Thema und Inhalte

„Synergien zwischen digitalen und realen Produkten für Qualität und Funktionalität in der Fertigung, für Condition Monitoring und Predictive Maintenance“

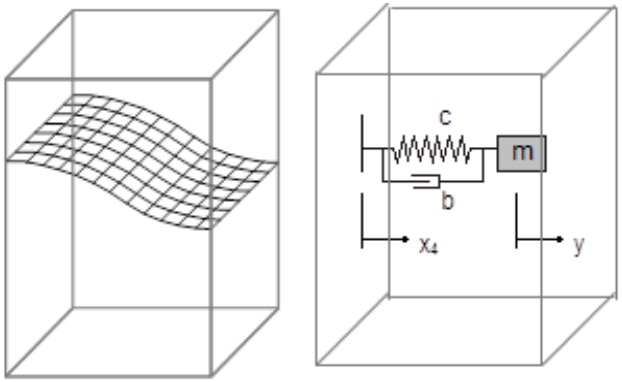
Inhalte

- Bewegungen automatisieren
- Einflussgrößen der Fertigung bewerten
- Monitoring und Prädiktion
- Fertigungsverfahren und Fügeprozesse für die eMobilität

Bewegungen automatisieren

- harmonische schwingungsarme Transportbewegung, mit Kurventrieben oder Servomotoren

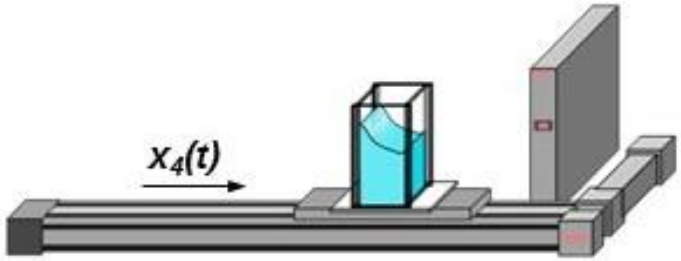
- mathematisches Ersatzmodell des Schwappens Optimierung der Transportbewegung, Dämpfung der Schwingung zur Vermeidung von Resonanzen und Überschwappen in MATLAB



$$m\ddot{y}+b(\dot{y}-\dot{x}_4)+c(y-x_4)=u(t)$$

- Minimierung der Schwingungsanregung im intermittierend transportierten Medium und der Kräfte im Antrieb

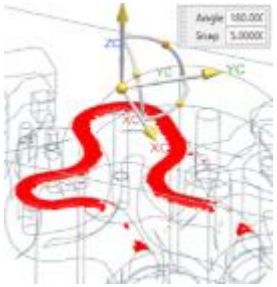
- Transport und Flüssigkeitstransporte, Automatisierung und servierende Roboter



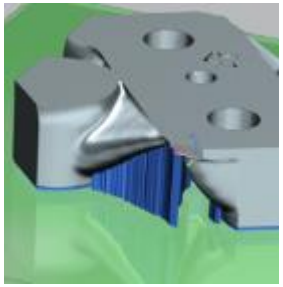
Einflussgrößen der Fertigung bewerten

» Brückenschlag und Synergien zwischen Produktionszwilling und Produktionsprozesse

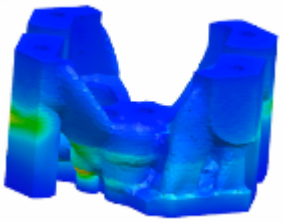
Digitaler Produktionszwilling



Fertigbar-
keitsprüfung



Vorbereit-
ung, Stützen



Prozess
Simulation
Spg.-Optim.

Produktionsprozesse, -module

Rohstoff,
Kaufteile

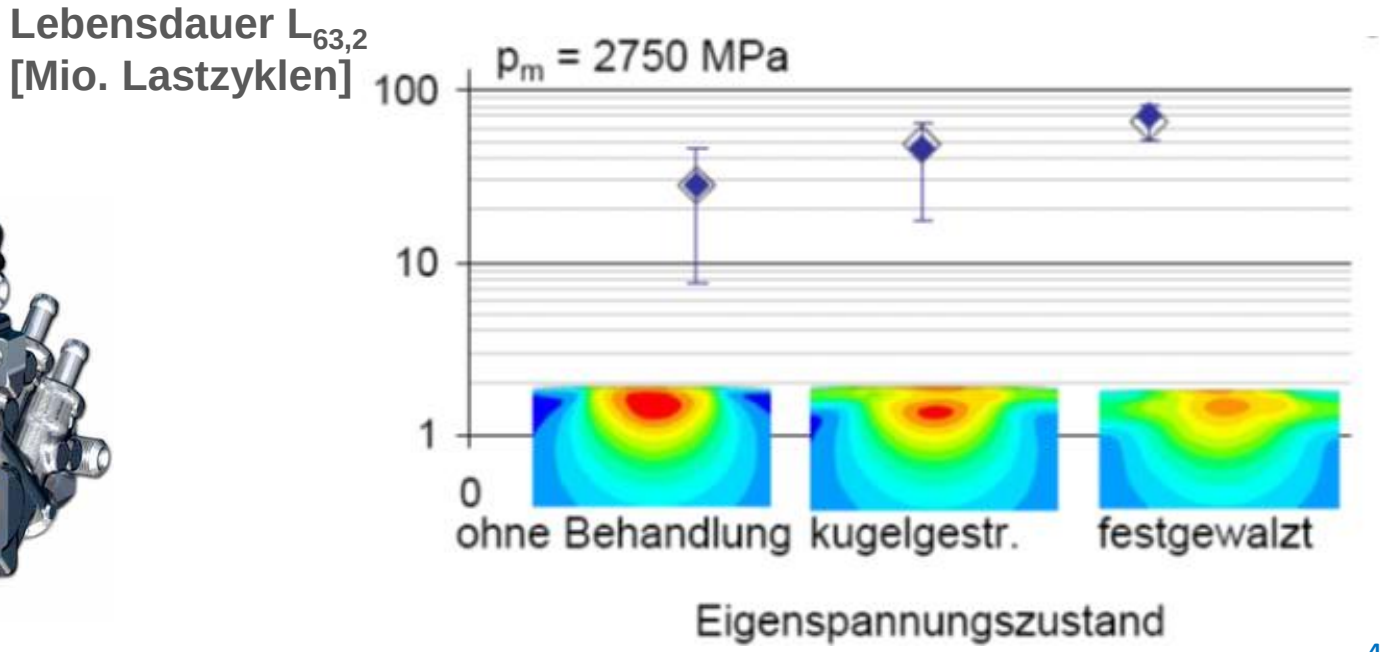
Prozess+
Monitoring

Robotik
Handling

Endbearbeitung+
Qualität, CAQ

Einflussgrößen der Fertigung bewerten

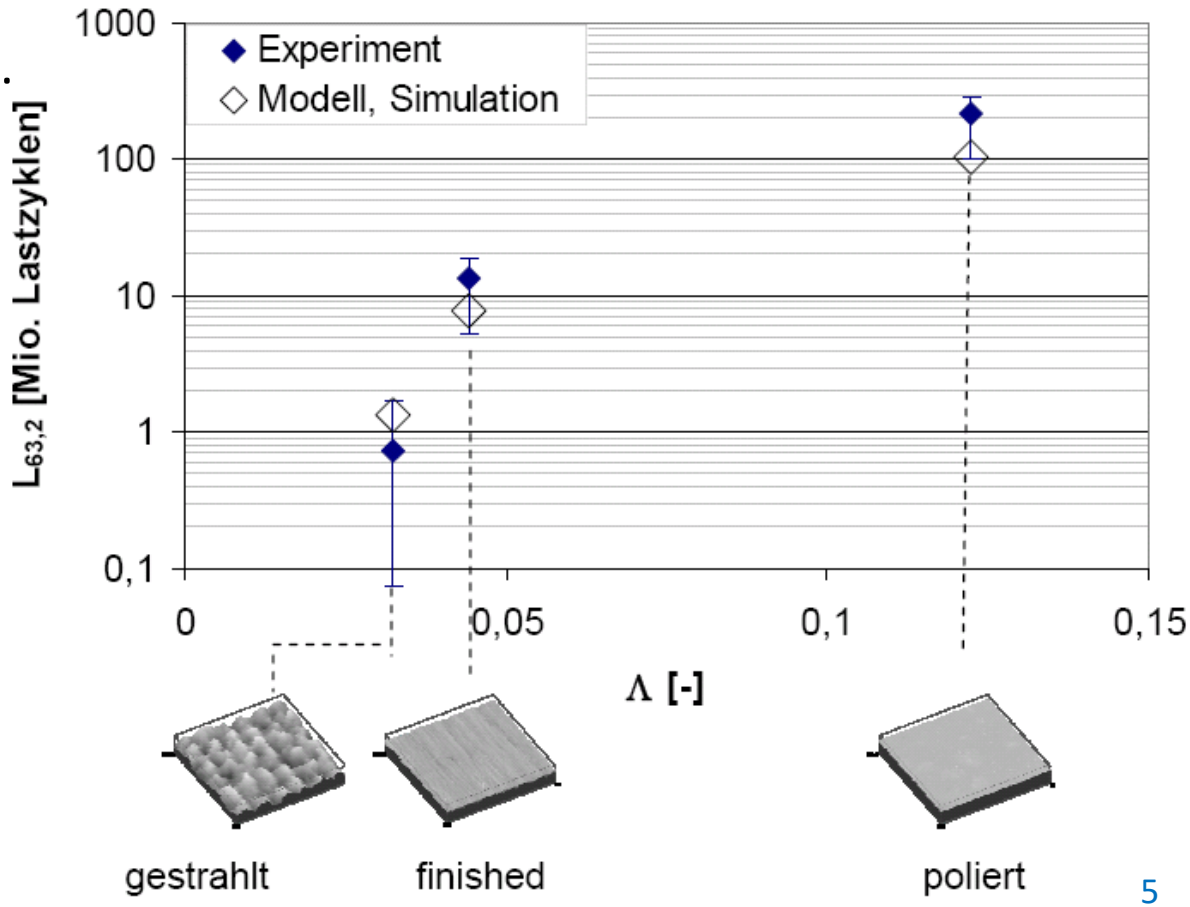
- Der Produktionszwilling und der Einfluss **Druck-Eigenspannungen**
- Druck-Eigenspannungen wurden gezielt durch **Kugelstrahlen** eingebracht zur Reduzierung der versagensrelevanten Werkstoffbeanspruchungen
- Lebensdauersteigerung, kein Risswachstum von Oberfläche ausgehend, geringere Streuungen in der Lebensdauer



Bildquelle [Robert Bosch GmbH]

Einflussgrößen der Fertigung bewerten

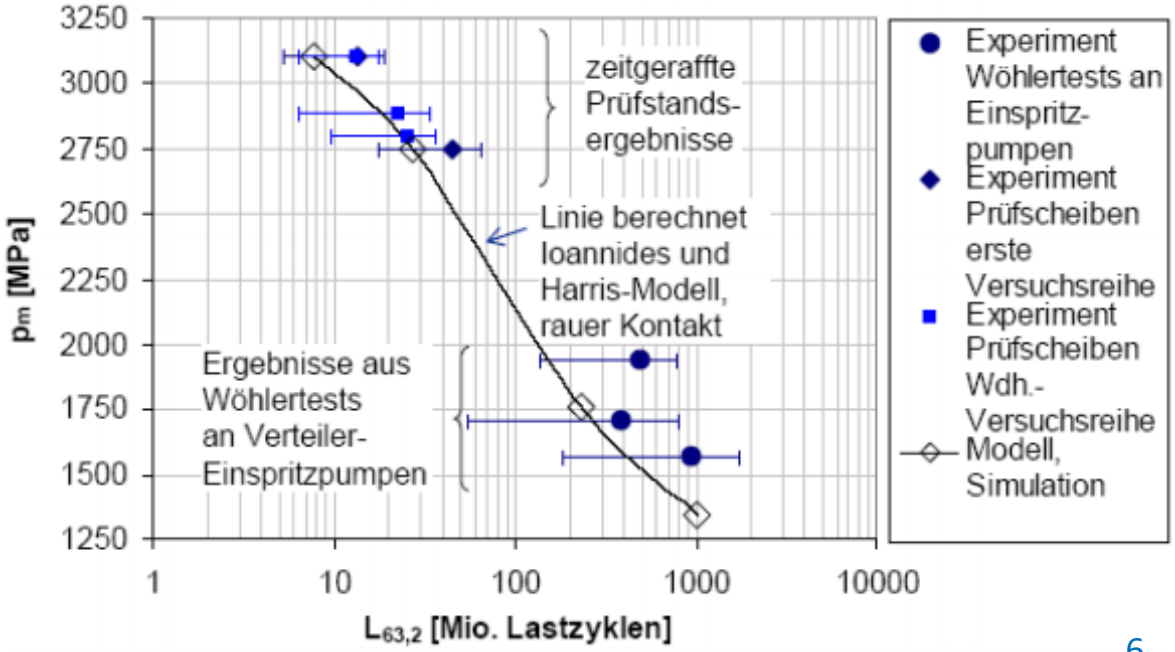
- Der Produktionszwilling und der Einfluss **Oberflächenbeschaffenheit**
- Wird der Finish-Prozess nicht durchgeführt, bleibt die Oberflächen zu rau, reduziert sich die Lebensdauer erheblich. Die Rauheit ist ein **funktionskritisches** Merkmal.



Einflussgrößen und Betreibermodelle

Die Beschreibung **kundenbeinflussbarer Einflussgrößen** auf die Ermüdungslebensdauer ermöglicht Betreibermodelle zu erstellen, z.B. in Abhängigkeit von

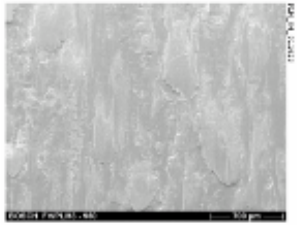
- Last und Belastung
- Reibungskraft
- Schmiermedium und Additivierung



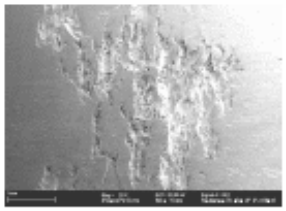
Monitoring und Prädiktion

» **Funktion** Kraft und Bewegung übertragen und **Versagensgrenzen**
Arbeitsgebiet = Funktion zahlreicher Einflussgrößen
Vermeidung von **Spontanversagen** durch Betrieb innerhalb Grenzen und
Lebensdauerberechnung oder Monitoring für zeitabhängige Einflüsse
Ermüdung (konzentrierter Kontakt) oder wenn die Belastung unbekannt ist.

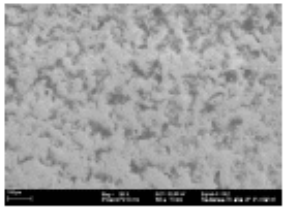
Adhäsion
Schmierfilmversagen

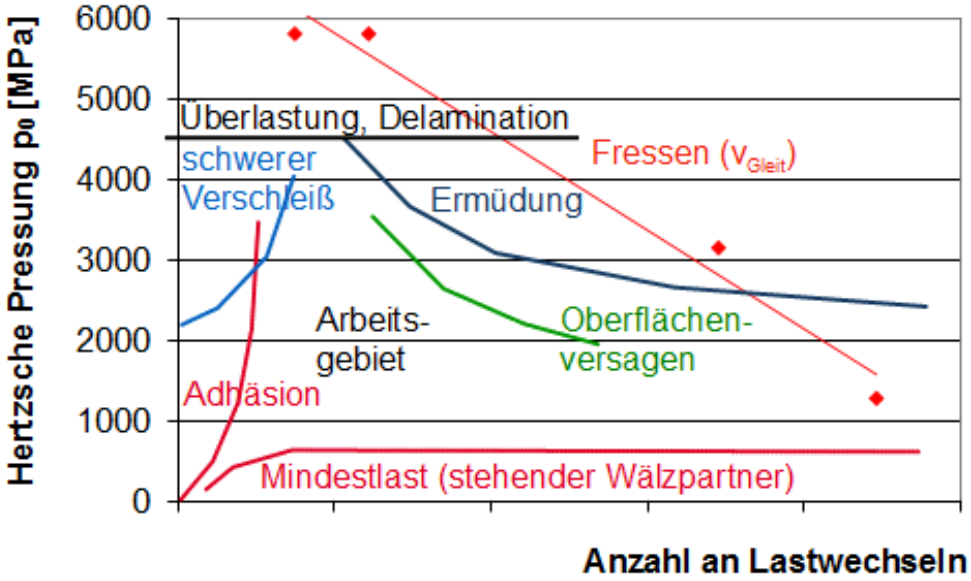


Ermüdung
Risse und Grübchen



Oberflächenversagen
Mikropitting,
an Rauheitskontakten





Monitoring und Prädiktion

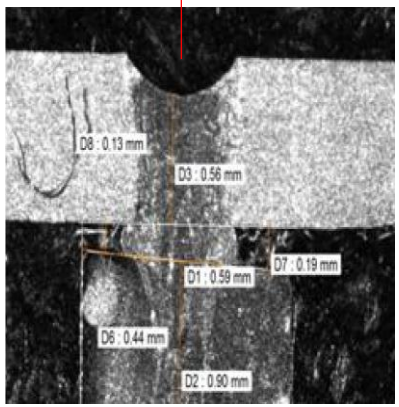
Die Auswahl des Monitoring-Verfahrens erfolgt in Abhängigkeit der relevanten Funktions- bzw. **Versagensmechanismen**

Monitoring-Möglichkeiten zur frühzeitigen Indikation

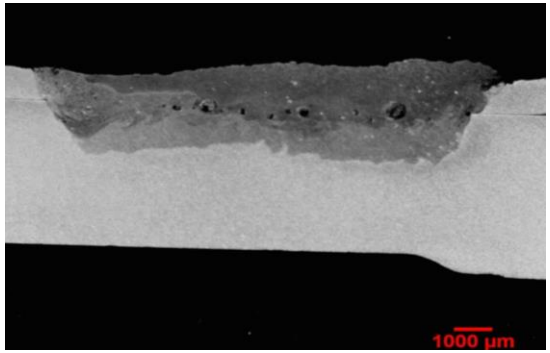
- Optische-Analysen z.B. Abmessungen Schweißnaht oder Schnittkante
- Schmierstoff-Analyse
- Drucksensoren
- Beschleunigungs- und Impulsmessungen
- Temperatur/Thermocouple
- Luftschall und Geräusche
- Licht/Foto-Detektor/Thermografie
- Emissionen

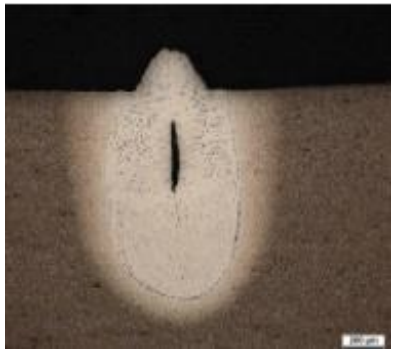
Monitoring und Prädiktion

Optische Sensoren beim Schweißen
Vor der Bearbeitung
» optisches **Nahterkennungssystem** => Laserpositionierung



Während der Bearbeitung inline **Prozessüberwachung**
Erkennung von Prozessabweichungen und Regelung wichtiger Kenngrößen, wie
» Abmessungen (Querschnitt)
» Nahteinfall (Schweißspalte)
» Nahtaufbau/Oberfläche (Porosität, Risse)
» Bindefehler (Abkühlkurve, Thermographie, Messung des Übergangs-widerstands)



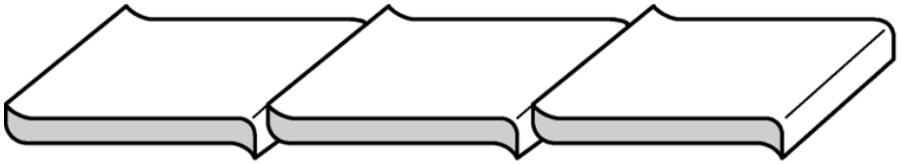


» **Funktion:** Festigkeit, Leitwerte

Monitoring und Prädiktion

- **Optische Sensoren beim Trennen/Schneiden/Stanzen**

- optische Inspektion der Schnittgüte im Werkzeug am geschnittenen Bauteil z.B. Grat. Prädiktion des weiteren Verschleißverhalten am Werkzeug und zur prädiktiven Instandhaltung



- **Funktion:** definierte Grate und Richtung des Grats an Bauteilen um Beschädigung von anliegenden Bauteilen z.B. elektrischen Kabel zu vermeiden (Kurzschlussgefahr)

Monitoring und Prädiktion

- Analyse der Veränderungen des **Schmierstoffs oder Mediums** im Betrieb z.B. durch Alterung, Verunreinigung, Partikel, Wasseraufnahme

- Inline oder sporadisch durch Probeentnahme

- Einfluss der Kühlschmierstoffe beim **Spanen**:
  => veränderte Rauheit, Oberfläche, Glanz

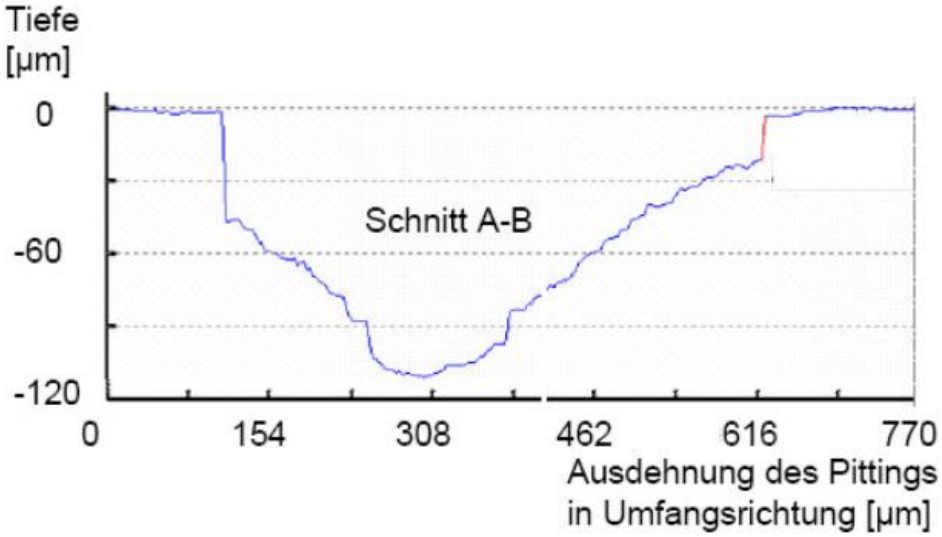
- Einfluss der Kühlschmierstoffe auf die
  Funktion, Wirkung und Vernetzungsverhalten der **Schmierstoff-Additive**
  => veränderte Reibung und veränderter Verschleiß des Produkts

Monitoring und Prädiktion

Körperschallmessung

» Erkennen und Vermeidung von **Resonanzen** => Schwingungen während der Bearbeitung, Strukturschwingungen, Riemenschwingungen. Vermeidung hoher Belastungen und Rattermarken.

» **Schadensdiagnose** und potentielle Verursacher z.B. in Wälzlager oder Getriebe Verschleiß, Pittings (Ermüdung)



» **Umformen** und Monitoring gibt Auskunft über fehlenden Schmierfilm, **Mangel-Schmierung** und Adhäsion => raue Oberflächen => prädiktive Instandhaltung

Fügen in der eMobilität

- **Kunde**nerwartung: Verbinden der Bauteile über Lebensdauer
- Reib- /kraftschlüssige Verbindung Kraft soll über Lebensdauer erhalten bleiben (i.d.R. ausreichende Lösesicherung/ungewolltes Lösen der Verbindung)
- Keine losen Teile, keine Verlustteile (Kurzschlussgefahr), Sauberkeit

Zusatzfunktionen

- Elektrischen Strom leiten,
  Leistungen übertragen bei geringer Erwärmung
- Dichtheit der Verbindung und ggf. der Bauteile

I-PACE
Bildquelle [JLR]

Stromschienen für die eMobilität

Herstellvarianten- und Kostenoptimierung

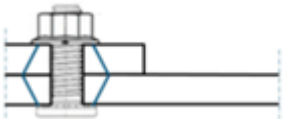
a) Stanzen aus Bändern (Folge-Verbund-Prozesse Fa. Waidner)

b) Umformen aus Halbzeugen (Stanzbiegeautomaten z.B. Fa. Bihler GmbH)
+ Werkzeugkosten
+ Flexibilität, Variantenvielfalt
+ gratfreie Längskanten
+ Bewegungen durch Kinematik-Modelle optimiert

Bildquelle [Bihler GmbH]

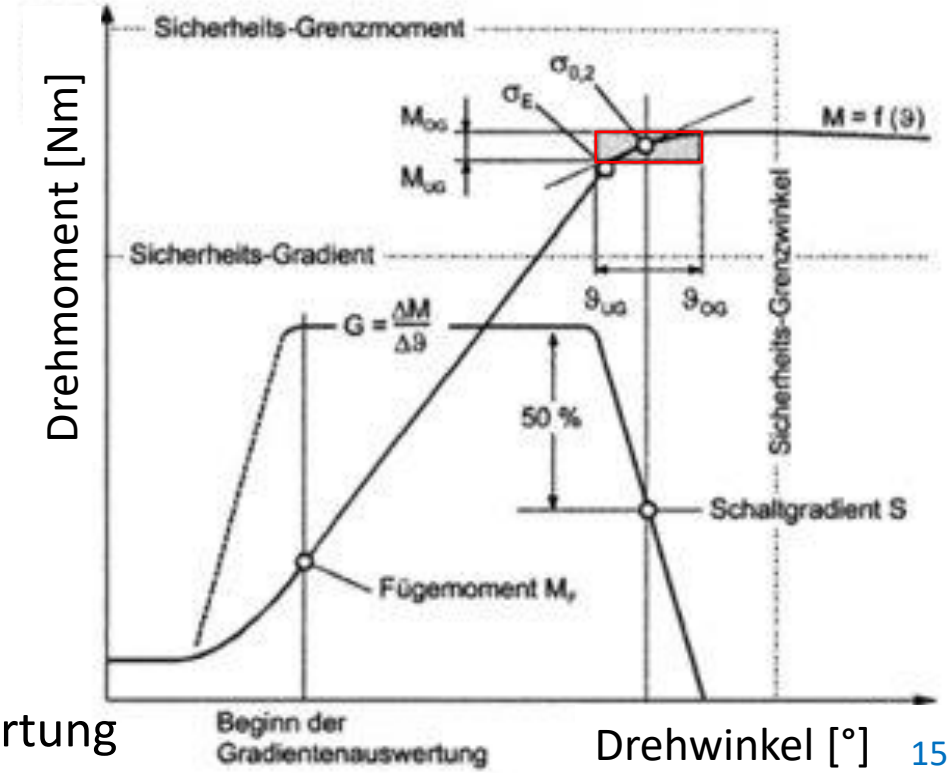
c) Verbindungen (stoffschlüssig, Clinch- oder Durchsetz-Verbindung)

Fügeprozess-Optimierung



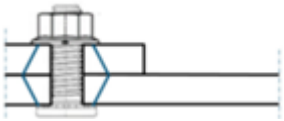
- **Streuungen** von Reibwerten und Abmessungen beim Schrauben, auch bei gewindeformenden Schrauben haben enormen Einfluss auf das Ergebnis => selbstkonfigurierende Systeme und Bewertung der Ursache für Abweichungen

- Verschraubungskennlinie gibt Auskunft über Steifigkeiten und Gesamt-Reibwerte

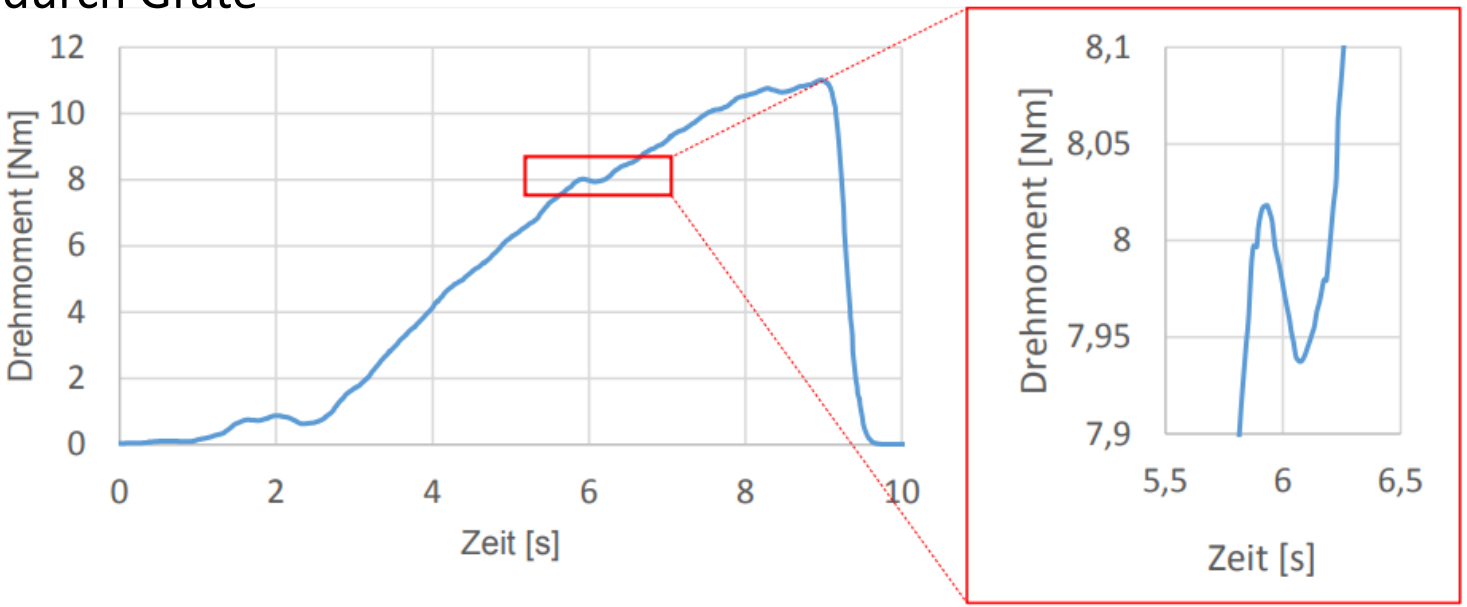


Prozessüberwachung:
(1) Hüllkurventechnik
(2) Fenstertechnik
(3) Trendüberwachung
(4) Steigung/Gradientenauswertung

Fügeprozess-Optimierung

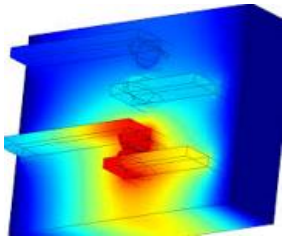


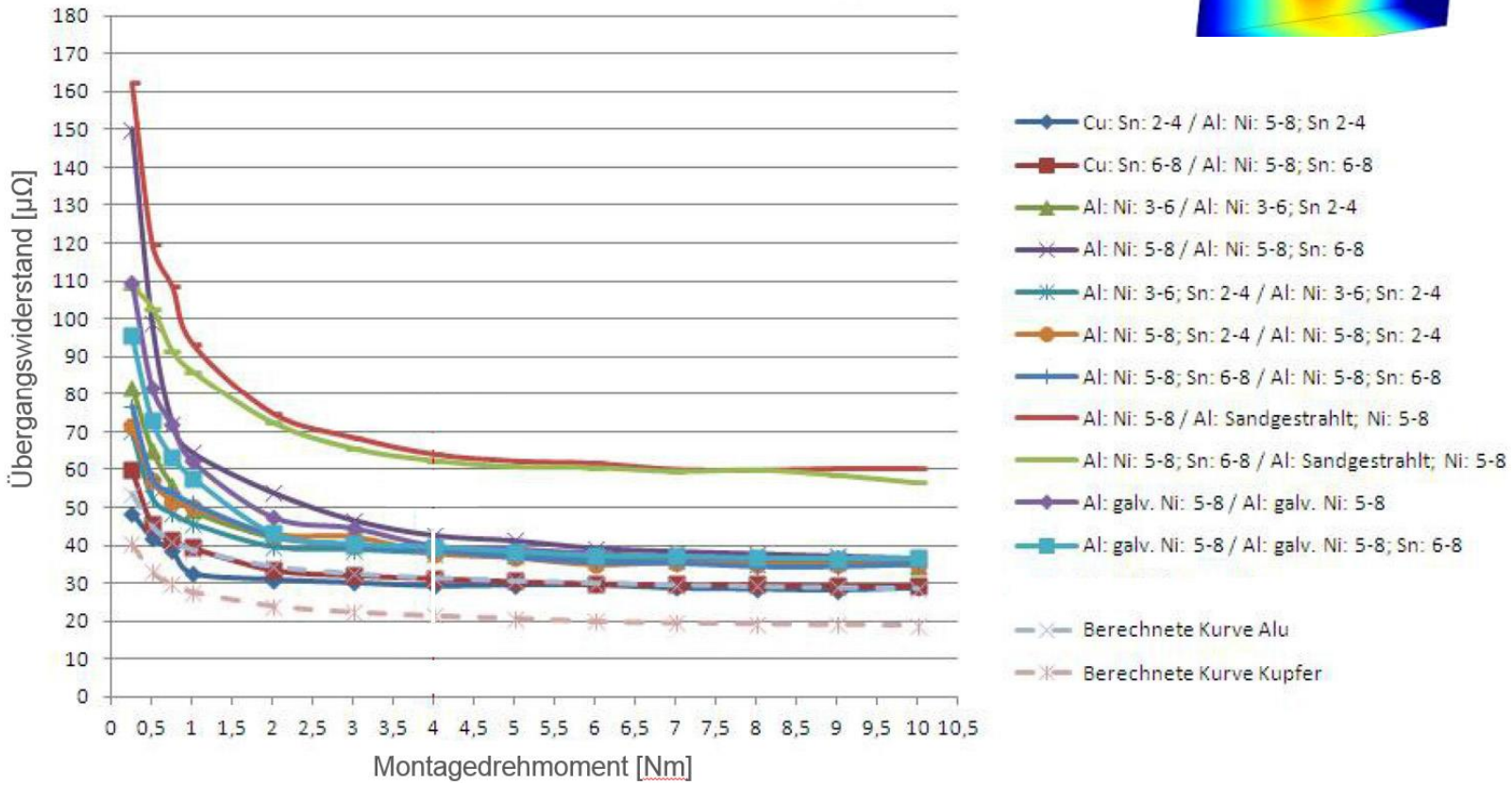
» Die Ermittlung des Weiterdrehmoments als serienbegleitende Stichproben-Prüfung ermöglicht die Ermittlung des **Vorspannkraftverlustes** und das Erkennen von Trends/**Veränderungen** im Serienprozess z.B. Veränderung der Reibwerte durch veränderten Herstellprozess, Veränderung der Setzbeträge durch Veränderung der Werkstoffe, der Rauheit, der Abmessungen, der Fügespalte, der tragenden Kontaktfläche, der Geometrie durch Grate



Übergangswiderstände f(Verspannkraft)

» Die Ermittlung der Funktion Strom leiten





Zusammenfassung und Ausblick

Synergien zwischen digitalen und realen Produkten wurden an mehreren Umsetzungsbeispielen gezeigt.

- Transportbewegungen automatisieren und optimieren

- Einflussgrößen der Fertigung auf das Produkt bewerten am Beispiel
  - Druck-Eigenspannungen
  - Oberflächenbeschaffenheit
  - Bewertung der kundenbeinflussbaren Einflussgrößen

- Monitoring und Prädiktion mit Hilfe von
  - Optischen Sensoren
  - Analysen der Veränderungen des Schmierstoffes oder Mediums
  - Körperschallmessungen

- Auswahl optimaler Fertigungsverfahren für Stromschienenproduktion und Optimierung von Fügeprozessen für die eMobilität