verschleißzustand der Abrichtrolle maßgebend für den Profil-Formfehler der erzeugten Zahnücken. Der Zusammenhang der Standzeit mit Prozesskenngrößen wie dem abgerichteten Volumen oder der Länge des Kontaktpfades am Umfang der Schleifscheibe sind naheliegend und bekannt – aber ohne eine umfangreiche Datenbasis nicht quantifizierbar und damit nicht nutzbar. Mit dem Gear Operator als prozesssteuerndem Element, der eindeutigen Erfassung von Abrichtwerkzeugen und der GearEngine® als verwaltender Einheit ist es nun möglich, einen erlittenen Qualitätsverlust weit in die Vergangenheit hinein nachzuvollziehen – und dessen Auftreten weit in die Zukunft hinein zu vermeiden.

### Ganzheitlich denken: Prozessinformation und Werkzeugidentifikation

Das zuvor beschriebene Beispiel zum Profilschleifen zeigt noch einmal ganz deutlich: Mit GearEngine® als verwaltender Einheit, Maschinensoftware als prozesssteuerndes Element und der ein-

Die GearEngine® bildet das Rückgrat des cyberphysischen Produktionssystems aus dem Haus Klingelberg!

deutigen Erfassung der Werkzeuge führt Klingelberg den Industrie 4.0-Gedanken weit über eine intelligente Bediener-Schnittstelle der Maschine hinaus. Es geht vielmehr um die konsequente Vernetzung, Bereitstellung sowie durchgängige Integration von Prozessinformationen. Dabei kommt künftig insbesondere dem Einsatz digitaler Identifikationsverfahren für Werkzeuge und Spannmittel eine hohe Bedeutung zu, wenn es darum geht, Prozesse, die heute noch manuell ausgeführt werden, morgen effizienter zu gestalten – und gleichzeitig alle verfügbaren Informationen für den weiteren Prozess nutzbar zu machen.

### Werkzeugidentifikation mit SmartTooling

Die Zutaten des neuen SmartTooling-Systems von Klingelberg sind überschaubar und stellen daher eine risikoarme Investition dar: Im ersten Schritt wird unsere SmartTooling-Datenbank im Netzwerk zur Verfügung gestellt. Die Maschine wird um ein Handlesegerät erweitert, welches in der Lage ist, einen Data-Matrix-Code in eine digitale Information zu transformieren. Im dritten Schritt wird jedes Werkzeug durch einen aufgeprägten Code zu einem weltweit unverwechselbaren Einzelstück gelabelt. Der Code – bestehend aus einer Artikel- und Seriennummer – stellt die „Eintrittskarte“ für das digitale Werkzeugmanagement dar. Ab jetzt können Informationen wie die Geometrie, Messerkonfiguration, Rundlauf-Toleranzen,

## Kompakt

### SmartTooling

Zu jedem Zeitpunkt einen Überblick über den Zustand Ihrer Werkzeuge bekommen – auch das ist Bestandteil des Industrie 4.0 Gedankens. Über SmartTooling setzt Klingelberg ein solches digitales Werkzeugmanagement um.

Standmengen oder auch Materialnummern aus einer zentralen Datenbank sofort abgerufen oder von der Maschine in diese geschrieben werden. Das macht zum einen die Rüstvorgänge wesentlich einfacher – und zum anderen profitieren die Anwender dieses SmartTooling-Systems hinsichtlich der Nachverfolgung von Werkzeuginformationen von den Vorteilen einer integrierten Datenbasis. So kann beispielsweise die manuelle Dateneingabe geometrischer Merkmale beim Montieren eines Werkzeuges durch eine automatische Bereitstellung der geometrischen Daten abgelöst werden. Dies ermöglicht ein ebenso sicheres wie effizientes Rüsten. Kostspielige Unfälle durch die Verwendung falscher Werkzeuge oder Werkzeugdaten gehören dann genauso der Vergangenheit an wie die Verwendung von handgeschriebenen Schmierzetteln.

### Qualitätsmanagement der besonderen Art

Doch nicht nur bei der Einrichtung kann die Verwendung eines Systems zur Werkzeugidentifikation helfen. Die Überwachung ungenutzter Reststandmengen von Werkzeugen lässt sich auch nutzen, um Investitionskosten für neue Werkzeuge zu senken. Darüber hinaus ermöglicht die nahtlose Rückverfolgung aller relevanten Informationen wie Toleranzen für Rundlauf-Fehler, Vermessungsprotokolle und Überarbeitungen ein integriertes Qualitätsmanagement völlig neuer Art: Eine lückenlose Dokumentation und Überwachung des gesamten Lebenszyklus eines Werkzeugs ist möglich. Mithilfe von statistischen Auswertungen dieser Daten können Fertigungsprozesse in einer nie

dagewesenen Weise analysiert werden. Insbesondere im Zusammenspiel mit Smart Process Control der C 30 Maschinen besitzen Anwender dann einen „Werkzeugkasten“, um Standzeiten von Werkzeugen und Taktzeiten für die Bauteil-Fertigung maschinen- und bauteilübergreifend zu optimieren.

Selbst am Ende des Lebenszyklus eines Werkzeuges profitiert der Anwender zukünftig vom SmartTooling-System: Da die Artikelnummer des Werkzeugs direkt im Data-Matrix-Code integriert ist, bestellen Anwender auf einfachste Art und Weise neue Werkzeuge oder Services zu den vorhandenen Werkzeugen. ◆

## SMARTTOOLING – DIE VORTEILE

- **Sicherheit bei Dateneingabe:**  
Die manuelle Dateneingabe geometrischer Merkmale beim Rüsten wird durch eine automatische Bereitstellung der geometrischen Daten abgelöst.
- **Verwaltung und bessere Nutzung von Reststandmengen:**  
Die Überwachung der Reststandmengen von Werkzeugen hilft, Investitionskosten zu senken.
- **Integriertes Qualitätsmanagement:**  
Nahtlose Rückverfolgung aller relevanten Informationen, damit wird eine lückenlose Dokumentation und Überwachung des gesamten Lebenszyklus eines Werkzeugs möglich.
- **Vereinfachte Wiederbeschaffung:**  
Da die Artikelnummer des Werkzeuges im Data-Matrix-Code integriert ist, lassen sich neue Werkzeuge oder Services einfach bestellen.



Abb. 4: SmartTooling



Dipl.-Math. techn.  
Martin Schweizer

Leiter Software Werkzeugmaschinen,  
KLINGELNBERG GmbH



Dipl.-Ing. Frank Seibicke

Leitung CA-Tools,  
KLINGELNBERG GmbH



Dipl.-Ing. Daniel Meuris

Leiter Digitalisierung und Virtualisierung  
KLINGELNBERG GmbH