



Quick Check

ML-gestützte Vorhersage der Schraubenrichtqualität

Ausgangssituation

In der Produktion von Schrauben treten regelmäßig leichte Anfangsbiegungen auf, die vor der Weiterverarbeitung in einer hydraulischen Pressmaschine manuell korrigiert werden. Die Schrauben werden dabei auf zwei Prismen mit festem Abstand gelagert, während die Presse von oben einwirkt und die Durchbiegung – insbesondere am zentralen Messpunkt MP0 – verändert. Dieser manuelle Richtvorgang ist zeit- und personalintensiv, erfordert spezifische Erfahrung und führt zu qualitätsabhängigen Schwankungen. Zudem verbleiben einzelne Schrauben trotz Pressens außerhalb der zulässigen Toleranzen, was Ausschuss und zusätzliche Prozesskosten verursacht. Für die Analyse stehen rund 1000 Datensätze mit vier Durchbiegungsmesspunkten (MP1, MP2, MP0, MP3) sowie relevanten Prozessparametern wie Pressposition, Presskraft, Pressweg und Prismenabstand zur Verfügung. Ziel ist die Entwicklung eines ML-Modells, das anhand der Ausgangsdurchbiegung und der eingestellten Prozessparameter die Veränderung der Durchbiegung an MP0 zuverlässig vorhersagt. Damit soll der Richtprozess automatisiert, die Ergebnisqualität stabilisiert und der Ressourceneinsatz im Produktionsablauf reduziert werden.

Lösungsidee

Zur modellbasierten Vorhersage der Durchbiegungsänderung an MP0 werden zwei ML-Methoden eingesetzt: LightGBM und Neuronale Netze. Beide Verfahren sind geeignet, die nichtlinearen Abhängigkeiten zwischen Ausgangsdurchbiegung und prozessrelevanten Parametern präzise abzubilden. Ergänzend werden durch Feature Engineering technische Merkmale wie lokale Steigungen, Krümmungen und prozessbedingte Interaktionsgrößen abgeleitet. Diese Merkmale spiegeln zentrale physikalische Effekte des Richtvorgangs wider und verbessern die Modellgüte. Dadurch kann ein robustes Vorhersagemodell entwickelt werden, das eine automatisierte und qualitätsgesicherte Steuerung des Richtprozesses unterstützt.

In Zusammenarbeit mit



Schraubenwerk Gaisbach GmbH

SWG Schraubenwerk Gaisbach GmbH

Nutzen

Die Experimente zeigen, welchen praktischen Mehrwert die untersuchten Modelle für die Prozessbewertung bieten. Die Regressoren erfassen trotz moderater R^2 -Werte (MP0 ca. 53 Prozent) den Trend der Durchbiegung und ermöglichen damit eine grundlegende Einschätzung des Verhaltens nach dem Pressen, auch wenn MP1 nur geringe Erklärungsanteile aufweist. Besonders hoch ist jedoch der Nutzen der Klassifikationsmodelle: Mit über 86 Prozent Genauigkeit, F1-Scores $>0,92$ und einem Recall von 95,7 Prozent liefern sie zuverlässige Aussagen darüber, ob MP0 innerhalb der Toleranz liegt. LightGBM bietet durch die bessere Wahrscheinlichkeitskalibrierung (ROC AUC) zusätzlichen Mehrwert. Insgesamt zeigt sich, dass die Klassifikation im vorliegenden Anwendungsfall deutlich stabiler und verlässlicher ist und somit eine robuste Entscheidungsbasis für die Qualitätssicherung darstellt.

Umsetzung der KI-Applikation

Die Umsetzung der KI-Applikation zeigt, dass die Regressionsaufgabe aufgrund der begrenzten Datengrundlage von rund 1000 Samples nur eingeschränkt lösbar ist. Die Modelle können die physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Schraubenstandänderung nicht zuverlässig rein datengetrieben abbilden. Für solch datenarme Szenarien eignen sich physik-informierte Ansätze deutlich besser, da sie physikalische Zusammenhänge direkt integrieren und damit auch bei wenig Daten stabile und konsistente Vorhersagen ermöglichen. Die Klassifikationsaufgabe hingegen lässt sich mit beiden ML-Modellen erfolgreich umsetzen, da die binäre Entscheidung »innerhalb vs. außerhalb der Toleranz« deutlich weniger Daten erfordert. Darauf aufbauend können künftig Pressparameter – insbesondere die Pressposition – gezielt optimiert werden, um den Prozess zu automatisieren und die Qualität zuverlässig abzusichern.

»Ein Bach entsteht aus vielen kleinen Rinnsalen – ähnlich verhält es sich in Unternehmen, wo sich aus zahlreichen unbemerkt einfließenden Einzelbeträgen ein Kostenstrom bildet. Im Rahmen des Richtprozesses konnten wir eine potenziell unnötige Kostenquelle identifizieren. Durch die Zusammenarbeit im QuickCheck-Projekt mit Fraunhofer erhielten wir die Bestätigung, dass es mithilfe von maschinellem Lernen (ML) ein erhebliches Potenzial zur Kostenoptimierung gibt.«

Thomas H. Schmid – Operatives Controlling

Kontakt

Xinyang Wu
xinyang.wu
@ipa.fraunhofer.de

Kontakt:
info@ki-
fortschrittszentrum.de

Weitere Informationen:
www.ki-
fortschrittszentrum.de

**Fraunhofer-Institut für
Produktionstechnik und
Automatisierung IPA**

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart
www.ipa.fraunhofer.de