

Was bringt KI den Betrieben der Umformtechnik?

REFERENT

Prof. Dr.-Ing. Peter Groche

Institut für Produktionstechnik und
Umformmaschinen

Technische Universität Darmstadt

Dr.-Ing. Hajo Wiemer

Leiter der Abteilung
Maschinendatenverwertung

Technische Universität Dresden



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN

Was erwartet Sie heute?

AGENDA

- I. Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Peter Groche
- II. Vorstellung des ProKI-Netzes
- III. Potenzial und Grenzen von KI Anwendung
- IV. ProKI-InfoPoint – Arbeitskreis KI in der Umformtechnik
- V. Technologieschwerpunkte der umformtechnischen ProKI-Zentren
- VI. Diskussions- und Fragerunde

REFERENTEN



Prof. Dr.-Ing. Peter Groche



M. Sc. Christian Kubik



Dr.-Ing. Hajo Wiemer



- I. Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Peter Groche
- II. Vorstellung des ProKI-Netzes**
- III. Potenzial und Grenzen von KI Anwendung
- IV. ProKI-InfoPoint – Arbeitskreis KI in der Umformtechnik
- V. Technologieschwerpunkte der umformtechnischen ProKI-Zentren
- VI. Diskussions- und Fragerunde

Demonstrations- und Transfernetzwerk KI in der Produktion (ProKI-Netz)

Stichtag: 28. Februar 2022

Am 18. Januar 2022 wurde im Bundesanzeiger (BAnz AT 18.01.2022 B5) die Bekanntmachung vom 15. Dezember 2021 zur Förderung von Projekten zum Thema „Demonstrations- und Transfernetzwerk KI in der Produktion (ProKI-Netz)“ im Rahmen des Programms [Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit](#) veröffentlicht.

Die Bekanntmachung soll dazu beitragen, das umfangreiche Potenzial der Künstlichen Intelligenz (KI) im Produktionseinsatz sichtbar zu machen und zu erschließen. Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) sollen bei der Beurteilung von Chancen, Grenzen und Risiken des KI-Einsatzes in der Produktion unterstützt werden. Unternehmen sollen in die Lage versetzt werden, eigenständig KI-Lösungen in einem realen Produktionsumfeld etablieren zu können.

Damit das nachhaltig gelingen kann, sollen im Rahmen der Förderinitiative Hochschulen aus dem Bereich der Fertigungstechnik beim Aufbau und beim Betrieb eines KI-Demonstrationszentrums unterstützt und zur Mitarbeit in einem Transfernetzwerk KI in der Produktion (ProKI-Netz)



ANSPRECHPARTNER

Projekträger Karlsruhe (PTKA)
Michael Petzold

✉ michael.petzold@kit.edu
☎ 0721 608-31469



DOWNLOADS

↓ Bekanntmachung „Demonstrations- und Transfernetzwerk KI in der Produktion (ProKI-Netz“ (PDF; 0,4 MB)



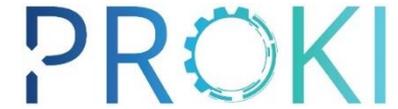
VORLAGE

↓ Skizzengliederung ProKI-Netz (DOTX)



SKIZZENTOOL

Demonstrations- und Transfernetzwerk KI in der Produktion



Was ist ProKI-Netz?

- Förderung durch BMBF
- Verbund von 8 KI-Demonstrations- und Transferzentren für die Fertigungstechnik
- **Kostenloses Angebot** für Unternehmen

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

ProKI-Hannover
ProKI-Berlin
ProKI-Karlsruhe
ProKI-Aachen

TRENNEN

ProKI-Aachen

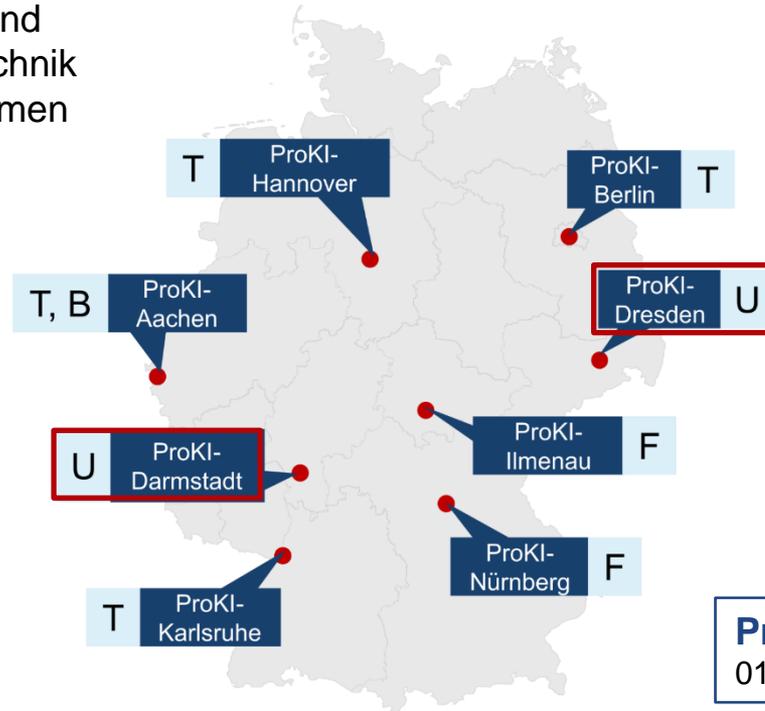
BESCHICHTEN

ProKI-Ilmenau
ProKI-Nürnberg

FÜGEN

ProKI-Darmstadt
ProKI-Dresden

UMFORMEN



Projektlaufzeit

01.10.2023 bis 31.12.2024

Wer sind ProKI-Darmstadt und ProKI-Dresden?

Interdisziplinäres Team für ganzheitliche Betrachtungsweise zu KI-Lösungen in der Umformtechnik



TU Dresden Bildarchiv

- Professur für Werkzeugmaschinenentwicklung und adaptive Steuerungen
Prof. Dr.-Ing. Steffen Ihlenfeldt
- Professur für Formgebende Fertigungsverfahren
Prof. Dr.-Ing. Alexander Brosius
- Professur für Funktionsintegrativen Leichtbau
Prof. Dr.-Ing. Niels Modler
- Professur für Prozesskommunikation
Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wollschlaeger
- Professur für Arbeitswissenschaft
Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder
- CIMTT Zentrum für Produktionstechnik und Organisation
Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder



- Institut für Produktionstechnik und Umformmaschinen
Prof. Dr.-Ing. Dipl.-Wirtsch.-Ing. Peter Groche
- Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen
Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold
Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich



Was haben Sie von uns?
Wie kommen wir zusammen?

Fachaustausch zwischen
Unternehmen und Wissenschaft

- Impulsvortrag und Diskussion
- **Feedback-Abfrage**

- Befragung der Unternehmen
- Auswertung von Erhebungen in Verbänden
- Ergebnis der Workshops und Beratungen
- Ihre Wünsche als Direktanfrage



Sensibilisieren

- ProKI-InfoPoint
- ProKI-Website
- ProKI-Newsletter
- ProKI-Vorträge
- ProKI-Infomaterial



Qualifizieren

- ProKI-Seminare
- ProKI-Workshops
- ProKI-Sprechstunde
- ProKI-Testumgebung



Umsetzung begleiten

- ProKI-Beratungen
- ProKI-Projekte
- ProKI-Vernetzung

Detaillierungsgrad
Bedarfsorientierung

Umfragen zum Bedarf

- Während KI-InfoPoint
- Gezielte Umfragen
- Herausarbeiten in Workshops

Teilen von Erfahrungen aus Unternehmen

- Wenn gewünscht, Initiierung von Stammtischen
- Präsentation von Lösungen
- Wünsche an ProKI-InfoPoint



TU Dresden Bildarchiv

Fokus auf KPI

- Anlagenverfügbarkeit
- Rüstzeiten
- Ausschussquote
- Energiebedarf
- CO₂-Emmission
- ...

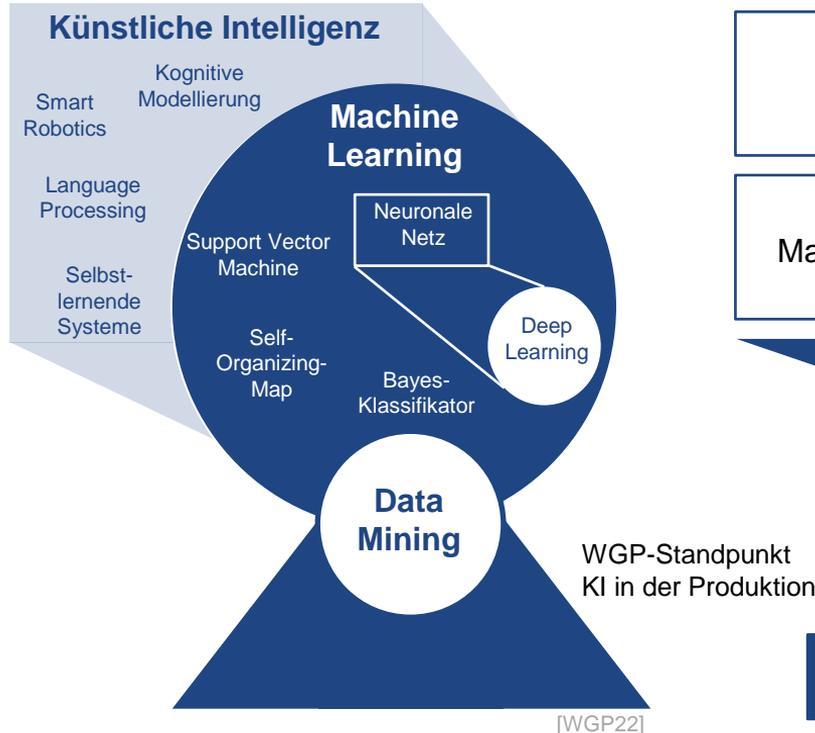
Zielgruppen

- Halbzeughersteller
- Maschinen-, Werkzeugbau
- Presswerke
- Engineering & Software
- Relevante Rollen

- I. Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Peter Groche
- II. Vorstellung des ProKI-Netzes
- III. Potenzial und Grenzen von KI Anwendung**
- IV. ProKI-InfoPoint – Arbeitskreis KI in der Umformtechnik
- V. Technologieschwerpunkte der umformtechnischen ProKI-Zentren
- VI. Diskussions- und Fragerunde

Potenzial und Grenzen von KI Anwendung

Abgrenzung von KI (künstliche Intelligenz) und ML (Machine Learning)



Künstliche Intelligenz

Maschinen erbringen menschenähnliche Intelligenzleistungen, insbesondere Lernen, Urteilen und Problemlösen

Machine Learning

Machine Learning ist ein spezieller Bereich der KI, der Daten und die darin enthaltenen Muster erkennt und nutzt

Daten

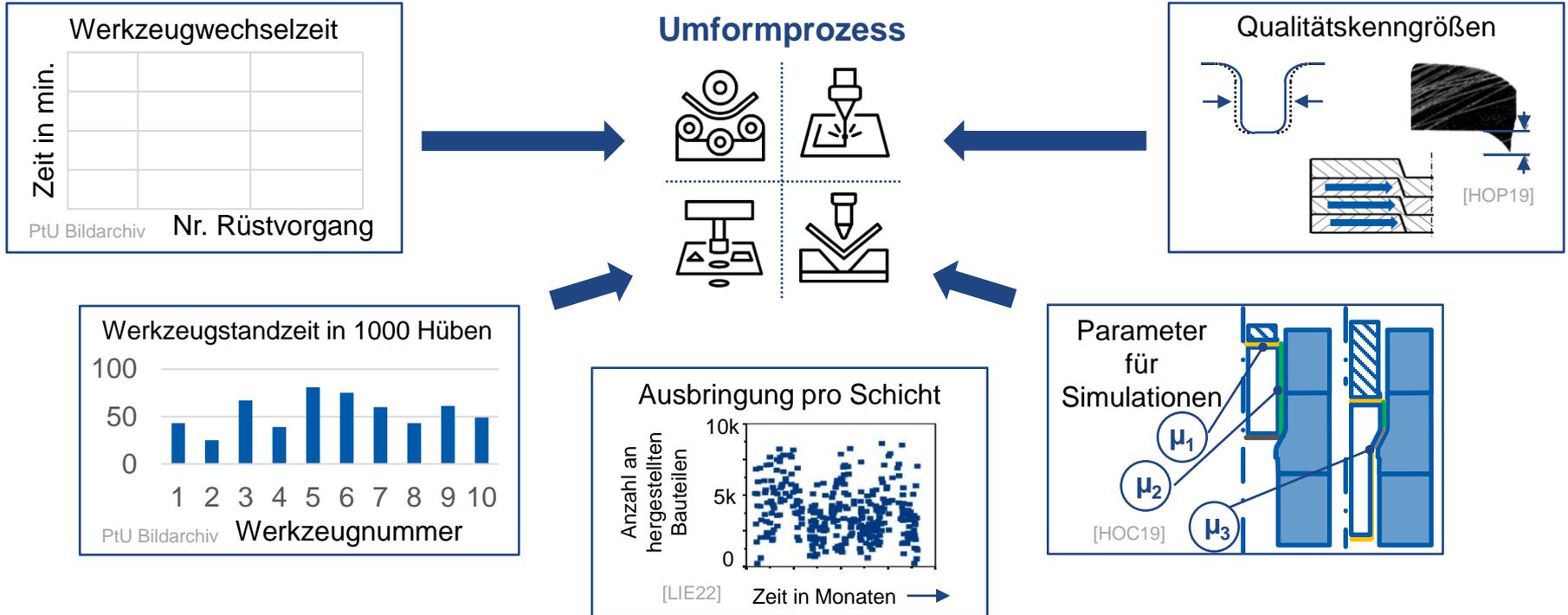
Damit KI qualitative und richtige Entscheidung treffen kann, werden valide Daten benötigt



ProKI - Alles dreht sich um Daten

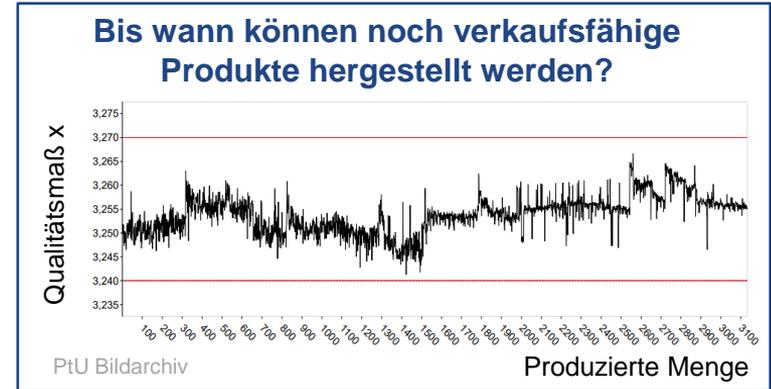
Potenzial und Grenzen von KI Anwendung

Heterogene Datenbasis ist in Betrieben der Umformtechnik vorhanden



Potenzial und Grenzen von KI Anwendung

Die vorhandene Datenbasis wirft Fragen auf



Was ist die Ursache für Veränderungen?

- p₁ | Halbzeugeigenschaft
- p₂ | Werkzeug (Verschleiß)
- p₃ | Temperatur
- p₄ | Schmierstoffansammlungen
- p_i |

PtU Bildarchiv

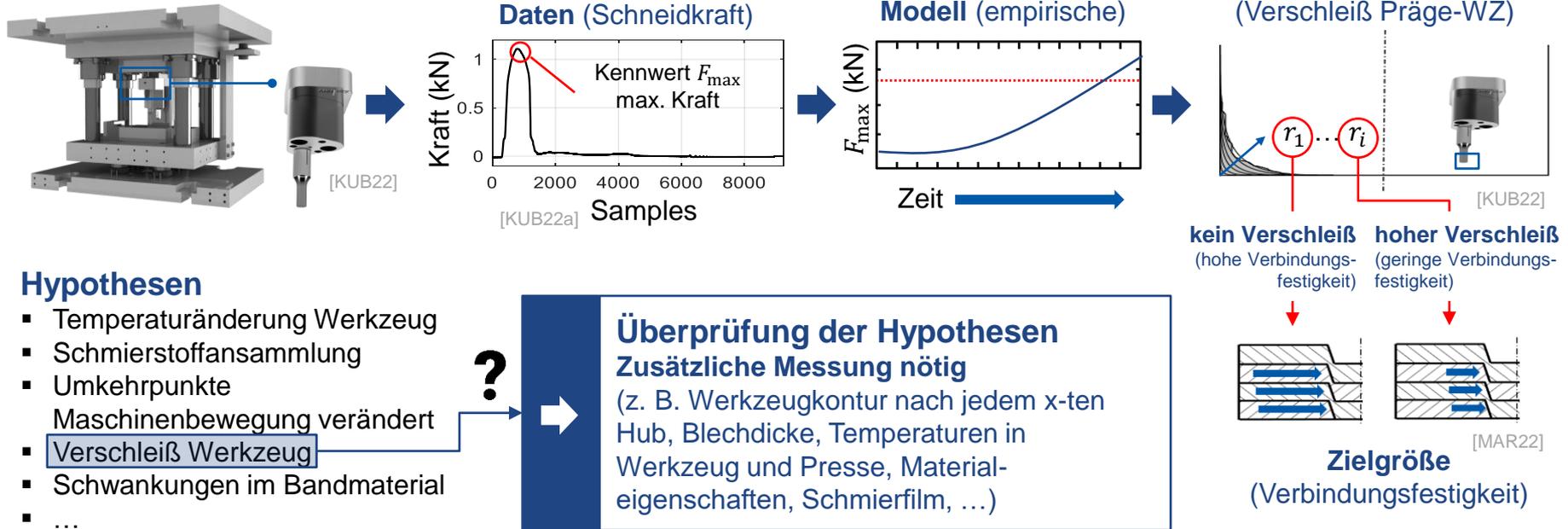
Welche Maßnahmen sind für das Erreichen optimaler Bedingungen zu ergreifen?

Prozess-
anpassung

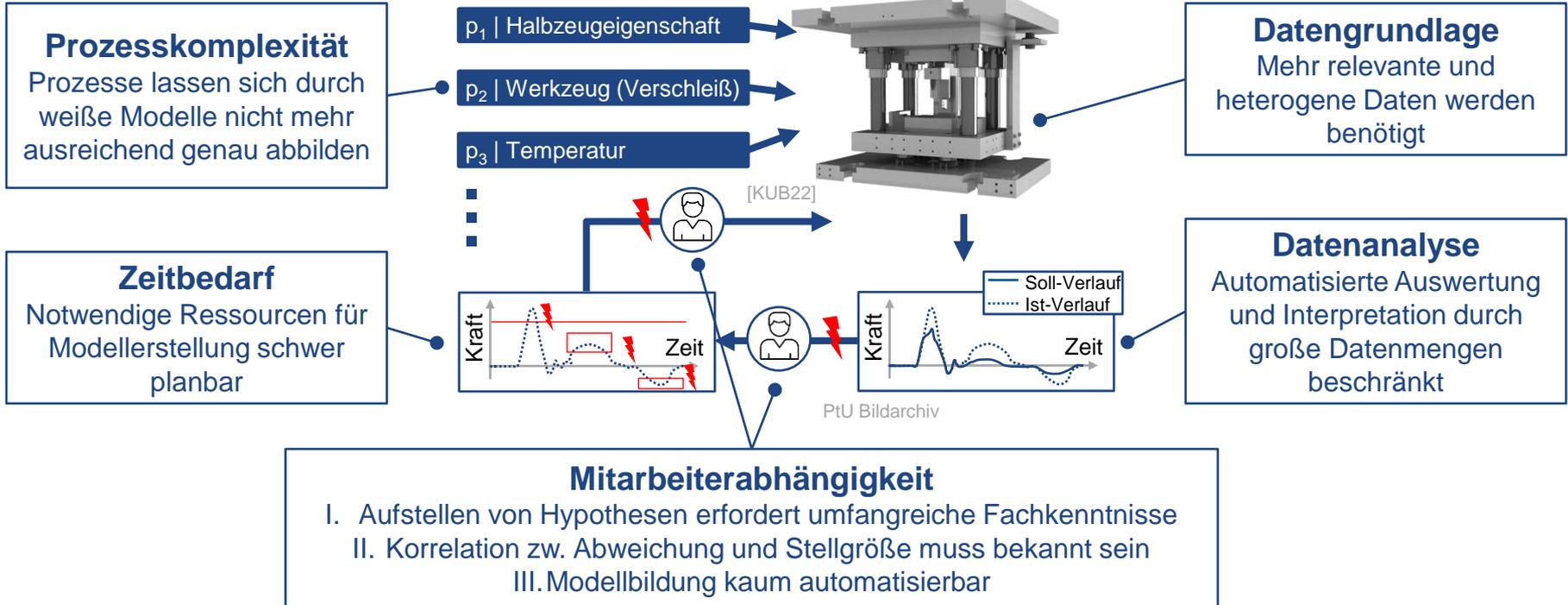
ProKI-Schwerpunkt: Alles dreht sich um Daten und deren intelligente Nutzung

Einsatz „weißer Modelle“ zur Überwachung und Optimierung von Produktionsprozessen

Analytische und physikalische Beschreibungen der auftretenden Phänomene



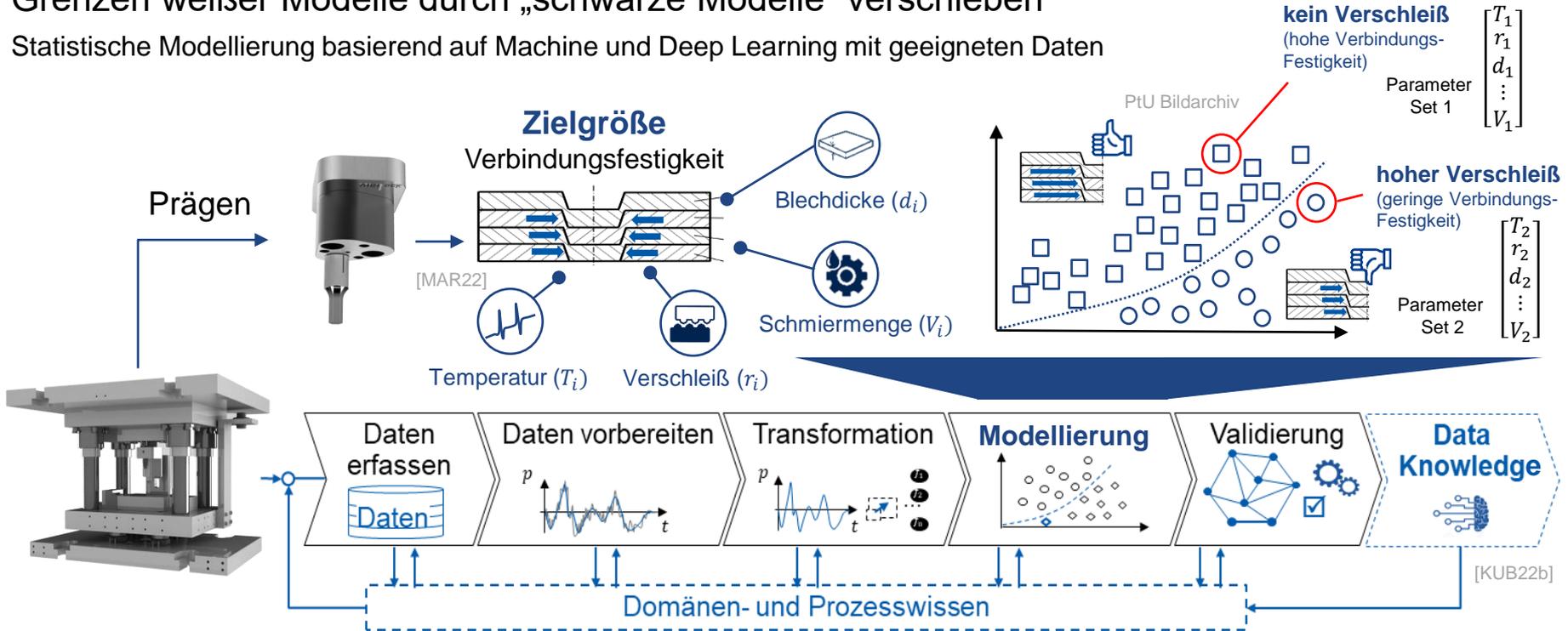
Grenzen der „weißen Modelle“



Potenzial und Grenzen von KI Anwendung

Grenzen weißer Modelle durch „schwarze Modelle“ verschieben

Statistische Modellierung basierend auf Machine und Deep Learning mit geeigneten Daten



Potenzial und Grenzen von KI Anwendung

Datenerfassung

Die richtigen Daten erfassen

Messbarkeit

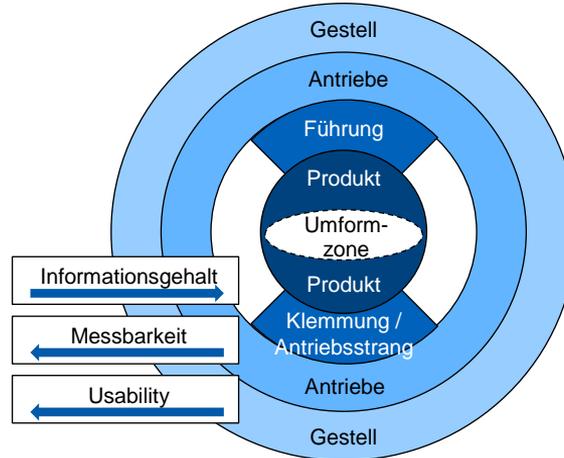
- technischer und wirtschaftlicher Aufwand für die Integration der Sensorik in bestehende Systeme und Werkzeuge

Usability

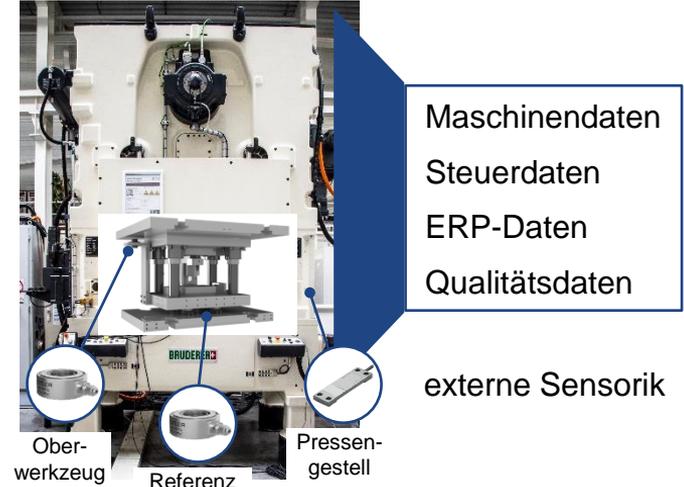
- Sensorik kann ohne großen Aufwand in andere Prozesse integriert werden

Informationsgehalt

- Merkmal der gemessenen Prozessgröße beschreibt den physikalischen Prozesszustand

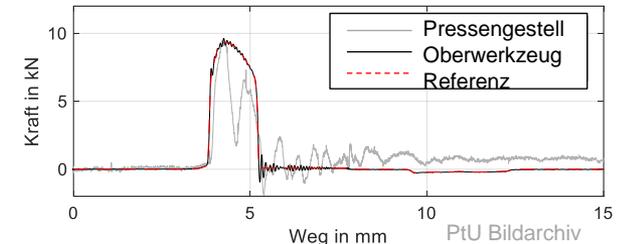


[CAL13]



PtU Bildarchiv

Zeitreihencharakteristik



PtU Bildarchiv

FAZIT
Auswahl, Auslegung und Integration von Sensorsystem als Grundlage einer validen Datenbasis

Datenvorbereitung

Datenqualität durch Vorverarbeitung erhöhen

Elektrisch bedingtes Rauschen (R_{el})

- Netzrauschen
- Kontaktstellen

Maschinen- und werkzeugbedingte Schwingungen (f_{wz})

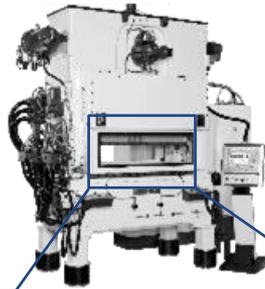
- Vorschubapparat
- Pressenbewegung

Prozessbedingte Schwingungen (f_p)

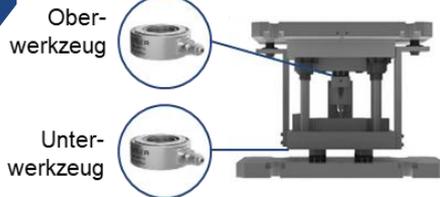
- Schnittschlag
- Hubgeschwindigkeit

prozess- und messkettenbedingte Unsicherheiten

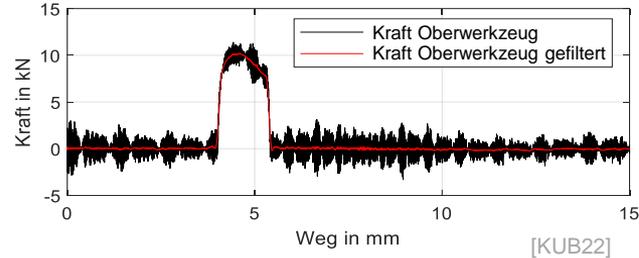
PROZESS



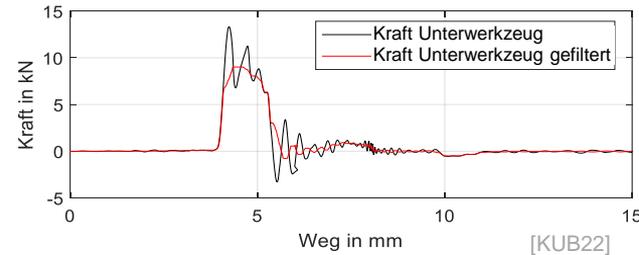
PtU Bildarchiv



Unsicherheit durch messkettenbedingtes Rauschen



Unsicherheit durch physikalisch bedingte Schwingungen



FAZIT

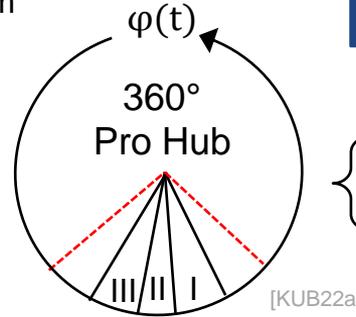
Robustheit gegenüber prozess- und messkettenbedingten Unsicherheiten gewährleisten

Datentransformation

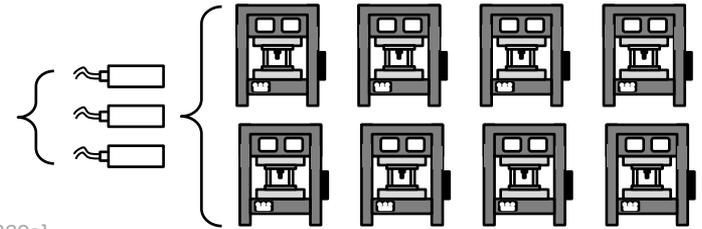
Reduktion der Datenmenge durch Transformation einer Eingangsgröße auf einen niederdimensionalen Raum

160 x 10⁶
Datenpunkte
pro 16h

Hubzahl
200 Hub/min

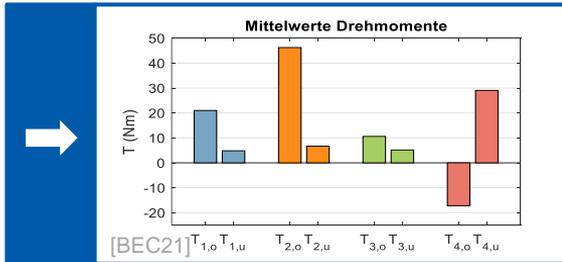


FAZIT
Transformation zur Reduktion der Modellkomplexität als Basis robuster und generalisierbarer Modelle

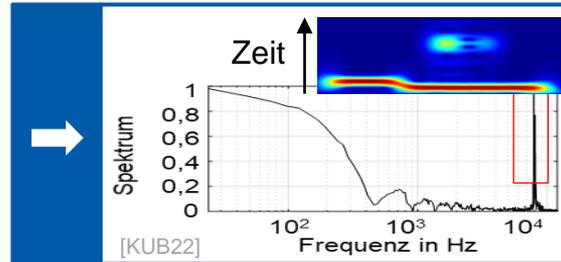


PtU Bildarchiv

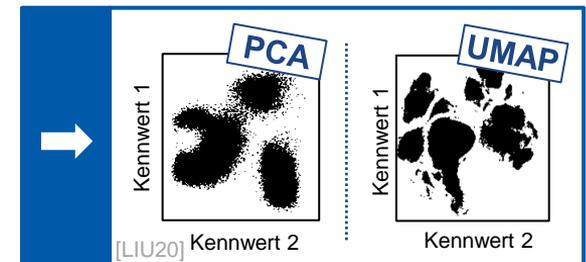
Zeitbereich



Zeit-Frequenz-Bereich



Modellbasiert

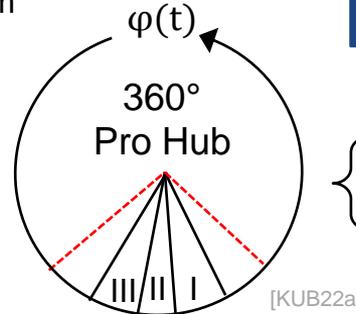


Datentransformation

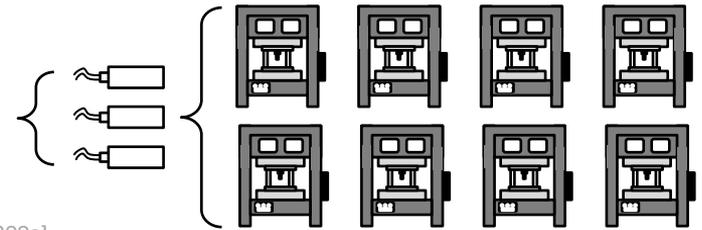
Reduktion der Datenmenge durch Transformation einer Eingangsgröße auf einen niederdimensionalen Raum

160 x 10⁶
Datenpunkte
pro 16h

Hubzahl
200 Hub/min

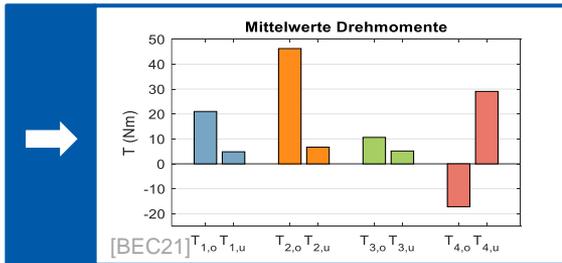


FAZIT
Transformation zur Reduktion der Modellkomplexität als Basis robuster und generalisierbarer Modelle

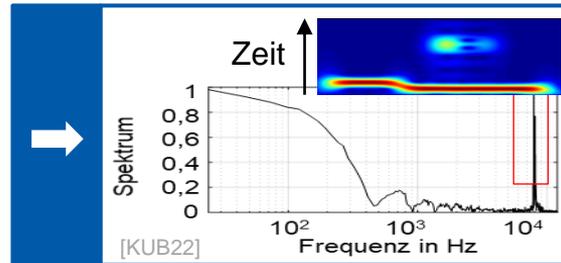


PtU Bildarchiv

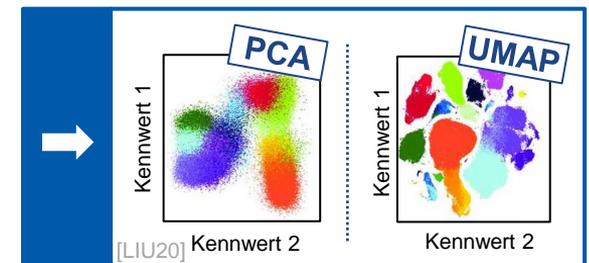
Zeitbereich



Zeit-Frequenz-Bereich

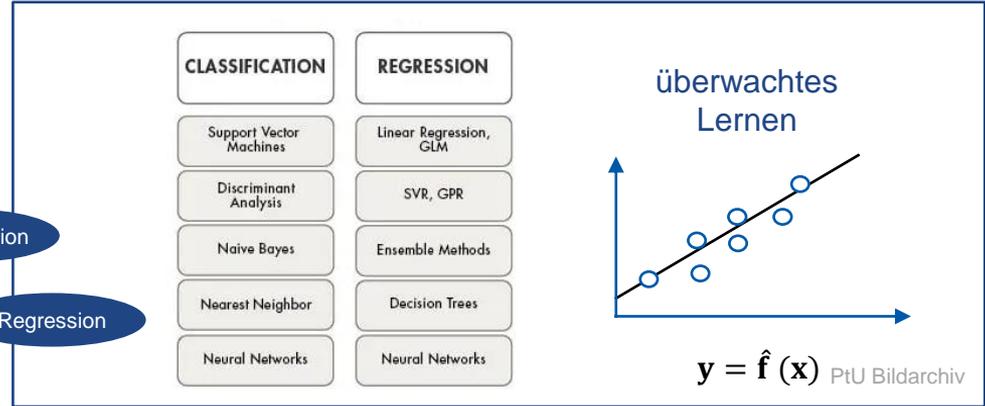
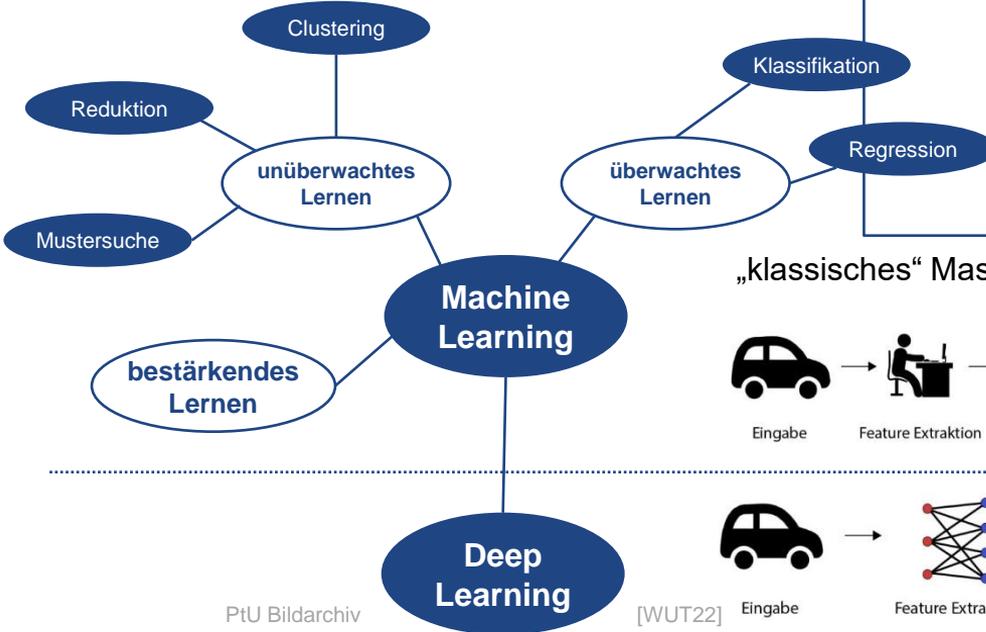


Modellbasiert

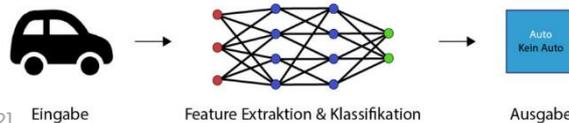
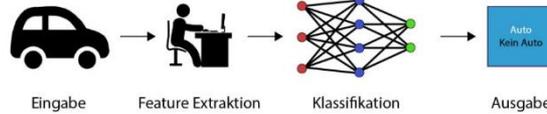


Modellierung

Vielzahl an bestehenden Modellen



„klassisches“ Maschine Learning



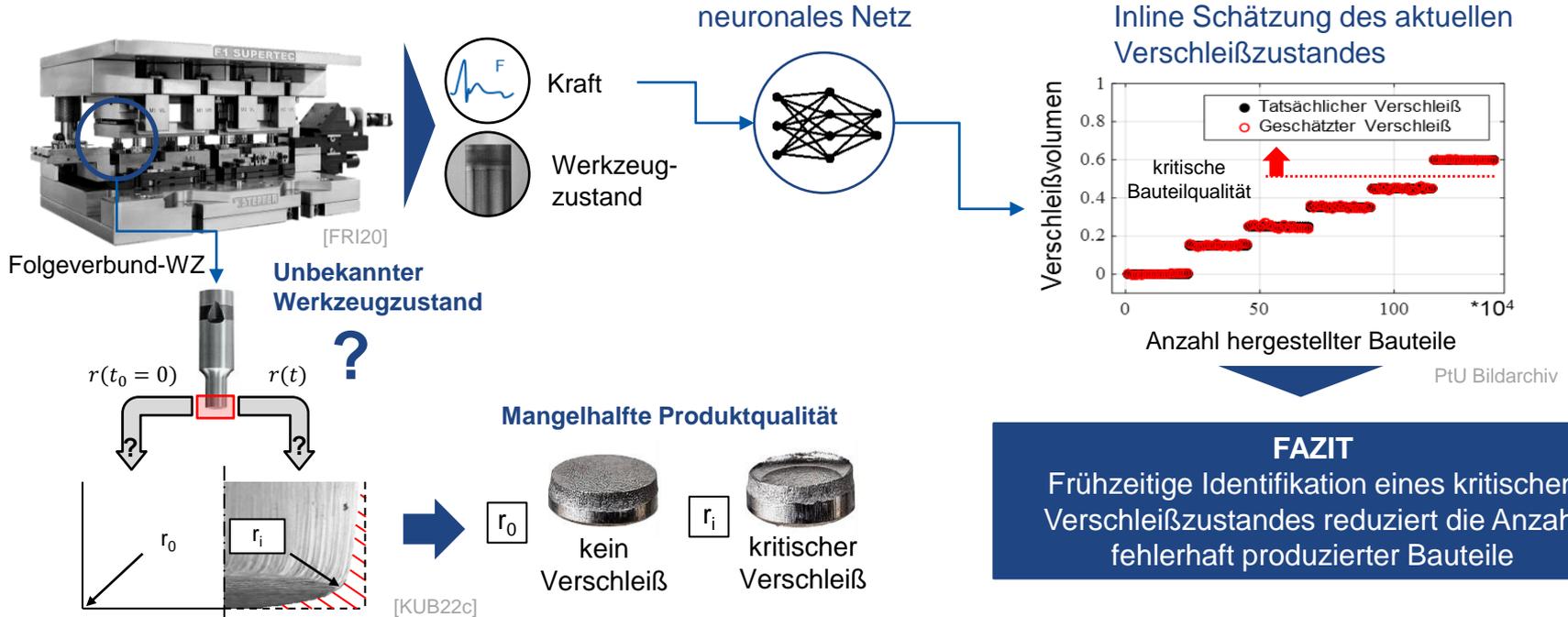
Überwiegend Einsatz von überwachten Lernansätzen in der Praxis

PtU Bildarchiv

[WUT22]

Validierung

Erhöhung der Ausbringungsrate durch Machine Learning basierte Verschleißproduktion



FAZIT
Frühzeitige Identifikation eines kritischen Verschleißzustandes reduziert die Anzahl fehlerhaft produzierter Bauteile

Warum lohnt sich nun der Einsatz von KI in Form von „schwarzen Modellen“

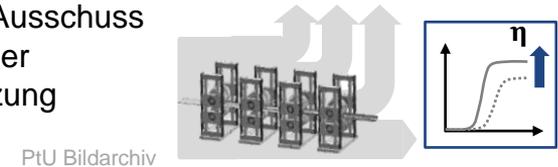
Wirtschaftlichkeit steigern

- Inline Qualitätssicherung
- Fehler und Prozessabweichungen erkennen
- Voraussage von Prozessereignissen möglich



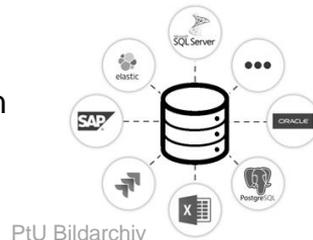
Nachhaltigkeit erhöhen

- Erhöhung der Energieeffizienz
- Reduktion von Ausschuss
- Verbesserung der Materialausnutzung



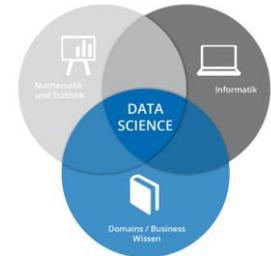
Vorhandene Daten nutzen

- Datenpotenzial ausschöpfen
- Zugriff auf Daten in der eigenen Produktion ist stark vereinfacht
- Vereinigung einer heterogenen Datenlandschaft



KI-Technologieentwicklung

- Algorithmen frei verfügbar
- Implementierung von Modellen automatisiert
- Kompetenzen sind vorhanden



ProKI-InfoPoint zeigt auf, wie ein Transfer, die Integration sowie die Generierung von Nutzen aus „schwarzen Modellen“ in die umformtechnische Praxis gelingen kann

- I. Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Peter Groche
- II. Vorstellung des ProKI-Netzes
- III. Potenzial und Grenzen von KI Anwendung
- IV. ProKI-InfoPoint – Arbeitskreis KI in der Umformtechnik**
- V. Technologieschwerpunkte der umformtechnischen ProKI-Zentren
- VI. Diskussions- und Fragerunde

ProKI-InfoPoint Arbeitskreis KI in der Umformtechnik

Jeden 2. Donnerstag im Monat von 16:00 Uhr bis 17:00 Uhr

- Plattform für den fachlichen Austausch zwischen Unternehmen und Wissenschaft zu neusten KI-Anwendungen aus Forschung & Praxis
- Themenschwerpunkte zum Transfer, der Integration sowie dem Nutzen und den Herausforderungen von KI in der Umformtechnik
- Impulsvorträge und aktiver Austausch mit Expert:innen aus dem Bereich der Umformtechnik, Datenanalyse, Künstlichen Intelligenz und Arbeitswissenschaft



ANSPRECHPARTNER

Technische Universität Darmstadt
M.Sc. Christian Kubik
Telefon: +49 (0) 6151 16 23144
E-Mail: kubik@ptu.tu-darmstadt.de



ANSPRECHPARTNER

Technische Universität Dresden
Dr.-Ing. Hajo Wiemer
Telefon: +49 (0) 351 463 32004
E-Mail: hajo.wiemer@tu-dresden.de



Jahresplanung 2023

Arbeitswelt | 12.01.2023 16:00 Uhr

Verfügbarkeit | 09.02.2023 16:00 Uhr

Retrofit | 09.03.2023 16:00 Uhr

Energieeffizienz | 13.04.2023 16:00 Uhr

Prozessregelung | 11.05.2023 16:00 Uhr

Robustifizierung | 15.06.2023 16:00 Uhr

KI und Mensch | 13.07.2023 16:00 Uhr

Automatisierung | 10.08.2023 16:00 Uhr

Qualität sichern | 14.09.2023 16:00 Uhr

Prozessführung | 12.10.2023 16:00 Uhr

Produktivität | 11.05.2023 16:00 Uhr

Materialkosten | 14.12.2023 16:00 Uhr

Beitragsideen?

- Sie möchten sich aktiv am vorgestellten Themenplan beteiligen?
- Sie möchten Erkenntnisse im Bereich der KI mit den Teilnehmenden des ProKI-InfoPoint teilen?

Wir binden Ihren Impulsvortrag gerne in das bestehende Programm ein!

M. Sc. Christian Kubik

Telefon: +49 (0) 6151 16 23144

E-Mail: kubik@ptu.tu-darmstadt.de



- I. Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Peter Groche
- II. Vorstellung des ProKI-Netzes
- III. Potenzial und Grenzen von KI Anwendung
- IV. ProKI-InfoPoint – Arbeitskreis KI in der Umformtechnik
- V. Technologieschwerpunkte der umformtechnischen ProKI-Zentren**
- VI. Diskussions- und Fragerunde

Professur für Prozesskommunikation
Prof. Dr.-Ing. habil. Martin Wollschlaeger

Produktionsvernetzung | Retrofit

KNN-basierte
Werkstoffcharakterisierung

Prozessschritt-
übergreifende
Parameteroptimierung

Anomalie-
erkennung für
Vorausschauende
Wartung

Menschzentrierte Bewertung
des KI-Einsatzes

Professur für Arbeitswissenschaft
Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder

Professur für Werkzeugmaschinen-
entwicklung und adaptive Steuerungen
Prof. Dr.-Ing. Steffen Ihlenfeldt

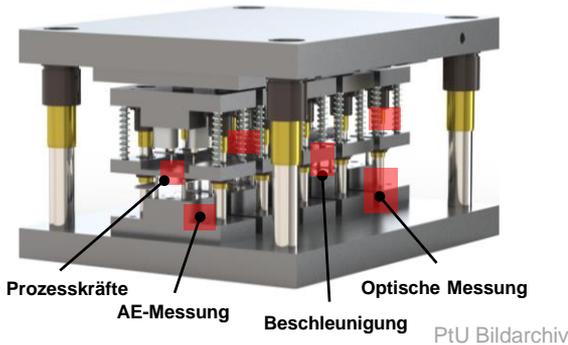
Professur für Funktionsintegrativen
Leichtbau
Prof. Dr.-Ing. Niels Modler

Professur für Formgebende
Fertigungsverfahren
Prof. Dr.-Ing. Alexander Brosius

CIMTT
Zentrum für Produktionstechnik und Organisation
Prof. Dr.-Ing. Martin Schmauder

Diskontinuierliche Kaltumformung

Mehrstufige Folgeverbundwerkzeuge eingesetzt auf mechanischen Pressen mit Hubzahlen >1000 Hub / Minute



Diskontinuierliche Warmumformung

Mehrstufige, temperaturgestützte Transferwerkzeuge eingesetzt auf Servopressen



PtU Bildarchiv

KI-Anwendungen

- Integration von Sensorik in Folgeverbund- und Transferwerkzeugen (Retrofit)
- Bildbasierte Überwachung von Verschleißeffekten
- Predictive Maintenance von Maschinen- und Werkzeugkomponenten
- Datenbasierte Identifikation energetischer Potenziale in Warmumformprozessen
- Beherrschung von Prozessunsicherheiten in Form von Materialschwankungen



Kontinuierliche Kaltumformung

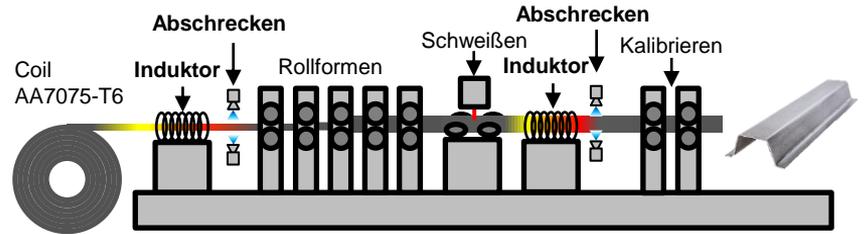
Herstellung kaltgewalzter Profilgeometrien auf industriellen Rollformanlagen



PtU Bildarchiv

Kontinuierliche Warmumformung

Temperaturgestütztes Roll- und Spaltprofilieren zur Herstellung von Rohrstrukturen



PtU Bildarchiv

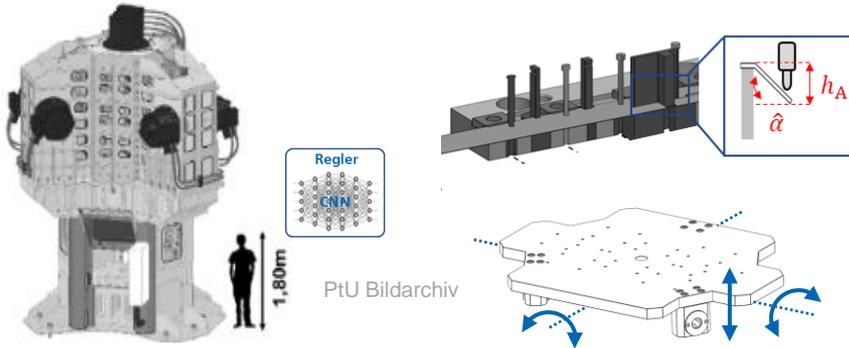
KI-Anwendungen

- Integration von Sensorik in kontinuierliche Rollformanlagen (Retrofit)
- Bildbasierte Überwachung von Qualitätskenngrößen
- Predictive Maintenance von Maschinen- und Werkzeugkomponenten
- Datenbasierte Identifikation energetischer Potenziale in Warmumformprozessen
- KI-gestützte Adaption von Rollformanlagen zur Reaktion auf schwankende Prozessrandbedingungen



Prozessadaption

Modellprädiktive Steuerung und Regelung von Pressen und aktorischen Werkzeugen

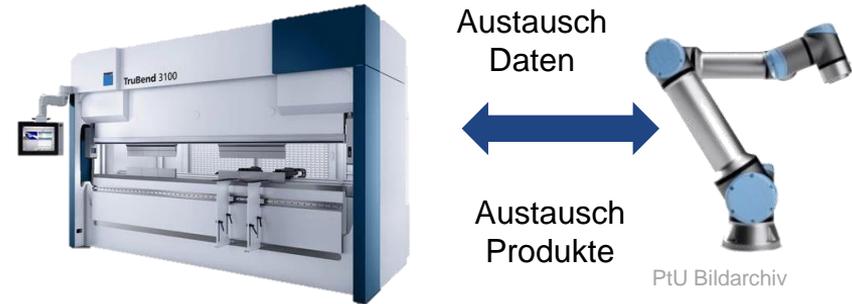


KI-Anwendungen

- Integration von Sensorik in Pressen sowie Prozessketten (Retrofit)
- Bildbasierte Regelung von Produkteigenschaften
- Vernetzung innerhalb von Prozessketten
- Datenbasierte Zustandsbewertung von Pressen und Werkzeugen
- KI-gestützte Steuerung und Regelung von Prozessantrieben

Prozessautomatisierung

Automatisierte Prozessanpassung, Prozesshandling und Qualitätssicherung



- I. Begrüßung durch Prof. Dr.-Ing. Peter Groche
- II. Vorstellung des ProKI-Netzes
- III. Potenzial und Grenzen von KI Anwendung
- IV. ProKI-InfoPoint – Arbeitskreis KI in der Umformtechnik
- V. Technologieschwerpunkte der umformtechnischen ProKI-Zentren
- VI. Diskussions- und Fragerunde**

Besuchen Sie www.menti.com und benutzen Sie den Code **4758 3825**

Diskussion und Feedback

ProKI-InfoPoint

Was bringt KI den Betrieben der
Umformtechnik?

08.12.2022

Achtung
1 = strongly disagree
5 = strongly agree





FRAGE 1

Wie schätzen Sie den Reifegrade von KI- und Digitalisierungsanwendungen in Ihrem Unternehmen ein?

FRAGE 2

Welche Herausforderungen bei der praktischen Umsetzung von KI-Anwendungen sehen Sie?

FRAGE 3

Welche KI-bezogenen Kompetenzen sehen Sie in Zukunft als notwendig in Ihrem Unternehmen an?

FRAGE 4

Haben Sie konkrete KI-bezogene Vorhaben, die Sie mit dem ProKI-Netz gemeinsam lösen möchten?



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Bei weiteren Fragen können Sie gerne auf uns zukommen

Technische Universität Darmstadt

Christian Kubik, M. Sc.

Telefon: +49 (0) 6151 16 23144

E-Mail: kubik@ptu.tu-darmstadt.de



Technische Universität Dresden

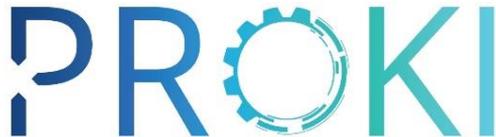
Hajo Wiemer, Dr.-Ing.

Telefon: +49 (0) 351 463 32004

E-Mail: hajo.wiemer@tu-dresden.de



Nächster ProKI-InfoPoint:



Thema: KI und der Mensch? Wie ist die Rolle der Mitarbeitenden und deren Arbeitsbedingungen zu gestalten?

Termin: 12.01.2023 16:00 Uhr (online)

zur Anmeldung



- [BEC21] Becker, M.; Groche, P. (2021). Towards Nonstop Availability in Roll Forming through Digitalization. In: *Production at the leading edge of technology*, S. 219–228
- [CAL13] Calmano, S.; Schmitt, S. O.; Groche, P. (2013): Prevention of over-dimensioning in light-weight structures by control of uncertainties during production. In: *Proceedings of the International Conference on New Developments in Forging Technology*
- [FRI20] Fritsch, M (2020): Das macht die Werkzeugbauer bei Stepper so erfolgreich. In: *werkzeug & formbau Benchmark-Serie (72)*. Zugriff am 2022/05/19 unter <https://www.werkzeug-formenbau.de/benchmark/das-macht-die-werkzeugbauer-bei-stepper-so-erfolgreich-376.html>
- [HOC19] Hoche, H., et al. (2019). Enhancement of the residual stresses of cold full-forward extruded parts by application of an active counter punch. In: *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik (50)*, S. 669–681. DOI: 10.1002/mawe.201900050
- [HOP19] Hoppe, F.; Hohmann, J.; Knoll, M.; Kubik, C.; Groche, P. (2019). Feature-based Supervision of Shear Cutting Processes on the Basis of Force Measurements. In: *Procedia Manufacturing (34)*, S. 847–856. DOI: 10.1016/j.promfg.2019.06.164
- [KUB22] Kubik, C., Knauer, S.M., Groche, P. (2022). Smart sheet metal forming: importance of data acquisition, preprocessing and transformation on the performance of a multiclass support vector machine for predicting wear states during blanking. In: *Journal of Intelligent Manufacturing (33)*, S. 259–282. DOI: 10.1007/s10845-021-01789-w
- [KUB22a] Kubik, C., Hohmann, J. and Groche, P. (2012). Exploitation of force displacement curves in blanking – Feature engineering beyond defect detection. In: *International Journal of Advanced Manufacturing (113)*, S. 261–278. DOI:10.1007/s00170-020-06450-z
- [MAR22] Martin, D. M., et al. (2022). Design Guidelines for interlocked stator cores made of CoFe sheets. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (1238)*, S. 012036. DOI: 10.1088/1757-899X/1238/1/012036
- [KUB22b] Kubik, C., Molitor, D. A., Becker, M., Groche, P. (2022). Knowledge Discovery in Engineering Applications Using Machine Learning Techniques. In: *Journal of Manufacturing Science and Engineering (144)*, S. 091003. DOI: 10.1115/1.4054158

- [KUB22c] Kubik, C., Becker, M., Molitor, D.A., Groche, P. (2022). Towards a systematical approach for wear detection in sheet metal forming using machine learning.. In: Production Engineering DOI: 10.1007/s11740-022-01150-x
- [LIE22] Liewald, M., et al. (2022). Perspectives on data-driven models and its potentials in metal forming and blanking technologies. In: Production Engineering (16), S. 607-625. DOI:10.1007/s11740-022-01115-0
- [LIU20] Liu, P., et al. (2020). Recent advances in computer-assisted algorithms for cell subtype identification of cytometry data. In: Frontiers in cell and developmental biology (8). DOI: 10.3389/fcell.2020.00234
- [MOL22] Molitor, D.A., Kubik, C., Hetfleisch, R. H.; Groche, P. (2022) Workpiece image-based tool wear classification in blanking processes using deep convolutional neural networks. In: Production Engineering (16), S. 481-492.
- [WGP22] Krüger et al. (2021) KI in der Produktion – Künstliche Intelligenz erschließen für Unternehmen. WGP Standpunkt
- [WUT22] Wuttke, L. (2022). Machine Learning vs. Deep Learning: Wo ist der Unterschied? In: datasolut GmbH - Mehr Wert mit KI. Zugriff am 2022/12/01 unter <https://datasolut.com/machine-learning-vs-deep-learning/>