

Qualitätsoptimierung durch intelligente Algorithmen



WEIß David

Teil 1

- Teil 1 Aufgabenstellung und Ausgangssituation (David, 7 Minuten)
- Teil 2 Lösungsansatz und Erweiterungen (Manfred, 15 Minuten)
- Teil 3 Bewertung des Nutzen (David, 7 Minuten)

voestalpine Rotec GmbH

Wer wir sind:

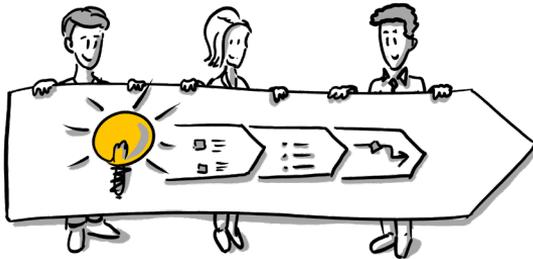
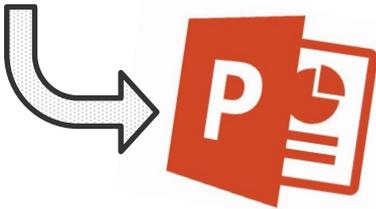
- » voestalpine AG
- » voestalpine Rotec ist eine international agierende Unternehmensgruppe
- » ~ 1.300 Mitarbeitern
- » 9 Produktionsstandorte
- » Hauptsitz: Krieglach



Die Idee wurde geboren

Digital Ambassador Qualification Programm:

- » 11-15 November 2019
 - » Digitaler Wandel und Agilität
 - » Cybersicherheit
 - » Datennutzung
 - » Change Management
 - »



414



400



300



213



201



Aktuelle Handlungsempfehlung

time	Parameter	Aktuell	Vorschlag	Änderung	Info
2022-08-31 07:31:35.000	<u>Anschlagposition</u>	42.90	43.10	0.20	
2022-08-31 07:31:35.000	<u>03_03 - Biegen - Arbeitsposition</u>	93.00	93.00	0.00	
2022-08-31 07:31:35.000	<u>03_04 - Drehen - Arbeitsposition</u>	91.70	90.50	-1.20	
2022-08-31 07:31:35.000	<u>03_04 - Zustellen - Arbeitsposition</u>	58.00	57.90	-0.10	
2022-08-31 07:31:35.000	<u>03_05 - Biegen - Arbeitsposition</u>	49.40	49.10	-0.30	
2022-08-31 07:31:35.000	<u>03_06 - Drehen - Arbeitsposition</u>	-0.50	-0.30	0.20	
2022-08-31 07:31:35.000	<u>03_06 - Zustellen - Arbeitsposition</u>	51.20	51.30	0.10	
2022-08-31 07:31:35.000	<u>03_07 - Biegen - Arbeitsposition</u>	184.10	183.90	-0.20	
2022-08-31 07:31:35.000	<u>Tulpenformen 3 - Aufweitdom - Beilage</u>	2.70	2.60	-0.10	

Projekt Intelligente Gurtstraffer -Anlage

- » **Einstellparameter** , **Werkzeugdaten** und **Qualitätsdaten** sind digital sowie synchronisiert verfügbar, diese werden durch einen **lernenden Algorithmus analysiert** und **Lösungen** werden bei Abweichungen vorgegeben .
- » Eingebettet in einem **Problemlösungsprozess**, wird eine **systematische und standardisierte Vorgehensweise** sichergestellt .
 - Vorgabe von Einstellparametern
 - Checklisten generieren sich Problembezogen
 - integrierte Werkzeugüberwachung
- » **Vorteile:** Brauchzeit-, Ausschussreduktion; Erhöhung der Prozessstabilität; Projektanrollung ist möglich; Basis für Mehrmaschinenbedienung, ...

Systematische Problemlösung

Qualitätsproblem

1. Einstellparameter



2. Checkliste Anlagenbediener



3. Checkliste Werkzeugvorbereiter



4. Werkzeug



*Nicht jedes Problem
kann mit den
Einstellparametern
gelöst werden*

Teil 2: Prozessoptimierung durch intelligente Regressionsverfahren



Steuerung komplexe Fertigungsprozesse



Industrielle Fertigungsprozesse weisen typischerweise eine Vielzahl von Parametern auf

Sie werden automatisch erfasst und können dazu genutzt werden, die Fertigung zu steuern und zu kontrollieren

Beispiel: Stanz-Biegewerkzeug mit einer verkettete Abfolge von Stanz- und Biegeprozessen

- + Einstellparameter $E_1 \dots E_8$
- + Qualitätskennwerten $Q_1 \dots Q_4$ bewertet.

Werkzeuge sind insbesondere bei hohen Stückzahlen starken Beanspruchungen ausgesetzt und nutzen sich ab

Kosten für die entsprechenden Werkzeuge sind hoch, so dass versucht wird, die Werkzeuge möglichst lange zu nutzen



Foto: voestalpine Rotec GmbH

move to improve



KA

Herausforderungen der Prozessregelung



Manuelle Einstellung der Parameter überfordert das Fertigungspersonal

- + Vielzahl von Einstellparametern
- + Wechselwirkungen der Einstellparameter auf mehrere Qualitätsmerkmale

Vergleich von Soll- und Ist-Werten der Qualitätskennwerte soll für eine intelligente Handlungsempfehlung verwendet werden

- + Idealerweise sollen nur Einstellparameter geändert werden, Werkzeug bleibt lange im Einsatz
- + Algorithmus soll im Bedarfsfall auf das zu tauschende Werkzeug hinweisen
- + Freigabe der Änderungen erfolgt zunächst durch Personal



Foto: <https://www.voestalpine.com/rotec/de/gmbh>

move to improve



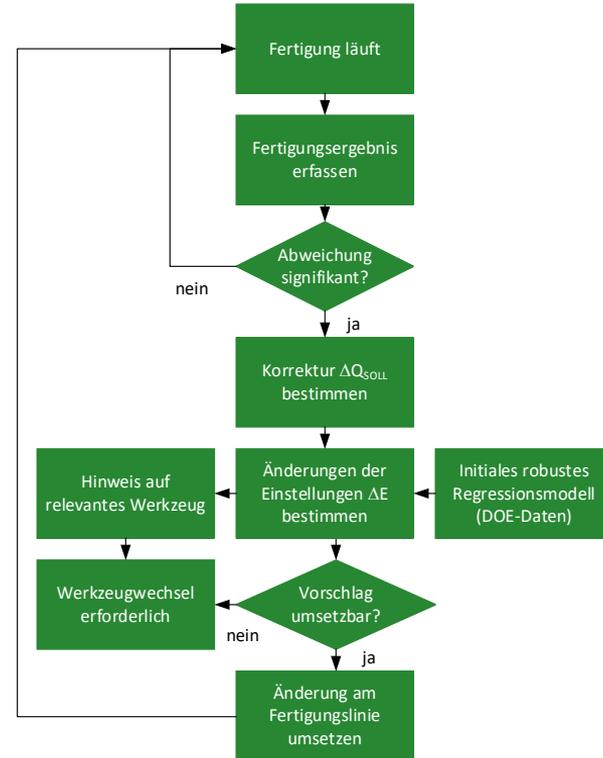
Prozessregelung



Flussdiagramm eines Algorithmus zur Regelung der Prozesssicherheit

- + Fertigungsergebnis wird mit den entsprechenden Soll-Werten verglichen, Abweichung Qualitätskennwerte ΔQ
- + Bestimmung der Korrekturen für Einstellparameter ΔE bei signifikanten Abweichungen über ein Regressionsmodell
- + Vorschlag Werkzeugwechsel, wenn Korrektur durch Einstellparameter nicht möglich

Regressionsmodell erfordert eine robuste Datenbasis, die über die statistische Versuchsplanung ermittelt wird



move to improve



KA

Regressionsmodell zur Beschreibung des Prozesses



Fertigungsprozess weist Einstellparametern E_m auf, die auf Qualitätskennwerte Q_k wirken

Mathematische Beschreibung über Regressionsfunktion

$$Q_k = b_{k0} + \sum_{m=1}^8 b_{km} \cdot E_m$$

Zusammenfassung in Vektorschreibweise

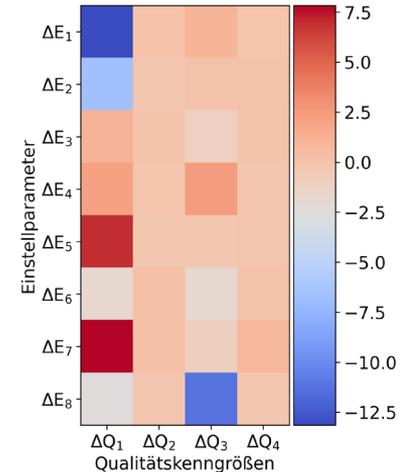
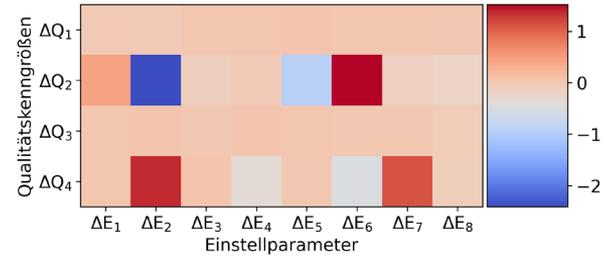
$$\underline{Q} = \underline{b}_0 + \mathbf{B} \cdot \underline{E}$$

Linearisierung im Arbeitspunkt

$$\Delta Q_k = \sum_{m=1}^8 \frac{\partial Q_k}{\partial E_m} \cdot \Delta E_m = \sum_{m=1}^8 b_{km} \cdot \Delta E_m$$

beziehungsweise in Vektorschreibweise

$$\Delta \underline{Q} = \mathbf{B} \cdot \Delta \underline{E}$$



move to improve



Inverses Regressionsmodell zur Prozessregelung

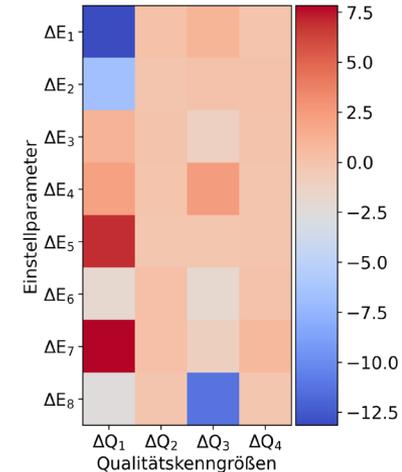
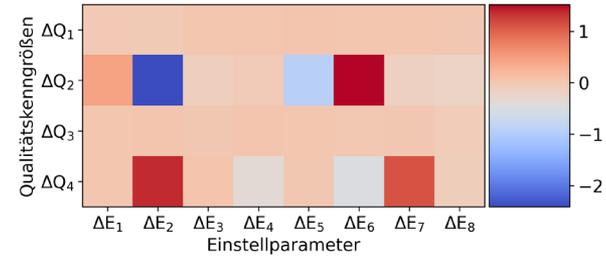


Zur Kompensation von Fehlern der Qualitätskenngrößen wird eine notwendige Korrektur $\Delta \underline{Q}_{SOLL}$ bestimmt, die mit den Einstellgrößen $\Delta \underline{E}$ eingestellt werden soll

Zur Bestimmung der Einstellgrößen muss die Regressionsgleichung invertiert werden

$$\Delta \underline{E} = (\mathbf{B}^T \cdot \mathbf{B})^{-1} \cdot \mathbf{B}^T \cdot \Delta \underline{Q}_{SOLL} = \mathbf{B}_{PSI} \cdot \Delta \underline{Q}_{SOLL}$$

Große Werte in den Spalten der Pseudoinversen \mathbf{B}_{PSI} für die Qualitätskenngrößen Q_1 oder Q_3 zeigen, dass für die Korrektur dieser Größen sehr große Änderungen der Einstellparameter E_m verbunden sein werden



move to improve



Inverses Regressionsmodell zur Prozessregelung

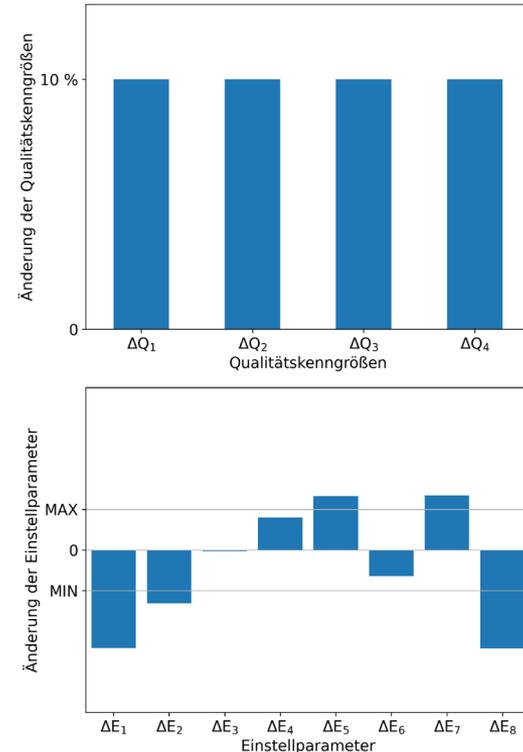


Berechnung der Einstellparameter E_m für den Fall, dass alle Qualitätskennwerte um 10 % korrigiert werden müssen

Analytische Invertierung berücksichtigt nicht den verfügbaren Einstellbereich, beispielsweise liegt der Einstellparameter E_2 bereits außerhalb des zulässigen Einstellbereichs

Drift der Qualitätskenngrößen von 10 % des zulässigen Toleranzbereiches führt zu nicht realisierbaren Einstellungen

Lösung ist damit mathematisch korrekt, aber physikalisch nicht umsetzbar



move to improve



KA

Optimierungsverfahren zur Prozessregelung

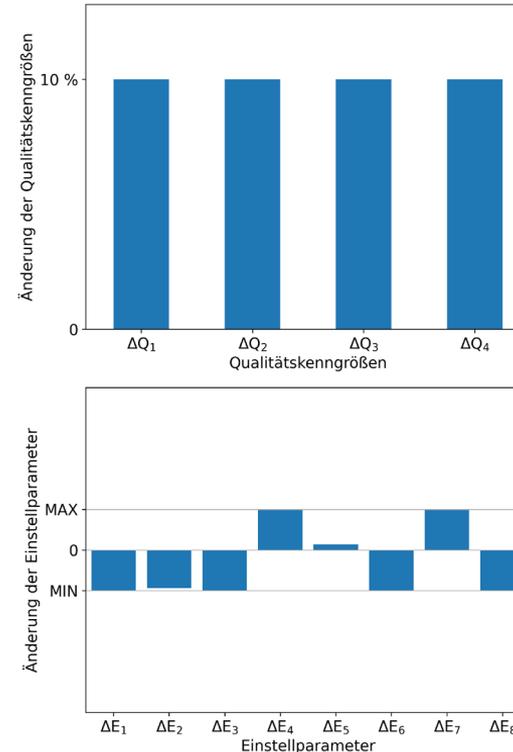


Numerischer Optimierungsalgorithmus erlaubt die Berücksichtigung der Einstellgrenzen

Einstellparameter befinden sich bei diesem Verfahren innerhalb der festgelegten Einstellgrenzen, allerdings führt eine Abweichung der Qualitätskenngrößen von 10 % bereits zu einem Vollausschlag einiger Einstellparameter

Verantwortlich dafür sind die hohen Parameter der inversen Regressionsmatrix \mathbf{B}_{PSI}

Sinnvolle Korrektur der Qualitätskennwerte Q_1 und Q_3 ist deshalb nicht möglich



move to improve



Workshop zu Korrelation und Kausalität



Diskussion des Ergebnisses im einem Projekt-Review

Keine Kausalität zwischen den Einstellparametern und den Qualitätskennwerten Q_1 und Q_3 , die beiden Kennwerte müssen über andere Einstellparameter kontrolliert werden

Qualitätskennwerte Q_1 und Q_3 werden deshalb im Folgenden von der Korrektur ausgeschlossen, der Algorithmus konzentriert sich auf die Kennwerte Q_2 und Q_4

Beispiel unterstreicht die Notwendigkeit, mathematische Korrelationen und bekannte Kausalitäten in sogenannten 2K-Workshops zusammenzuführen

Explainable Artificial Intelligence soll es den Nutzern ermöglichen, die erzeugten Algorithmen zu verstehen und KI-Modelle erfolgreich in die Produktion einzuführen



Foto: Norbert Gatz

move to improve



KA

Optimierungsverfahren zur eingeschränkten Prozessregelung



Vorgehen mit einem Modell wiederholt, das weiterhin alle Einstellparameter E_m , allerdings nur noch die Qualitätskennwerte Q_2 und Q_4 aufweist

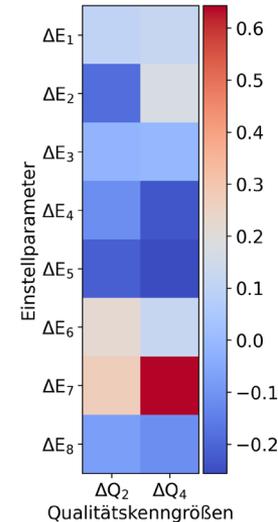
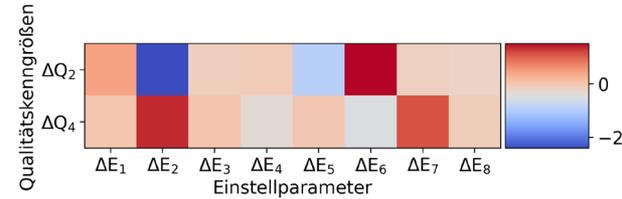
Regressionskoeffizienten der Matrix \mathbf{B} als auch die der inversen Matrix \mathbf{B}_{PSI} liegen in einem Zahlenbereich von - 1 ... 1

Konditionszahl gibt Auskunft über Invertierbarkeit

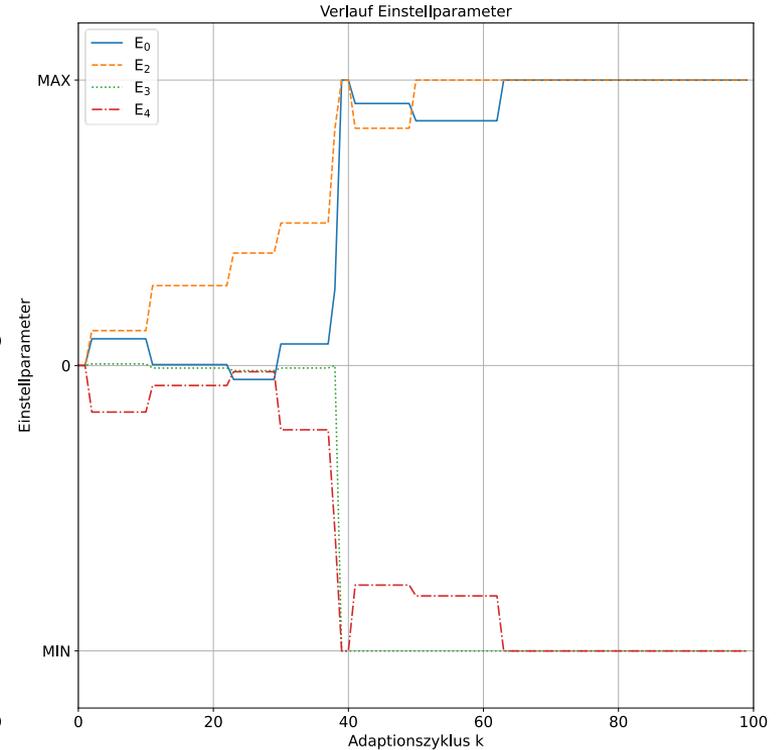
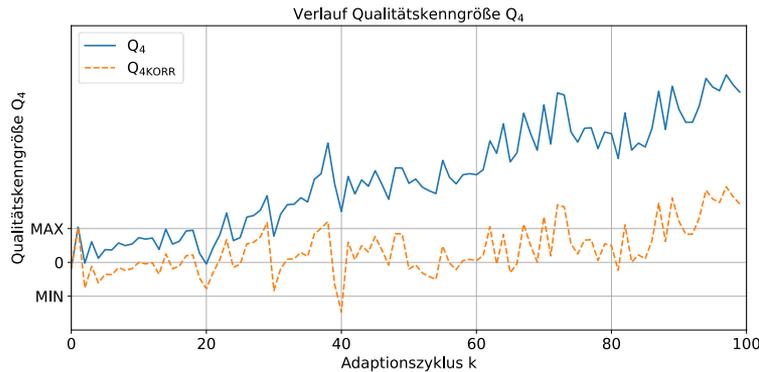
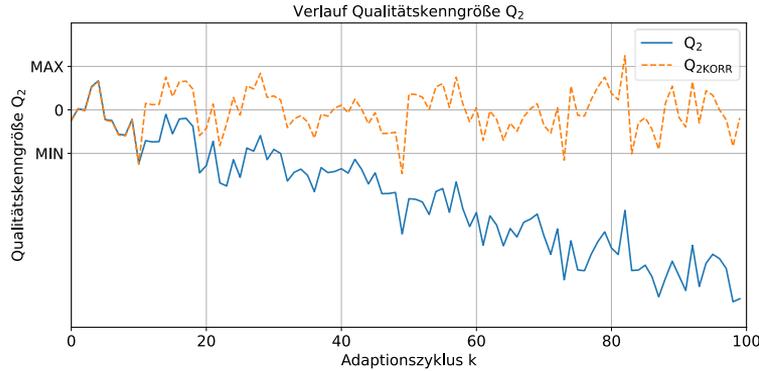
Kleinere Änderung der Einstellparameter reichen aus, um eine Korrektur der Qualitätskennwerte von 10 % zu erreichen

Simulation bestätigt diese Vermutung, Grenzwerte der Einstellparameter erlauben eine Kompensation der Qualitätskennwerte bis zu 50 %

Verlauf der Korrektur an einem Simulationsbeispiel



Simulation des Optimierungsverfahren zur Prozessregelung



Absicherung durch Kontrolle des Prognosebereichs

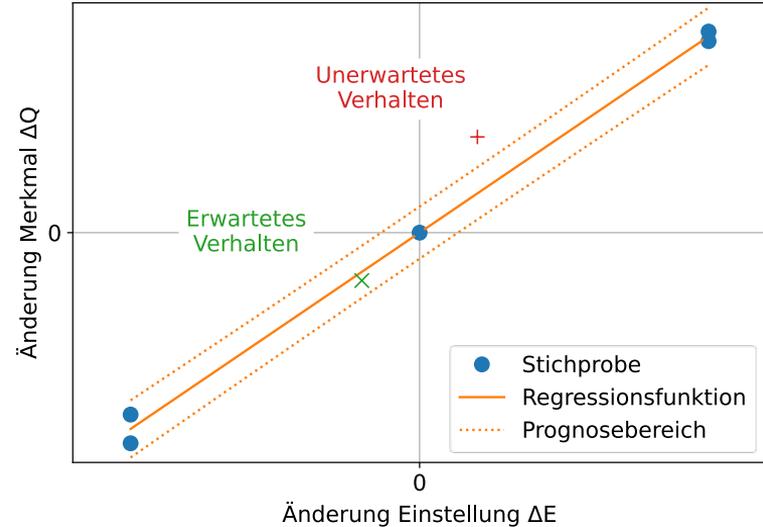


Algorithmus schlägt bei Überschreiten von Eingriffsgrenzen ΔQ eine Änderung der Einstellparameter ΔE vor

Nutzung des Prognosebereichs zur Prüfung des Zusammenhangs von Änderungsvorschlag ΔE und realisierter Änderung ΔQ

- + Liegt die Kombination von Änderungsvorschlag ΔE und realisierter Änderung ΔQ in dem Prognosebereich, wird das Modell bestätigt
- + Liegt eine Kombination außerhalb, widerspricht das Verhalten der Erwartung und das Modell muss zumindest im Wiederholungsfall überprüft oder neu aufgesetzt werden

Stetige Überwachung des Modells durch Ausreißererkennung



move to improve



KA

Prozessregelung mit lernendem Regressionsmodell



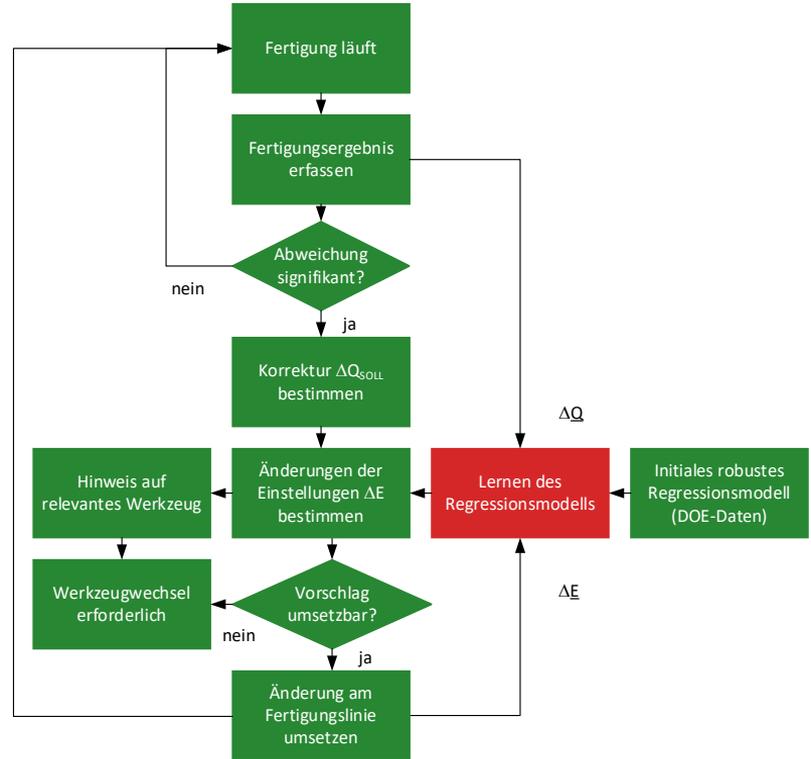
Konzept baut zunächst auf einem robusten Datensatz auf, der über einen Versuchsplan erstellt wird

Jede Änderung der Einstellparameter ΔE wird in dem Fertigungsprozess eine Änderung der Qualitätskenngrößen ΔQ festgestellt

Erweiterung des Wissens über den vorliegenden Prozess, Erweiterung des zugrundeliegenden Datensatzes

Schätzung der Matrix wird genauer und passt sich langsam an die Prozessrealität an

Zur Entscheidung, ob eine neue Stichprobe in das Modell aufgenommen wird Ausreißerererkennung durchgeführt



move to improve



KA

Prozessregelung mit lernendem Regressionsmodell

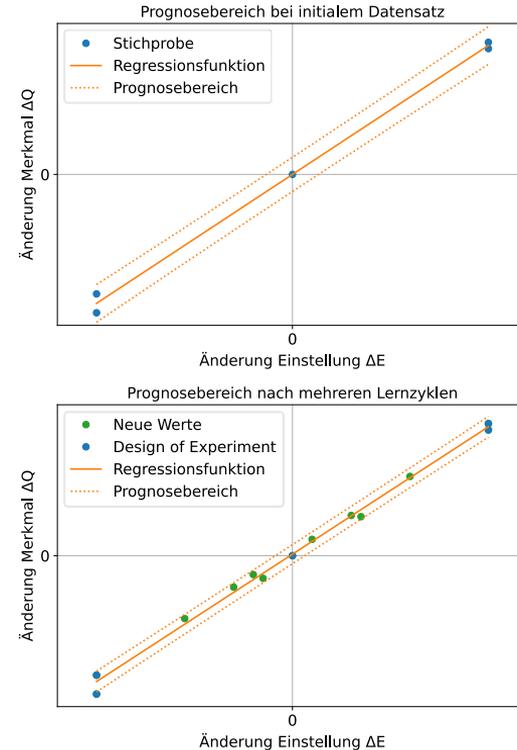


Prognose wird mit der steigenden Anzahl von Beobachtungen realistischer, Algorithmus lernt bei jeder plausiblen Änderung selbstständig dazu

Anzahl an Datenpunkten geht in die Berechnung des Prognosebereichs ein, steigende Anzahl führt bei sonst gleichen Bedingungen zu einer Verkleinerung des Prognosebereichs

Vergleich der initialen Situation mit den Datenpunkten aus der statistischen Versuchsplanung und den Datensatz nach mehreren Adaptionen

Modell wird im Laufe des Einsatzes genauer und die Ausreißerüberwachung kritischer, Modell gewinnt an Aussagekraft und trägt damit zu einer stetigen Verbesserung der Fertigungsqualität bei



Teil 3

- Teil 1 Aufgabenstellung und Ausgangssituation (David, 7 Minuten)
- Teil 2 Lösungsansatz und Erweiterungen (Manfred, 15 Minuten)
- Teil 3 Bewertung des Nutzen (David, 7 Minuten)

Aktueller Stand

Pilotanlage:

- » Modellanpassung bei einem Werkzeugwechsel

Ausrollung:

- » 2022 auf weitere 3 Anlagen
- » 2023 auf weitere 5 Anlagen

Allgemein:

- » Überprüfung der Ausrollung auf nicht Gurtstrafferanlagen (Rotec Gruppe)
- » Projektkreislauf
- » Service NEU
- » Werkzeugdatenbank

Abteilung: Digitalisierung / F & E

Team:

- » 1 Leitung
- » 3 Automatisierungstechniker
- » 2 Digitalisierungs -Ingenieure
 - » (+1 Senior Data Scientist/Division)
- » 1 F&E (2023)



VIELEN DANK!

David WEIß

T. +43/664 88 323 753

david.weiss@voestalpine.com