



KI-gestützte Maschinendatenverwertung

Dr.-Ing. Hajo Wiemer

Technische Universität Dresden, Institut für Mechatronischen Maschinenbau
Professur für Werkzeugmaschinenentwicklung und adaptive Steuerungen

Vortrag auf 11. Ostsächsische Maschinenbautage
Bautzen, 16. Oktober 2024

PROKI
D R E S D E N

Agenda



Was will ich alles erzählen?

- (1) Kurzvorstellung
- (2) Langes Beispiel zur Entwicklung von datenbasierten Lösungen für die Bedarfsgerechte Wartung
- (3) Kurzes Beispiel zur Datennutzung zur Verbesserung des Prozesses
- (4) Zusammenfassung

Kurzvorstellung

Abt. Maschinendatenverwertung, ProKI-Dresden

Maschinendatenverwertung - Daten.nutzen für Produktionstechnik

- interdisziplinäres Team mit Wurzeln in der Entwicklung und Analyse von Werkzeugmaschinen
- Lösungen für die Nutzung von Daten in Ingenieur Anwendungen
- Fokus ist praktikable Bereitstellung



Maschinen-Gesundheit



- Ausfallerkennung
- Prognose von Anomalien
- Ursachen zu Anomalien
- Maschinenüberwachung



Fertigungs-Prozessketten

- Erkundung von Effekten
- Übergreifende Zusammenhänge
- F&E-Kollaboration



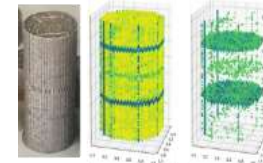
Maschinen-Betrieb/-Inbetriebnahme

- Prozess-/Stationenüberwachung
- Monitoring Arbeitsgenauigkeit
- Bedienung über sehende Roboter



Maschinen und Prozess

- Klassifizierung von Q.-Merkmalen
- Qualitätsprognose
- Suche optimaler Prozessparameter



ProKI-Dresden

Schwerpunkte

- Grundlagen der KI in der Produktionstechnik
- Befähigung der KI durch Digitalisierung und Retrofit
- Der Mensch, die Organisation und die KI
- Bedarfsgerechte Überwachung und Wartung 1. Beispiel
- Effiziente Charakterisierung von Material und Produkt
- Datenbasierte Verbesserung von Produkt und Prozess 2. Beispiel
- Themen der Umformtechnik in Kooperation mit ProKI-Darmstadt
- Weitere Schwerpunkte im ProKI-Netz



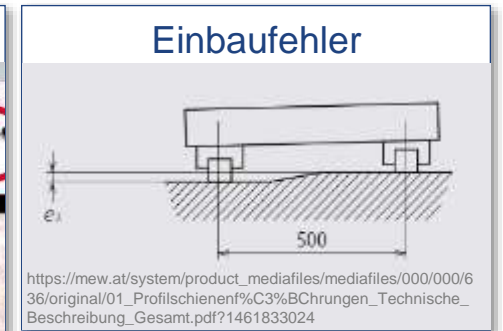
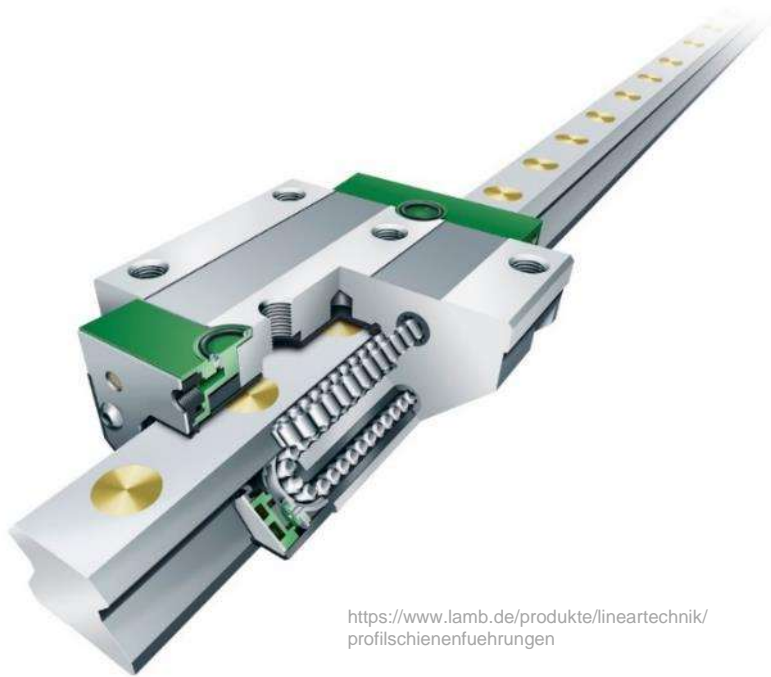
Datennutzung zur bedarfsgerechten Wartung

Eine kurze Illustration

Fallbeispiel Profilschienenführung (PSF)

Aufbau und relevante Zustände

- PSF ist eine Linearführung, bei der die lineare Bewegung über Führungswagen auf einer Führungsschiene realisiert wird.
- PSF ist eine Wälzführung. Im Führungswagen befinden sich Wälzkörper (Kugel, Rolle), die über die Laufbahnen abwälzen.
- Verschiedene Schäden beeinflussen Funktionsfähigkeit der Anlage und Qualität des Produkts.



- Vorspannung
- Überlast
- Umgebungsbedingungen

Wie funktioniert die datenbasierte Vorhersage von Schäden?

Erklärt entlang des Vorgehensmodells

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

Geschäftsverständnis

Reduktion Stillstandskosten

Geschäftsverständnis

Häufigste Ausfälle

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung



<https://manufacturing-software-blog.mrpeasy.com/de/instandhaltungsmanagement-mit-moderner-fertigungssoftware-proaktiv-werden/>

Konventionelle Instandhaltung
(reaktiv, zustandsbasiert, präventiv)

- Hoher Personalaufwand
- unproduktiver Arbeitseinsatz
- dennoch Stillstände

Instandhaltung

Konventionell

- Aufwendige Mess- und Ausrichtarbeiten
- Regelmäßige Kontrolle an teils schlecht zugänglichen Bereichen
- Schmutzige Arbeit – „Fingerprobe“ prüft Metallpartikel im Fett



Geschäftsverständnis

Reduktion Stillstandskosten



Häufigste Ausfälle



Prädiktive Instandhaltung

- Lebensdauererhöhung von Maschinen: **+ 20–40 %**
- Senkung der Wartungskosten: **– 10–40 %**
- Reduzierung ungeplanter Ausfallzeiten: **– 30–50 %**
- Steigerung der Produktivität: **+ 5–10 %** durch mehr OEE
- Effizienzsteigerung in der Ersatzteilbeschaffung
- Effizientere Planung von Personal und Wartungseinsätzen
- Erhöhte Arbeitssicherheit: **+ 10–30 %**



<https://www.ptc.com/en/blogs/iiot/what-is-predictive-maintenance>

Mustererkennung von Mangelschmierung

Was bedeutet das Geschäftsziel technisch?

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

Technisches Szenario:

- Schmierung von Komponenten ist ein typischer Wartungseinsatz
- Geschäftsziel: Wartung nur, wenn Fett fehlt
- Technisches Ziel: Erkennung des Schmierzustandes aus Messdaten
- Welche Größe ist messbar?



The screenshot shows a website page with a purple header. The main content is titled 'Grundwissen Rollreibung'. A vertical 'Feedback' button is on the left. The text describes rolling friction and includes a formula: $F_{RR} = \mu_{RR} \cdot F_N$. The formula is highlighted with a yellow box. The text explains that rolling friction occurs when a wheel is pressed against a surface and rolls, and that the force acts opposite to the direction of motion.

Ohne Schmierung steigt der Rollreibwert und damit die Reibkraft. Die notwendige Antriebsleistung nimmt zu.

Mustererkennung von Mangelschmierung

Was bedeutet das Geschäftsziel technisch?

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

Finden von Erfassungsideen:

- 1 Die erforderliche mechanische Leistung nimmt zu: $P_{mech} = (F_{RR} + F_{Nutz}) \cdot v$
Der Antriebsmotor muss mehr Leistung bringen. Dann ist $P_{mech} \sim P_{el} = U \cdot I$
Die Spannung U ist konstant, der **Stromverbrauch I** nimmt zu und wird gemessen.
- 2 Aus der erhöhten Reibkraft resultiert eine erhöhte Reibleistung, die in Wärme umgesetzt wird, welche wiederum zur Erwärmung der Komponenten führt. Die **Temperatur der Maschinenkomponenten** kann gemessen werden.
- 3 ...

- Motorstrom oder Leistungsaufnahme messen, um auf Schmierzustand zu schlussfolgern.
- Zugleich Schmierzustände erfassen (beim Anlernen).
- Kritischen Schmierzustand erfahrungsbasiert definieren und zugehörige Grenzwerte von Strom oder Leistung korrelieren.
- ACHTUNG: Andere Einflüsse auf Strom und Leistung betrachten, um Fehlinterpretation zu vermeiden. Das ist in der Regel mit weiteren Sensordaten möglich, erfordert aber mehr Datenanalyse.

Finden von Erfassungsideen:

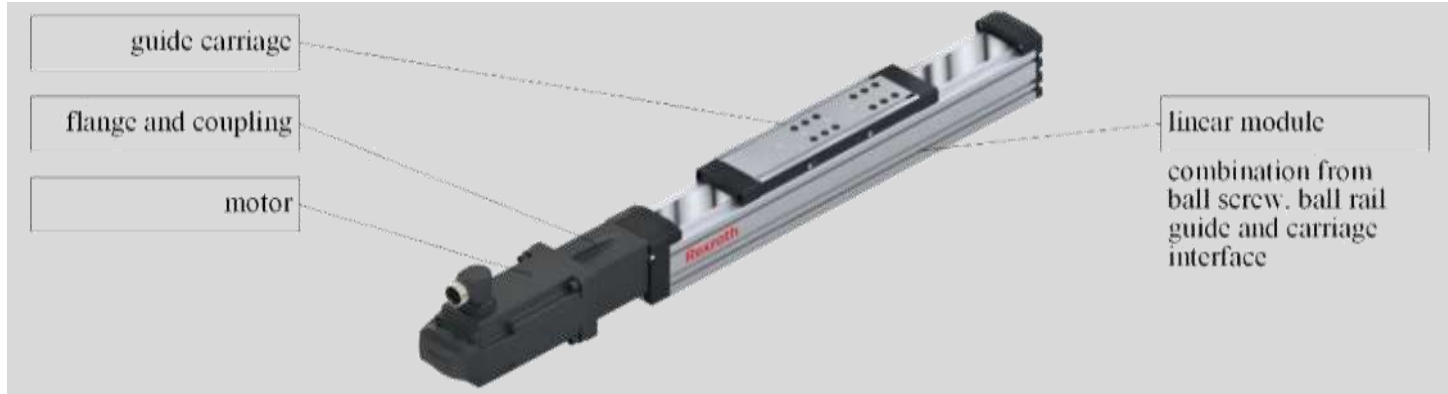
- Die erforderliche mechanische Leistung nimmt zu: $P_{mech} = (F_{RR} + F_{Nutz}) \cdot v$
- 1 Der Antriebsmotor muss mehr Leistung bringen. Dann ist $P_{mech} \sim P_{el} = U \cdot I$
Die Spannung U ist konstant, der **Stromverbrauch I** nimmt zu und wird gemessen.
 - 2 Aus der erhöhten Reibkraft resultiert eine erhöhte Reibleistung, die in Wärme umgesetzt wird, welche wiederum zur Erwärmung der Komponenten führt. Die **Temperatur der Maschinenkomponenten** kann gemessen werden.
 - 3 ...

Mustererkennung von Mangelschmierung

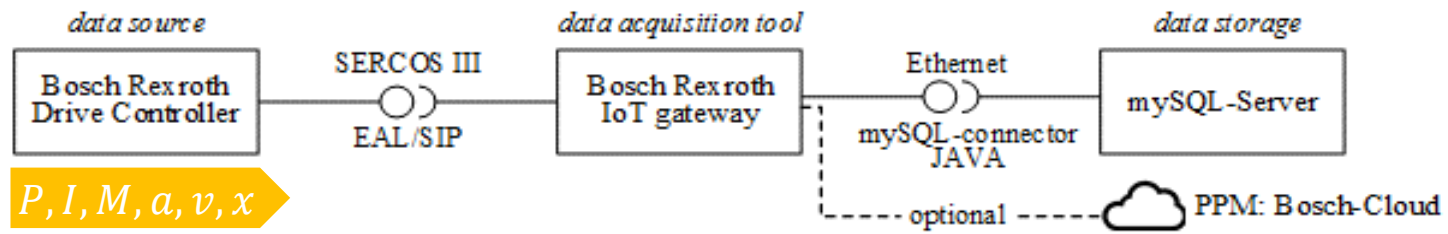
Wie sieht eine geeignete Datenerfassung aus?

- Geschäftsverständnis
- Technisches Verständnis
- Technische Realisierung
- Datenverständnis
- Datenvorbereitung
- Modellgenerierung
- Modellevaluierung
- Anwendung
- Technische Implementierung

- Versuchsstand für Erfassungsmethode und Datenpipeline, Experimente.
- Aufbau entspricht einer typischen Linearachse einer WZM. Vorgehen und Ergebnisse sind daher übertragbar.



Testbett Linearachse von BOSCH Rexroth



Aufbau des Datenerfassungssystems via BOSCH Rexroth

P, I, M, a, v, x

Mustererkennung von Mangelschmierung

Versuchsdurchführung zur Erzeugung von Daten

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

- Nachbildung von Prozessbelastung



lubrication condition	load condition	axle velocity
initial lubrication	load condition 1 („empty run“)	velocity 1 („creep speed“)
		velocity m („maximum speed“)
	:	..
	:	..
	load condition n („overload“)	velocity 1 („creep speed“)
		velocity m („maximum speed“)
marginal lubrication	load condition 1 („empty run“)	velocity 1 („creep speed“)
		velocity m („maximum speed“)
	:	..
	:	..
	load condition n („overload“)	velocity 1 („creep speed“)
		velocity m („maximum speed“)

Auszug vom
Versuchsplan

Mustererkennung von Mangelschmierung

Kontrolle der Eignung der Daten

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

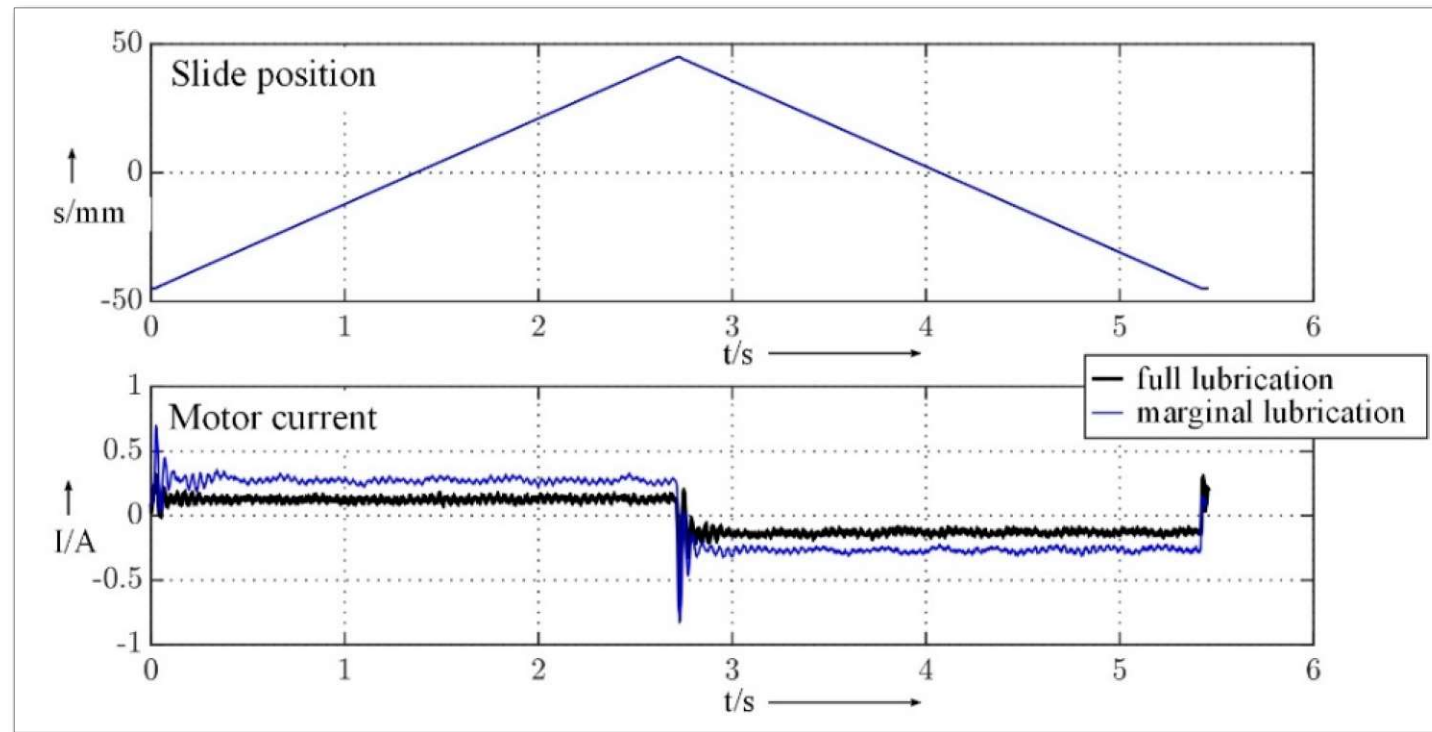
Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

- Sichten und Plausibilität prüfen



Ausschnitt der aufgezeichneten Daten im Leerlauf für Vollschmierung und Mangelschmierung.
Oben: Position des Schlittens
Unten: Motorstrom

Mustererkennung von Mangelschmierung

Kontrolle der Eignung der Daten

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

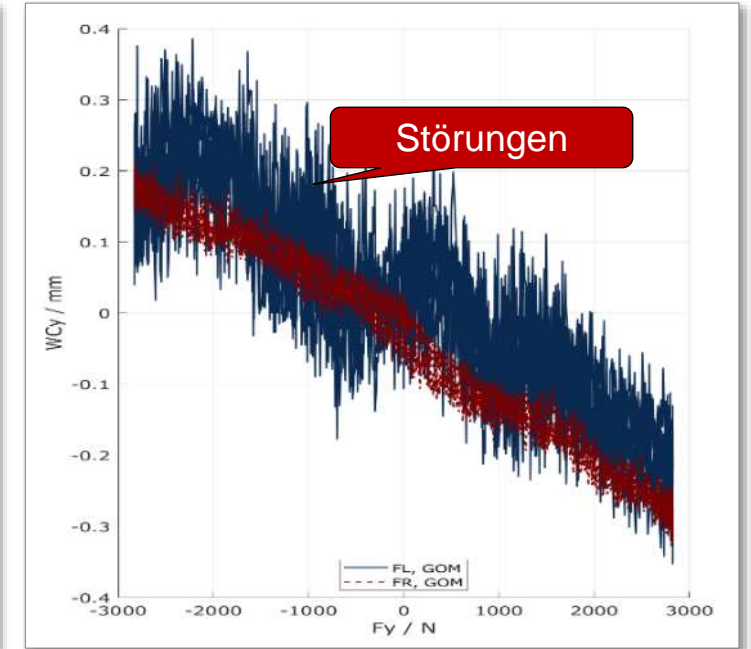
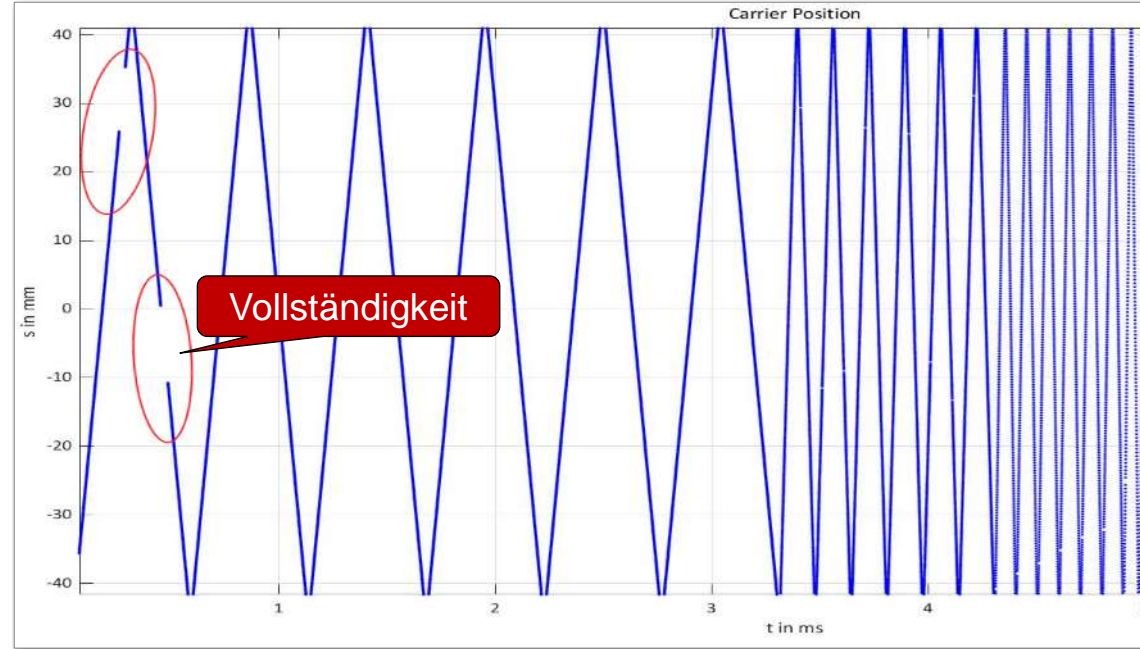
Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

- Überprüfen der Datenqualität
- Ggf. Verbesserungen bspw. bei der Sensorik oder Schnittstellen



Mustererkennung von Mangelschmierung

Analysefähigkeit der Daten herstellen

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

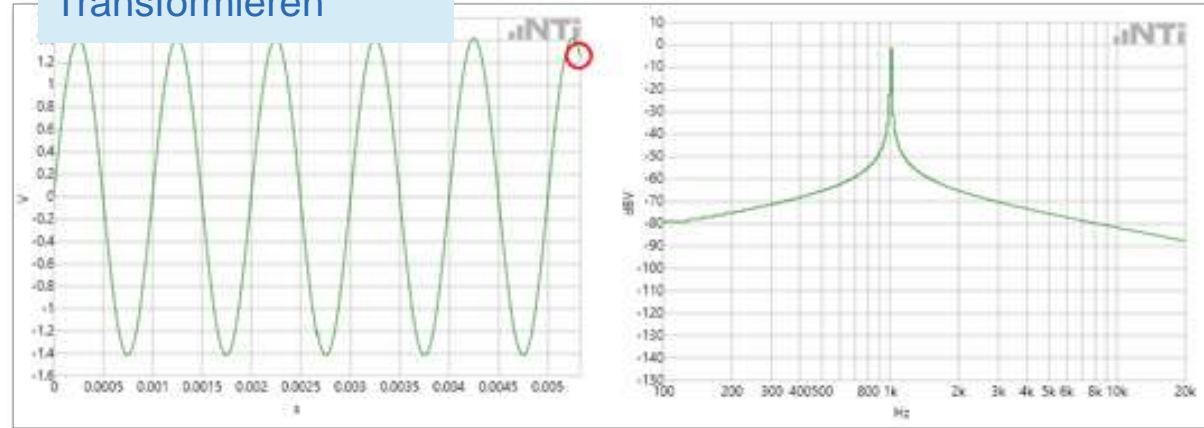
Modellgenerierung

Modellevaluierung

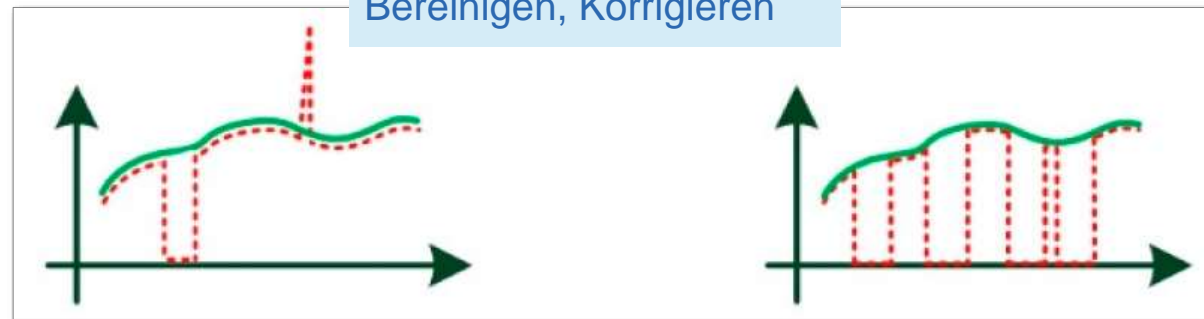
Anwendung

Technische Implementierung

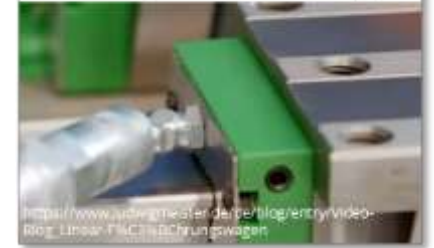
Transformieren



Bereinigen, Korrigieren



Mangelschmierung



Integrieren



Format wandeln



Mustererkennung von Mangelschmierung

Finden und Testen des Modells, das die Mangelschmierung erkennt.

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

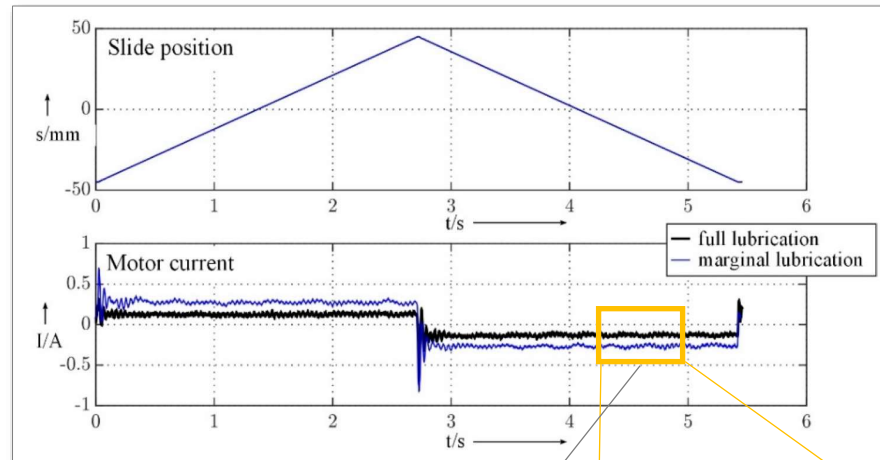
Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung



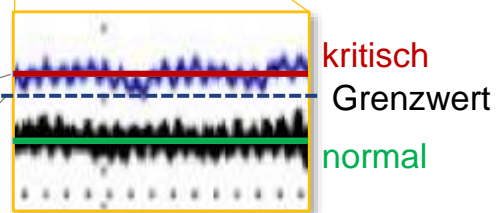
(1) Segmentierung mit $a=0$

(2) Mittelwertbildung

(3) Vergleich mit Grenzwert

(4) Kategorisierung

(5) Entscheidung, Maßnahme



Wartung anfordern



Mustererkennung von Mangelschmierung und andere

Finden und Testen des Modells, das alle Fehler erkennt.

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

(1) Alle Effekte in statistischer Versuchsplanung (Design of Experiments) berücksichtigen.

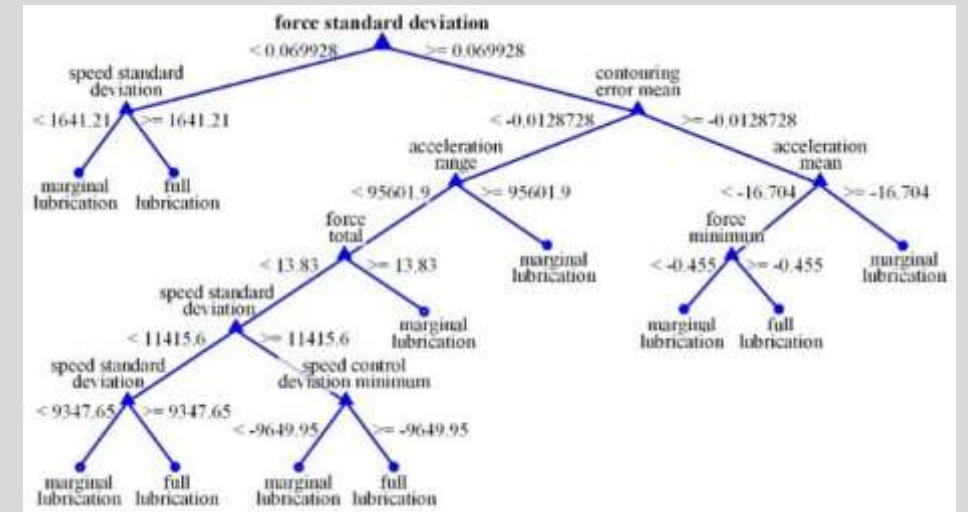
(2) Datensatz mit allen Effekten generieren.

(3) Komplexes Modell auswählen, antrainieren.



Entscheidungsbaum

- ... Methode zur automatischen Klassifikation von Datenobjekten und damit zur Lösung von Entscheidungsproblemen.
- Hier Zuordnung der Datenwerte zu Effekten und damit zu sinnvollen Maßnahmen, wie schmieren, wechseln, nachjustieren.



Mustererkennung von Mangelschmierung und andere

Wie genau ist das Modell?

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

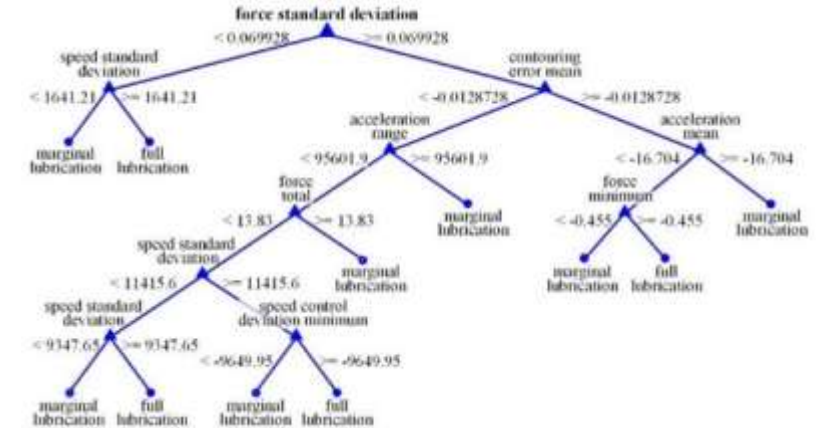
Anwendung

Technische Implementierung

(1) Anwendung des Modells auf 20% von Testdaten, die aus dem Datensatz zurückgehalten wurden.

(2) Genauigkeit 97 %; Fehlerquote 3 %.

(3) Genauigkeit durch weitertrainieren verbessern.



Wahrheitsmatrix

- engl.: Confusion Matrix
- Werkzeug zur Überprüfung der Qualität eines Klassifikations-modells im Machine Learning. Wie viele der Vorhersagen wurden richtiger- oder fälschlicherweise einer Klasse zugeordnet.

		Predicted Class		
		initial lubrication	marginal lubrication	
True Class	initial lubrication	62.7%	3.0%	95.5% 4.5%
	marginal lubrication	0.0%	34.3%	100.0% 0.0%
		100.0% 0.0%	92.0% 8.0%	97.0% 3.0%

Mustererkennung von Mangelschmierung und andere

Überführen des Modells in die Produktion

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

(1) Übertragung auf die Zielmaschinen.

(2) Integration in die Softwarelandschaft.

(3) Testen und Verbessern

(4) Übertragung auf andere wartungsrelevante Elemente.



Lebensdauer-Versuchsstand



DMU 80



Mustererkennung von Mangelschmierung und andere

KI hilft bei der Verkürzung der Entwicklungszeit

Geschäftsverständnis

Technisches Verständnis

Technische Realisierung

Datenverständnis

Datenvorbereitung

Modellgenerierung

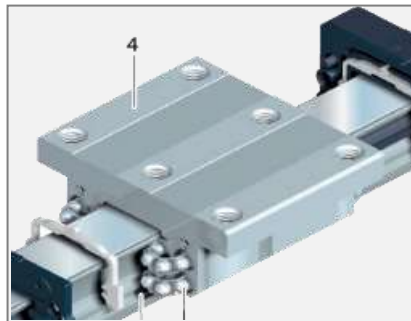
Modellevaluierung

Anwendung

Technische Implementierung

- Modelle sind systemspezifisch
- Hoher Entwicklungsaufwand für neue Anwendungsfälle (andere Maschinen, Bautypen und Baugrößen)

Initiale Versuchsreihen zum Antrainieren
Kugel-PSF BG-25



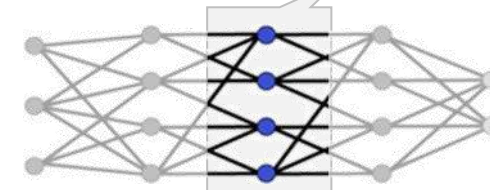
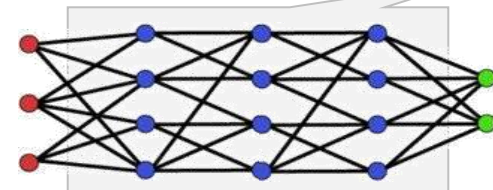
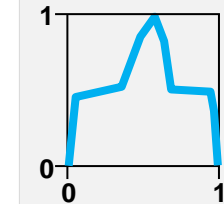
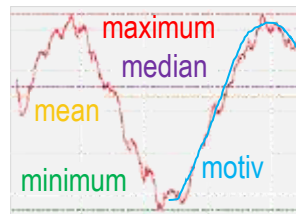
Entwicklungsaufwand:

- 6-8 Wochen
- 20 Prüflinge

(1) Messfahrten und Datenbasis schaffen.

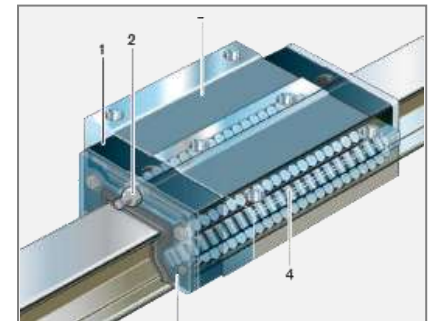
(2) Merkmale (Features) entdecken. Klassifizieren.

(3) Merkmale normieren.



(4) Übertragung auf andere wartungsrelevante Elemente.

Übertragen auf Neusystem
Rollen-PSF BG-45



Übertragungsaufwand:

- < 1 Tag
- 1 Prüfling

Datennutzung zur Verbesserung des Prozesses

Ein Beispiel aus der explorativen Datenanalyse

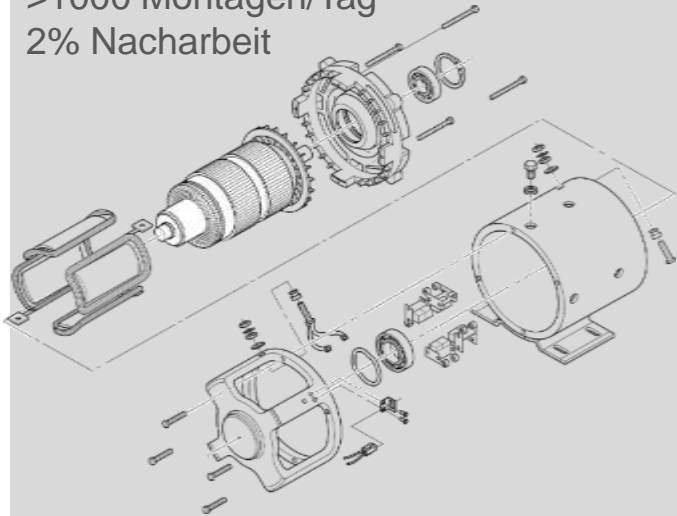
Lernen aus Daten der Produktion

Explorative Datenanalyse kann schon Erkenntnisse bringen

- EDA untersucht Datensätze, um schnell erste Effekte in Daten zu erkennen.
- Im Wesentlichen ohne spezifische Hypothesen zu haben.
- Der Schwerpunkt liegt auf der Visualisierung und Zusammenfassung von Daten.

Antriebsproduktion

>1000 Produktvarianten
>1000 Montagen/Tag
2% Nacharbeit



Produktionsprozess

Mehrere Produktionslinien
> 10 PLCs / Linie
Mehrere Ablehnungsausgänge
QS ist letzte Station



Daten

- Stammdaten
- Maschinendaten
- Qualitätsdaten

Datenbasis ist bereits
im MES vorhanden!

Datensatz für
10 Tage Produktion.

Lernen aus Daten der Produktion

Explorative Datenanalyse kann schon Erkenntnisse bringen

- Vorbereiteter Datenkontext und Forschungsfrage verfügbar!
- Ziel: Vorhersage IO/NIO für die frühzeitige Ablehnung von Baugruppen
- Hypothese: Lieferantenspezifische Schwankungen verursachen Nacharbeit

Auftragsplanung



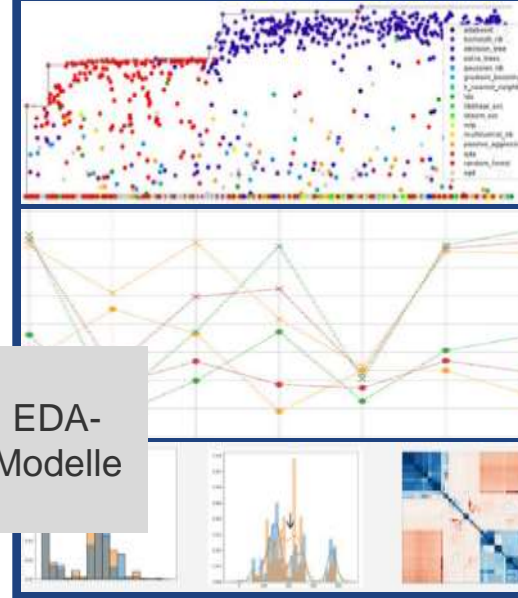
Produktionsanlagen



Qualitätskontrolle



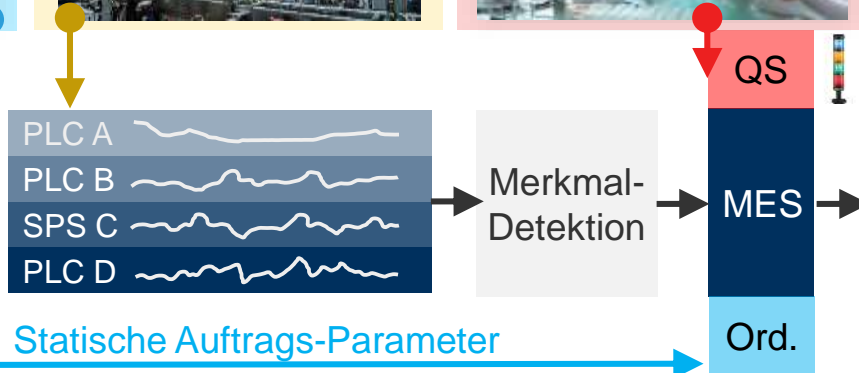
Erkundung der Daten



Nutzen in der Qualitätskontrolle

- 80% der fehlerhaften Baugruppen frühzeitig erkannt
- Einsparung von Maschinenzeit: -42h in 10d
- Trennung von Lieferanten- und Anlagenproblemen
- Transparente und nachvollziehbare Ursachen (ungünstige Paarungen)

→ Ableitung von Handlungsempfehlungen zur Vertiefung



KI-gestützte Maschinendatenverwertung

Zusammenfassung und Call to Action

Wie gelingt ein effizienter Einstieg in die Datennutzung?

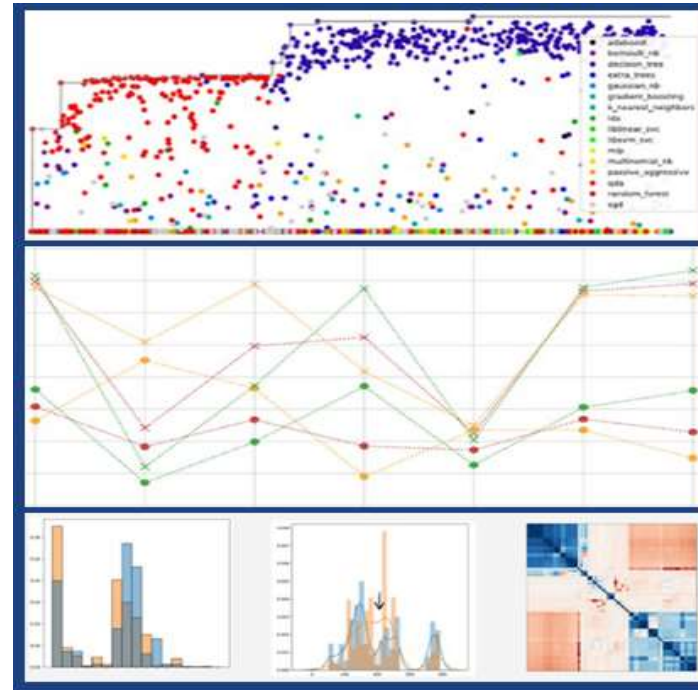
Zusammenfassung und Call to Action

Daten für bedarfsgerechte Wartung



<https://www.ptc.com/en/blogs/iiot/what-is-predictive-maintenance>

Daten für Prozessverbesserung



ProKI-Dresden bietet Schulungen und Demonstratoren sowie Beratung zur Entwicklung datenbasierter Assistenten





Vielen Dank fürs Reinschuppen!

Dr.-Ing. Hajo Wiemer

Technische Universität Dresden, Institut für Mechatronischen Maschinenbau
Professur für Werkzeugmaschinenentwicklung und adaptive Steuerungen

Email: Hajo.Wiemer@TU-Dresden.de

PROKI
D R E S D E N