

# DIE GEARENGINE® – STRATEGIE STATT WAHLLOSEM DATENSAMMELN



Allzu oft wird bei der Umsetzung von Industrie-4.0-Ansätzen in der Verzahnungsindustrie ein Technology-First-Ansatz gewählt, bei dem ohne tiefere Kenntnisse der Prozesse Daten zunächst einfach nur gesammelt werden. Ein individueller Kundennutzen entsteht jedoch nur dann, wenn diese Daten von vornherein für zielgerichtete Fragestellungen miteinander in Bezug gebracht werden. Informationen über den Zustand der Produktionsmittel wie Werkzeuge, Spannmittel und Maschinen müssen ebenso wie die spezifischen Prozessparameter mit dem gefertigten Bauteil zu einem einzigen, konsistenten Datenbestand verknüpft sein.

**W**arum schwankt die Qualität der gefertigten Zahnräder immer wieder? Warum ist die Produktivität in zwei verschiedenen Werken trotz identischer Ausstattung unterschiedlich? Warum sind manche Zahnräder geräuschlich auffällig und andere nicht?

Diese Fragen aus dem Alltag der Getriebeherstellung kennen sicherlich viele. Obwohl modernste CNC-Maschinen mit verschiedensten Sensoren in der Halle stehen, fehlt es offensichtlich an handhabbaren Lösungsstrategien, um schnelle Antworten darauf zu finden. Dabei sind immer irgendwo Daten vorhanden. Nur wo man sie findet und wie man sie zueinander in Beziehung setzt, ist unklar. So ist es heute immer noch durchaus üblich, eine vollständige Datensammlung entlang des Herstellungsprozesses manuell mit Bleistift und Papier aufzunehmen. Erst mit diesen aufwendig gewonnenen Informationen lässt sich dann die Frage nach den Auffälligkeiten wissenschaftlich klären – wobei das ein beliebtes Thema für Bachelor- und Masterarbeiten ist. In aller Regel ergibt sich am Ende dieser Arbeiten eine technisch valide Begrün-

dung für die Ursachen der wie auch immer gearteten Auffälligkeit, die sich auf dieser Grundlage auch beheben lässt.

## GearEngine®: Daten miteinander verknüpfen

Die Herausforderung liegt also nicht im Datensammeln selbst, sondern in der sinnvollen Verknüpfung und Nutzbarmachung der vorhandenen Informationen. Dieser Gedanke war die Geburtsstunde der GearEngine®. Diese ist nicht eine neue Industrie-4.0-Plattform, die irgendetwas sammelt, sondern der Weg von Klingelberg, Auslegung, Fertigung und Qualitätskreisläufe von Zahnrädern in die digitale Welt zu überführen (siehe Abb.1). Mit der intelligenten Integration aller Daten in der GearEngine® wird diese zu einer Plattform, die Anwender bei allen übergeordneten Aufgaben und Untersuchungen in der Fertigung unterstützt.

Die GearEngine® übernimmt dabei gleich mehrere Aufgaben, und zwar als:

- Verwaltungswerkzeug für Auslegungs- und Fertigungsdaten eines Zahnrads
- Kommunikationsschnittstelle aller beteiligten Maschinen
- Zentrale Schnittstelle für die vorhan-

## Kompakt

### Daten- und Prozessmanagement vom Feinsten

Moderne CNC-Maschinen erheben eine Vielzahl an Daten. Die Herausforderung liegt aber in der Vollständigkeit der Erfassung und in der Verknüpfung all dieser Informationen. Es geht dabei um die Nachvollziehbarkeit und Optimierung des gesamten Prozesses. Die GearEngine® von Klingelberg übernimmt diese Aufgabe und schafft so die optimale Grundlage für Industrie-4.0-Prozesse.



Abb. 1: Das Konzept der GearEngine®

## GESAMTSYSTEM GEARENGINE® UND SOFTWARE/APPS

GearEngine® ist die Plattform, die die u. a. über folgende Apps/Software erhobenen Daten miteinander verknüpft und auswertet:

- **Gear Designer:**  
Durch eine Herstellsimulation werden Werkzeuggeometrie, Herstellkinematik und damit die herstellbare Zahnflankenform bestimmt.
- **Gear Corrector:**  
Abweichungen zwischen der herstellbaren Geometrie und den gemessenen Werten werden angezeigt, können analysiert werden und Korrekturen für die Herstellkinematik, bei Bedarf auch für die Werkzeuggeometrie, können berechnet und der Fertigungsmaschine zur Verfügung gestellt werden.
- **Gear M-Tracer:**  
Fingerprints des dynamischen Verhaltens der Werkzeugmaschine werden verwaltet und somit untereinander für Predictive Maintenance nutzbar gemacht.
- **Gear P-Tracer:**  
Filtert aus dem Datenbestand der GearEngine® die Herstellhistorie für jedes Bauteil heraus.
- **SmartTooling:**  
Bildet alle Produktionsmittel digital ab, macht sie so einer Analyse und Bewertung zugänglich und ermöglicht digitales Werkzeugmanagement.
- **Pulsar:**  
Durch Herstellsimulation werden die Geometrie des Werkzeuges und die Maschinenkinematik für den Entgratprozess berechnet.
- **KOMET:**  
Dient der fertigungsnahen Berechnung von Soll-Daten, der Bewertung von Ergebnissen von Topographiemessungen und darauf basierend der Berechnung von Korrekturen der Herstellkinematik und bei Bedarf der Werkzeuggeometrie für den Herstellprozess Kegelrad.
- **Meteorit:**  
Wird genutzt, um Soll-Daten für das Vermessen von Stabmessern bereitzustellen, Messergebnisse auszuwerten und Korrekturen für die Messerschleifkinematik zu bestimmen.
- **KIMoS:**  
Die Auslegungsoftware unterstützt alle Schritte innerhalb der Kegelradverzahnungsauslegung und -optimierung und schafft die Basis für die Closed Loop Fertigung von Kegelradverzahnungen.

- dene IT-Infrastruktur des Anwenders
- Informationsquelle für digitale Zwillinge der gefertigten Zahnräder
- Informationsbasis der Produktionsmittel

Die GearEngine® integriert in der vorhandenen IT-Infrastruktur einer Zahnradfertigung alle beteiligten Systeme und wird so zum digitalen Schleusenwärter des Data-Lakes aller erzeugten Informationen. In einer derart gebündelten Informationsbasis steckt ein hohes, sofort nutzbares Potenzial.

### Miteinander sprechen. Oder: automatisch kommunizieren

Die Arbeitsabläufe in der Zahnradfertigung unterliegen klaren Qualitätsregelkreisen. Damit diese überhaupt in der Praxis gelebt werden können, müssen die Maschinenbediener sich untereinander abstimmen. Ein gutes Beispiel dafür ist der seit vielen Jahren etablierte Closed Loop-Prozess: Ein Zahnrad wird nach der Bearbeitung vermessen. Solange alles innerhalb der vorgegebenen Toleranzen ist, wird niemand den Prozess verändern. Bei einem Trend oder gar bei Messwerten außerhalb der Toleranz muss in den Prozess eingegriffen werden. Der qualitätsverantwortliche Fachmann an der Messmaschine muss dem Maschinenbediener mitteilen, dass eine Korrektur vorhanden ist und dass er diese anwenden soll. Tut er es nicht, wird der Qualitätsregelkreis unterbrochen. Wie diese Kommunikation stattfindet, liegt allein an den beteiligten Personen.

Hier zeigt sich das Potenzial der GearEngine® als Kommunikationsschnittstelle: Mit ihr ist dieser wichtige Informationsaustausch gesichert. Sobald der Fachmann an der Messmaschine eine Korrektur durchführen lassen will, überträgt die GearEngine® diese Information an die entsprechende Verzahnmaschine. Das ist die wesentliche Voraussetzung eines teil- oder vollautomatisierten Workflows in der Fertigung. Sobald die Steuerung der Verzahnmaschine weiß, dass

eine Korrektur geladen werden soll, kann entweder der Bediener durch einen Hinweis darauf aufmerksam gemacht werden – oder die Korrektur wird vor der Bearbeitung des nächsten Bauteils automatisch geladen (siehe Abb. 2).

Diese Kommunikationsschnittstelle schafft wesentliche Voraussetzungen für einen automatisierten Workflow. So wird es in naher Zukunft möglich sein, die Entscheidung, ob eine Korrektur anzuwenden ist oder nicht, mittels Algorithmen mit künstlicher Intelligenz (KI) zu treffen – und sie dann auch automatisch an der jeweiligen Bearbeitungsmaschine zu laden. Die für KI erforderliche Wissensbasis ist bereits in der GearEngine® vorhanden.



Abb. 2: Bedienerkommunikation und integrierte Kommunikation

## Was alles die Qualität beeinflusst ...

Wer hat es nicht schon erlebt, dass sich ohne erkennbaren Grund die Standlänge der Fräswerkzeuge bei der Weichbearbeitung dramatisch verschlechtern, ohne dass jemand an den Prozessparametern etwas verändert hat? Und wer kennt nicht die heimliche Befürchtung, dass vielleicht der Rüstprozess einer der Gründe für einen nicht stabilen Prozess sein könnte? Fragen nach den Gründen für Auffälligkeiten oder Qualitätsschwankungen in der Fertigung lassen sich nur dann beantworten, wenn

genügend Informationen verfügbar sind. Denn es gibt extrem viele Parameter, die einen Einfluss auf die Qualität eines Zahnrades haben. Am Ende einer derartigen Zahnrad-Anamnese findet sich immer ein eindeutiger technischer Auslöser für den Effekt. Oft genug sind die entdeckten Ursachen dann so trivial, dass sich unweigerlich die Frage stellt, weshalb die Lösung nicht früher gefunden wurde. Doch bleiben Ideen allzu oft im Gestrüpp fragmentarischer und nicht zusammenhängender Daten hängen – und dann sieht beim besten Willen niemand mehr den Wald vor lauter Bäumen.

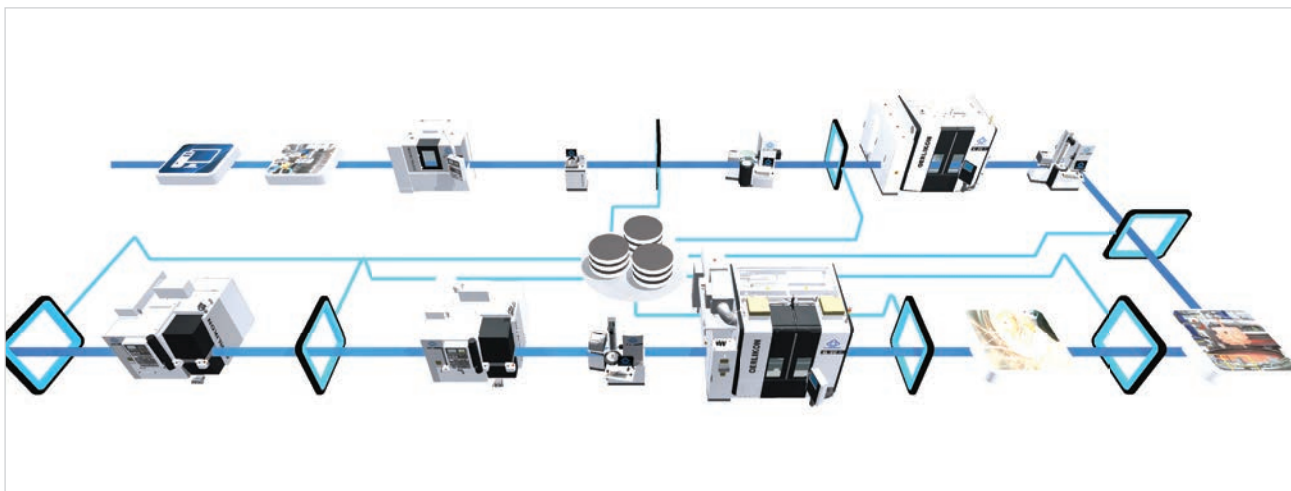


Abb. 3: Fertigungsprozess und Quality-Gates

## Diese Daten verwaltet die GearEngine®

Um dem Wirrwarr wahlloser Annahmen und Vermutungen zu entkommen, braucht es verlässliche Daten, die sich miteinander verknüpfen lassen. Die GearEngine® verwaltet dazu drei unterschiedliche Klassen von Daten:

- Daten, die die Geometrie des Zahnrades beschreiben
- Daten, die die Produktionsmittel beschreiben
- Daten, die die gefertigten Zahnräder beschreiben

### Zum Ersten ...

Der erste Datentopf beschreibt die Geometrie des Bauteils entlang seiner gesamten Prozesskette. Der Prozess beginnt mit dem Drehteil. Dieses wird durch ein 3D-CAD-Modell definiert, bei dem die Aufmaße für die spätere Hartfeinbearbeitung des Radkörpers bereits enthalten sind. Der nächste Schritt ist das Weichverzahnen. Hier wird die Beschreibung des Verzahnwerkzeugs und der Kinematik gespeichert, um die gewollte Zahnform zu erzeugen. Auch das Aufmaß für die spätere Hartfeinbearbeitung der Zahnflanken ist in der geometrischen Beschreibung der Zahnflanken

bereits enthalten. Für das anschließende Hartdrehen oder Schleifen des Radkörpers nach der Wärmebehandlung gibt es wiederum ein 3D-CAD-Modell, das nun die endgültige Radkörpergeometrie enthält. Für die Feinbearbeitung der Zahnflanken durch Schleifen wird in dieser ersten Datenkategorie der GearEngine® die Geometrie des Werkzeugs bzw. die Abrichtkinematik und die Kinematik der Schleifmaschine verwaltet. Für Hartfeinbearbeitungsprozesse, die keine geometrische Prozesssicherheit wie beispielsweise das Kegelradlappen aufweisen, wird nur die Endgeometrie der Flanken ohne Werkzeuggeometrie und Maschinenkinematik geführt. Somit existiert im ersten Datengrundstock der GearEngine® entlang der gesamten Prozesskette ein jeweiliger digitaler Soll-Zwilling für das Zahnrad.

### ... zum Zweiten ...

Die zweite Klasse an GearEngine®-Daten beschreibt die Produktionsmittel. Dazu zählen Werkzeuge, Spannaufnahmen und Bearbeitungsmaschinen. Zu den Werkzeugen gehören Messerköpfe, Schleifscheiben, Wälzfräser und Abrichtrollen. Spannaufnahmen werden hier mit all ihren Einzelkomponenten verwaltet. Ein echter digitaler Zwilling der Bearbeitungsmaschine, aus dem das statische und dynamische Verhalten dieser Maschine abgeleitet werden kann, ist heute weder in der Praxis noch in der Wissenschaft möglich. Deshalb beschränkt sich die digitale Beschreibung der Maschine auf die Daten der dynamischen Fingerprints, auf Ergebnisse von Kreisformtests und ähnliche maschinenspezifische Informationen.

In dieser zweiten Klasse der GearEngine®-Daten findet nun die erste Verknüpfung statt. So werden die Werkzeuge und die Spannaufnahmen einer Zeichnungsnummer und damit einem bestimmten Bauteiltyp zugewiesen. Neben den geometrischen Daten der Produktionsmittel werden hier auch die Daten des Rüstprozesses verwaltet. So erfasst die GearEngine® beispielsweise den Rundlauf am Prüfdorn einer



Abb. 4: Analyse und Korrektur mittels Gear Corrector

Spannaufnahme. Der erfahrene Praktiker weiß, dass Rundlauffehler sowohl aus der Spannaufnahme an sich als auch aus einem nicht sorgfältigen Rüsten der Spannaufnahme an der Maschine herrühren können. Um das später voneinander trennen zu können, sind erfassbare Daten des Rüstprozesses ebenfalls mit einbezogen.

## ... und zum Dritten!

Findet man in der ersten Datenklasse den digitalen Soll-Zwilling des Zahnrad-Typs, so lassen sich in der dritten Klasse der GearEngine®-Daten die Produktionsdaten von jedem real gefertigten Zahnrad verwalten. Die unabdingbare Voraussetzung dazu ist die individuelle Bauteilidentifizierung jedes Zahnrades mittels entsprechender Codierungsverfahren. Sobald ein bis dahin noch unbekanntes Bauteil erstmals im Bearbeitungsprozess auftaucht, legt die GearEngine® eine digitale Akte von diesem Bauteil an. Die GearEngine® stellt für jede am Herstellprozess beteiligte Bearbeitungs-, Prüf- oder Testmaschine einen Speicherort für Prozessparameter oder Prüfergebnisse bereit, die dann in der jeweiligen Bauteilakte gespeichert werden. Somit lässt sich der aktuelle Bearbeitungszustand in Echtzeit abfragen. Eine Messmaschine beispielsweise erkennt dann nicht nur die richtige Zeichnungsnummer des Zahnrad, sondern auch, ob die Soll-Daten für die Weich- oder Hartbearbeitung zu verwenden sind. Eventuelle Korrekturen für eine Bearbeitungsmaschine werden durch die Informationen in der Bauteilakte dann auch immer der richtigen Maschine zugewiesen. Denn es ist ja bekannt, von welcher Maschine das jeweilige Zahnrad bearbeitet wurde.

## Fazit

Mit der GearEngine® entfallen händische Eingaben für die Qualitätsregelkreise, wodurch die Prozesssicherheit stark zunimmt. Außerdem entsteht so die größtmögliche Transparenz in der Fertigung und der Qualitätssicherung. Weil die Daten der Auslegung

# Mit der GearEngine® verliert die Ursachenforschung ein für alle Mal ihren Schrecken.

mit den Daten der Produktionsmittel und mit den Daten des Produktionsprozesses verknüpft sind, ist es mit der GearEngine® erstmals möglich, bei jedem Zahnrad herauszufinden, mit welchem Spannmittel, mit welchem Werkzeug, auf welchen Maschinen und mit welchen Prozessparametern es gefertigt wurde.

Damit verliert die Ursachenforschung mit der GearEngine® ein für alle Mal ihren Schrecken. Denn es wird auch in Zukunft immer wieder Auffälligkeiten und Qualitätsschwankungen in der Zahnradproduktion geben. Doch statt mit größtem technischen Sachverstand Zahnrad-Anamnese entlang der gesamten Prozesskette betreiben zu müssen, lässt sich mit der GearEngine® die integrierte Datenbasis verwenden, um gleiche Muster bei auffälligen Zahnradern herauszufinden. Dazu eignen sich die modernen Methoden der Künstlichen Intelligenz, wie sie bei Big Data Analytics verwendet werden. Sobald diese Muster vorliegen, ist es ein Leichtes, die Ursache der Auffälligkeit zu finden und diese dann auch nachhaltig abzustellen. ◆

## Kompakt

### Ursachenforschung leicht gemacht

Die GearEngine® löst aufwendige Zahnrad-Anamnesen entlang der gesamten Prozesskette ab, um Muster und Auffälligkeiten bei Zahnradern zu finden. Qualitätsregelkreise lassen sich automatisieren, die Prozesssicherheit und Transparenz in der Fertigung erreichen das zurzeit maximal mögliche Maß.



Dr.-Ing. Hartmuth Müller

Head of Technology & Innovation,  
KLINGELNBERG GmbH