



# Künstliche Intelligenz in der Fertigung

16.09.2021 Christian Pirrung



# Industrial AI@HoP1

## Globales Umfeld



USA



8 Mrd. US\$

Wagniskapital in 2018



Führend in öffentlicher und privater  
Forschung



Deutschland



500 Mio. €

Öffentliche Förderung in 2020



Stärken in klassischen  
Ingenieurdisziplinen



China



16 Mrd. US\$

KI-Investitionen in Tianjin, ein  
Vielfaches landesweit



Fokus auf KI-Anwendungen und  
Rollout, weniger Grundlagenforschung

→ Wie können wir in diesem Wettrüsten bestehen?

# Als Industrieunternehmen führend in Industrial AI

# Industrial AI@HoP1

## Was ist Industrial AI?



- ▶ Definition: **Industrielle Anwendung** von **künstlicher Intelligenz** in der **Wertschöpfung**
- ▶ Beinhaltet **intelligente Produkte** und **Maschinen** und deren Herstellung (**Konstruktion, Produktion**)
- ▶ **Industrial AI** muss **sicher, robust** und **erklärbar** sein
- ▶ Hybride Ansätze **physikalischer** und **datengetriebener Modelle** sind der Kern von **Industrial AI**

# Industrial AI@HoP1

## Warum Bosch?

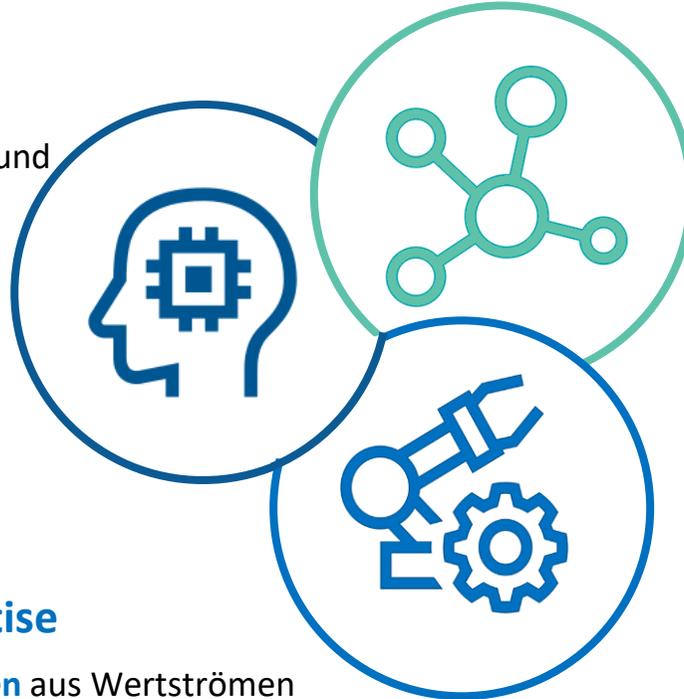


- ▶ Großer industrieller Produzent mit **>270 Werken** weltweit
- ▶ Große **technische Erfahrung** und großes Wissen
- ▶ Frühe Investitionen in **AI-Kompetenz**
- ▶ Bosch durch frühe **Aktivitäten in künstlicher Intelligenz** und großes **Know-how** in **Herstellung** und **Funktion** von Erzeugnissen führend in **Industrial AI**

# Industrial AI@HoP1 Organisation

## KI-Kompetenz

- Schwerpunkte wie **hybride Modellansätze** und **Funktionsmodelle**
- Anwendungsbasiertes **KI-Wissen** erweitern
- **KI** in Serienanwendungen **umsetzen**



## Expertise

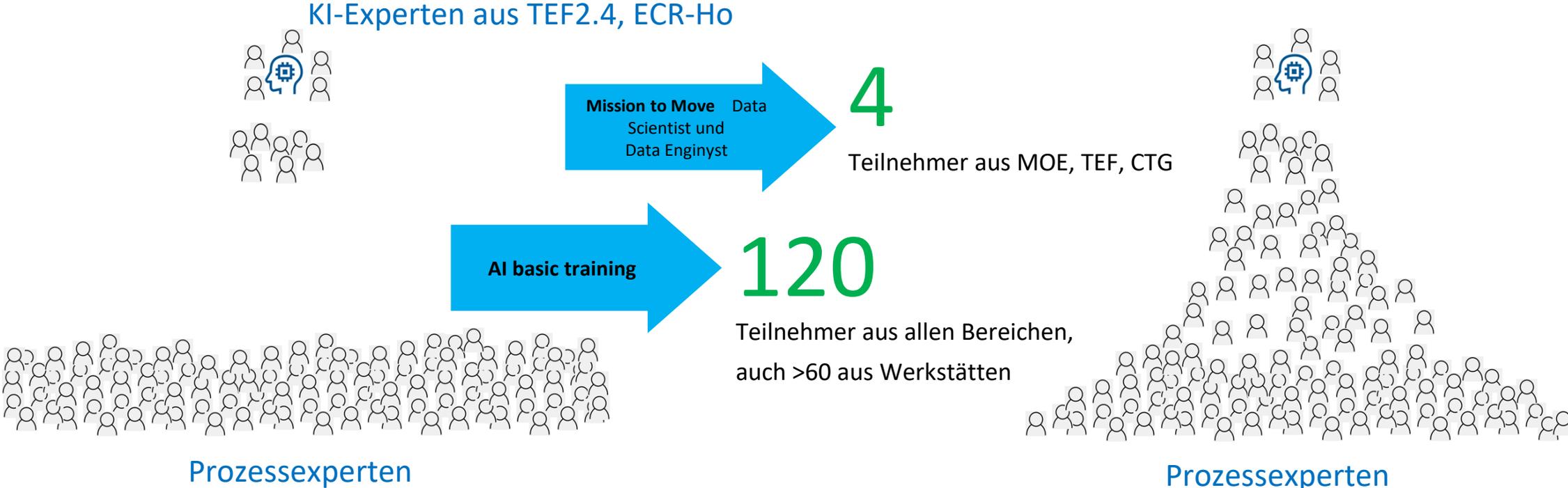
- **Ideen** aus Wertströmen
- Domain-Wissen
- **Kompetenz** Erzeugnisse und deren Funktion

## Netzwerk

- **Produktübergreifend** in IPN und IDN
- Bosch – BCAI – **Kernteam** (KI\_limandscharo)
- **Partner** externe Institute (KIT, DFKI)

# AI Basic Training HoP1

## Closing the gap...



**Ziel: Prozessexperten kennen die Möglichkeiten der KI und haben ein gemeinsames Verständnis**

# REGELKREISE UND PAARUNGSSTRATEGIEN

# MAE-übergreifende Regelkreise

## Was sind Regelkreise?

### Maschinendaten

368724582366356456756787896743451343

### Prozessdaten

6 36352353475834567645675678789674345134331435

### Materialdaten

36uz354567569we67434513dhzz31435

### Weitere Daten

4 8 5 36356456756787896743451343



# MAE-übergreifende Regelkreise

## Was sind Regelkreise?

### Maschinendaten

36352353475834567645  
 6 36uz354567569we67434513d  
 8 6 3635645675678789  
 9 F 6 36872458236635t  
 7 9 4 2  
 5 6 5 4  
 4 2 5 5  
 3 6 4 6  
 6 7 5 8  
 4 4 3 9  
 3 5 7 4  
 5 5 8 2  
 2 2 6 8  
 4 1 5



### Materialiendaten

356456756787896743451343  
 5675678789674345134331435 6  
 7569we67434513dhzz31435 8 4  
 i456756787896743451343 4 7 6  
 6 F 5 8  
 4 9 4 9  
 5 7 3 4  
 6 5 6 4  
 5 4 4 4  
 2 7 6 2  
 3 5 2 4  
 4 5 1 2

### Prozessdaten

4536878236f457f6c356j4j56756n78789x67h434sd51343  
 4475834567645675678789674345134331435 2  
 6 4  
 8 5  
 9 6  
 7 8  
 4 5  
 5 4  
 3 1  
 2 5  
 3 1



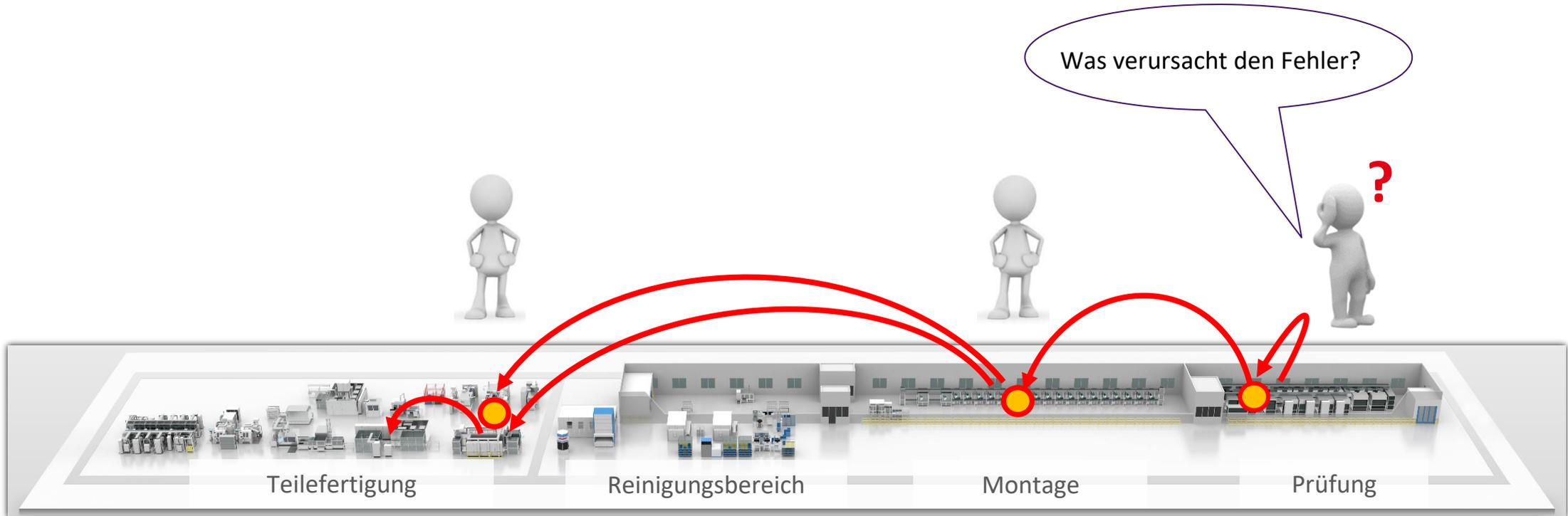
GA-Team, Planer, Meister, Schichtmeister, E1/E2

# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise Fehlererkennung

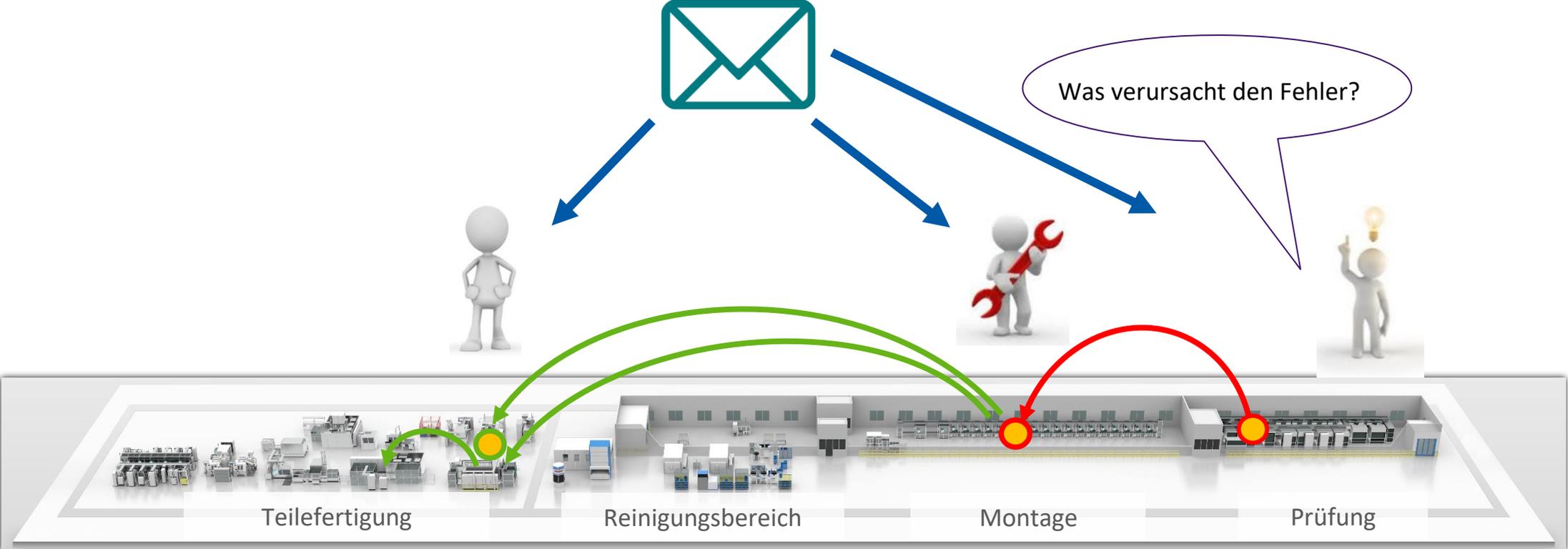
Was verursacht den Fehler?



# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise Fehlererkennung



# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise Fehlererkennung



# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Bsp. Regel Erkennung Ausfall Schrauber

Di 12.06.2018 09:27  
 ALINA <HoP1\_ALINA@bcn.bosch.com>  
 CRI3\_ML1\_110 - Abweichung Mittelwert VL-Prüfpunkt getrennt nach Schraubstation

An  HoP1/MSE1 GA Regelverteiler ML CRI3  
 Cc  Huang Emei (HoP1/TEF62);  Hauptenthal Jan (HoP1/W730-A)

Abweichung im Mittelwert vom VL-Prüfpunkt, bei Typ ' '.

Darstellung der Mengenunterschiede CRI, getrennt nach Schraubstation S-111 und S-112:

Montagelinie 1 / S-111			HE-Menge Ausfall / S-111		
Mittelwert	Nest 1	Nest 2	Ausfall	Nest 1	Nest 2
HE-Menge	mm <sup>3</sup> /Hub	mm <sup>3</sup> /Hub	Hoch	1 Stk.	0 Stk.
Winkel	°	°	Tief	1 Stk.	5 Stk.
Drehmoment	Nm	Nm			

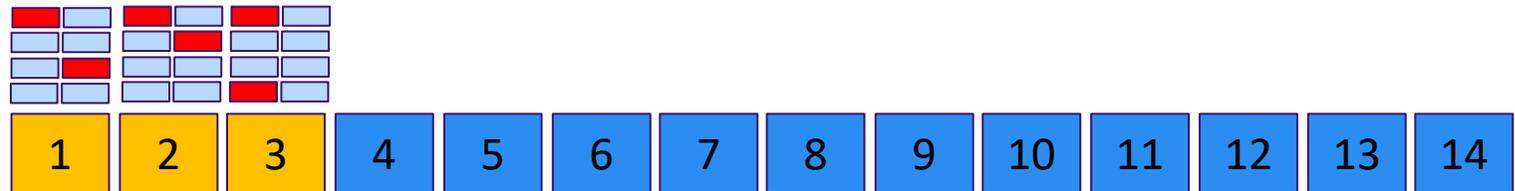
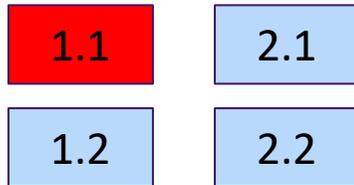
Montagelinie 1 / S-112			HE-Menge Ausfall / S-112		
Mittelwert	Nest 1	Nest 2	Ausfall	Nest 1	Nest 2
HE-Menge	mm <sup>3</sup> /Hub	mm <sup>3</sup> /Hub	Hoch	0 Stk.	0 Stk.
Winkel	°	°	Tief	0 Stk.	0 Stk.
Drehmoment	Nm	Nm			

# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Funktion der Regel

ML: Verschrauben

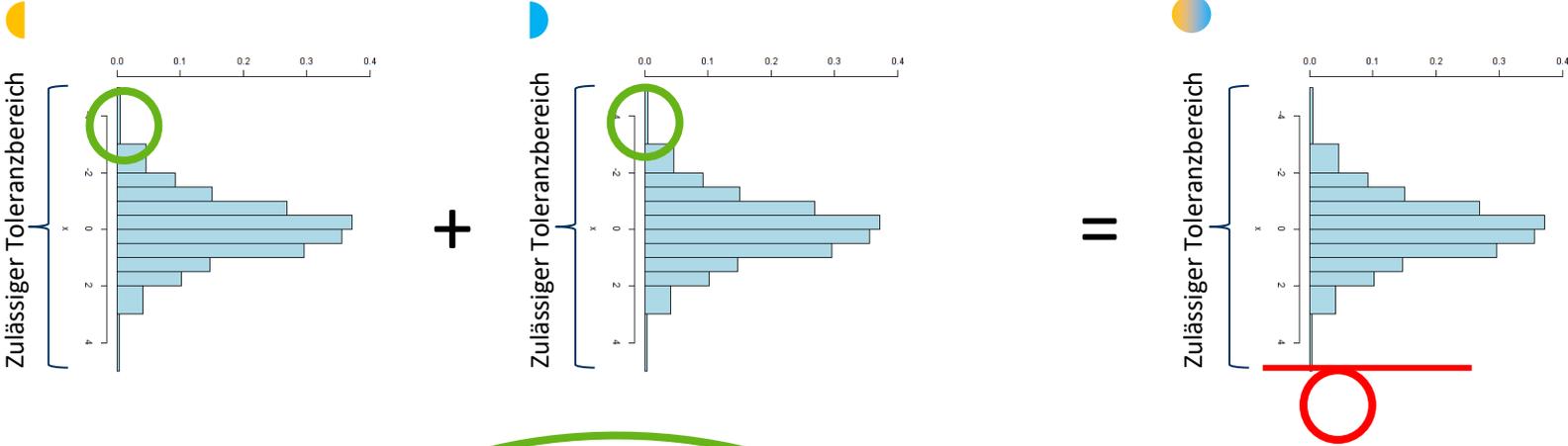
PL: Testen



Offensichtliche Veränderung: Die Ausfallmenge in der PL steigt an, an allen Spannstellen

Aufgabe der Regel: Errechnung Mengenniveau für jeden einzelne Schraubposition und Vergleich der Niveaus → Info an Einsteller bei zu großem Unterschied

# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise Bauteilpaarung



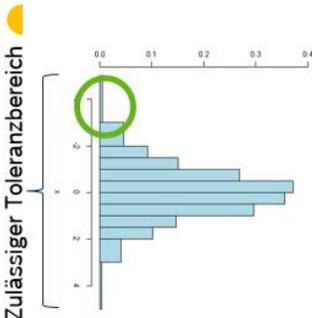
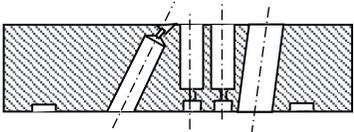
# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Paarung Drosselplatte zu Aktormodul

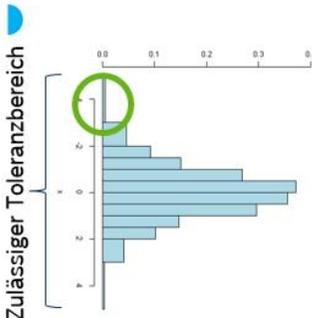
Aktormodul



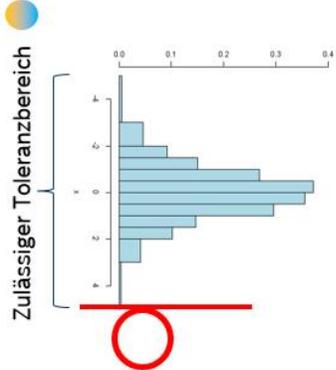
Drosselplatte



+



=

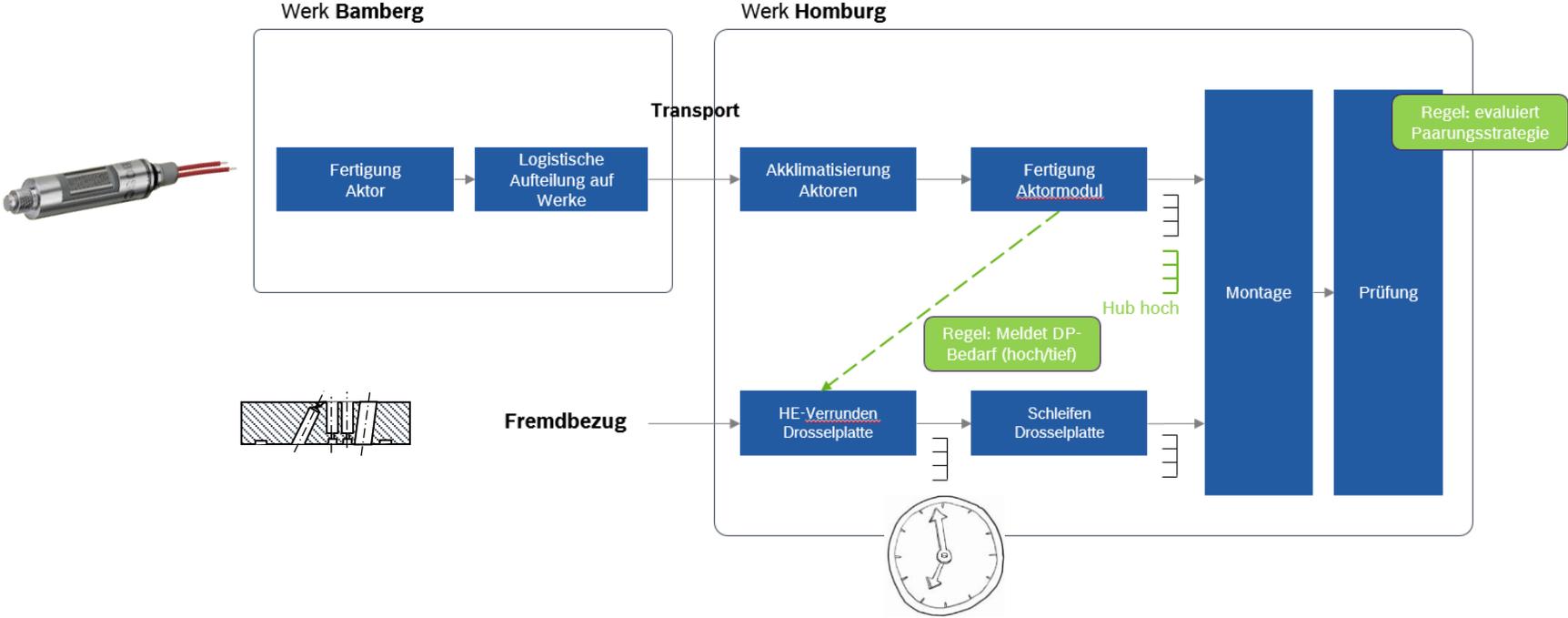
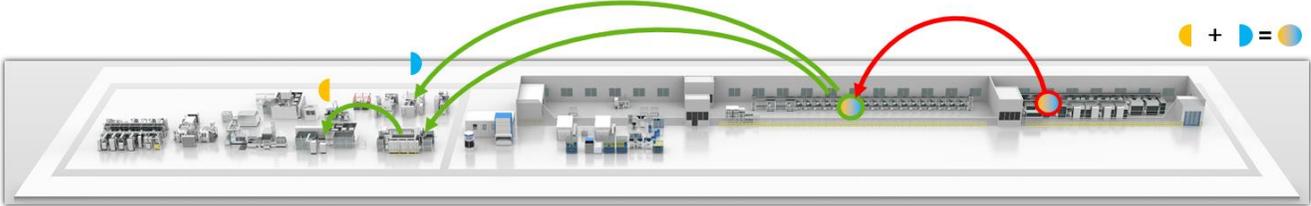


Yellow dot + Blue dot = Yellow and Blue dots



# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Direkte Steuerung der Drosselplattenfertigung



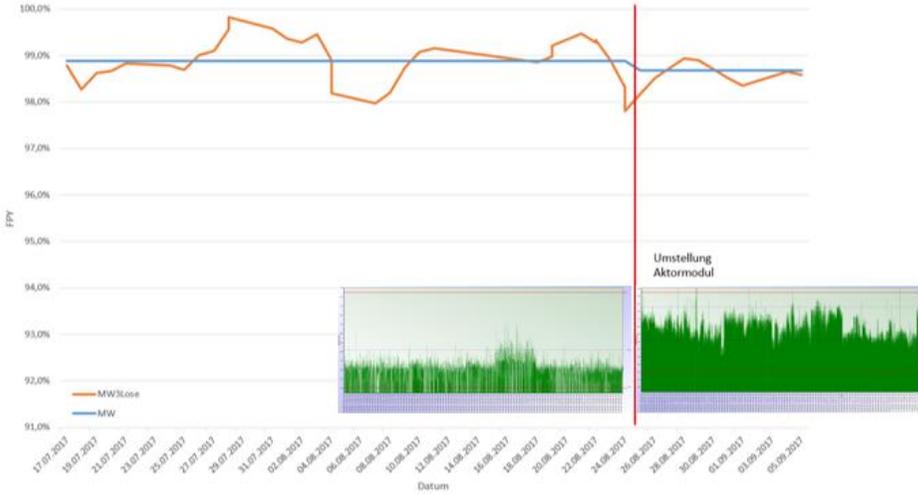
# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Vermeidung Verluste

 5 Tage



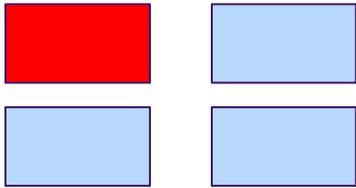
 online



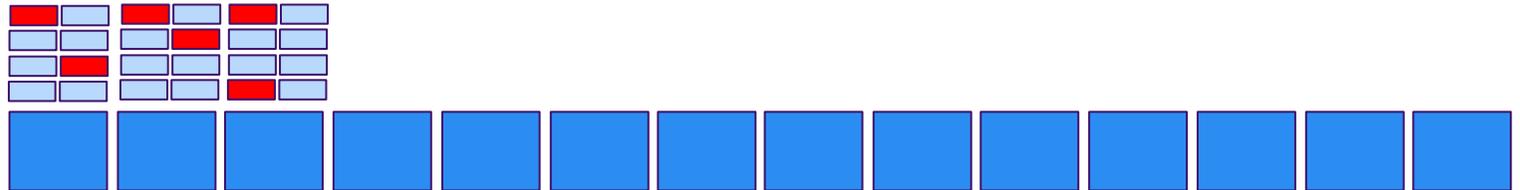
# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Einfache Regelideen

ML: Verschrauben



PL: Testen



Offensichtliche Veränderung: Die Ausfallmenge in der PL steigt an, an allen Spannstellen

Aufgabe der Regel: Errechnung Mengenniveau für jeden einzelne Schraubposition und Vergleich der Niveaus → Info an Einsteller bei zu großem Unterschied

# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Einfache Regelideen

5 Penny Test:

Wahrscheinlichkeit dass das 1. Teil an der linken Station ausfällt 0,5

Wahrscheinlichkeit dass das 1.+2. Teil an der linken Station ausfällt  $0,5 \times 0,5 = 0,25$

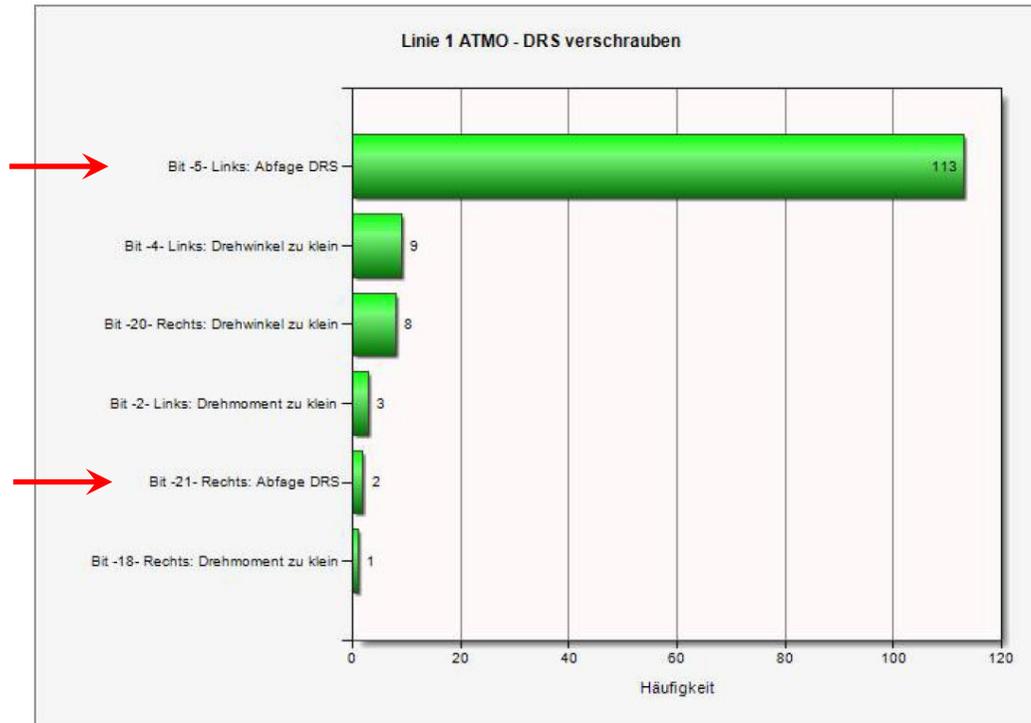
Wahrscheinlichkeit dass 5 Teile an der linken Station ausfallen  $0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 \times 0,5 = 0,0313$

Station 20 - Verschrauben



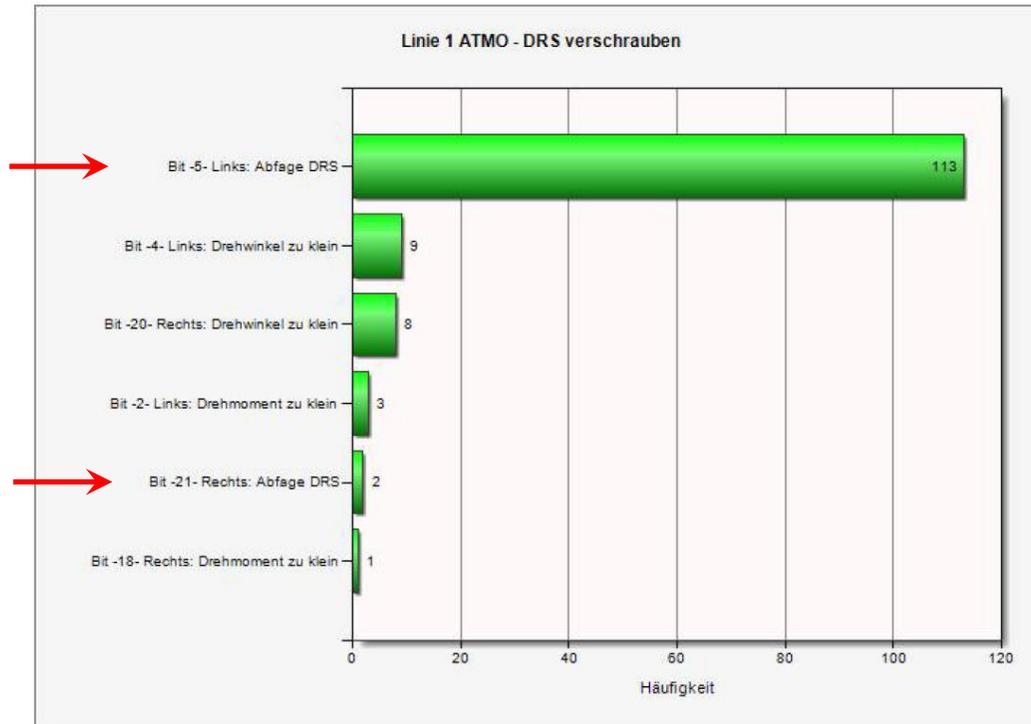
# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Einfache Regelideen



# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Einfache Regelideen

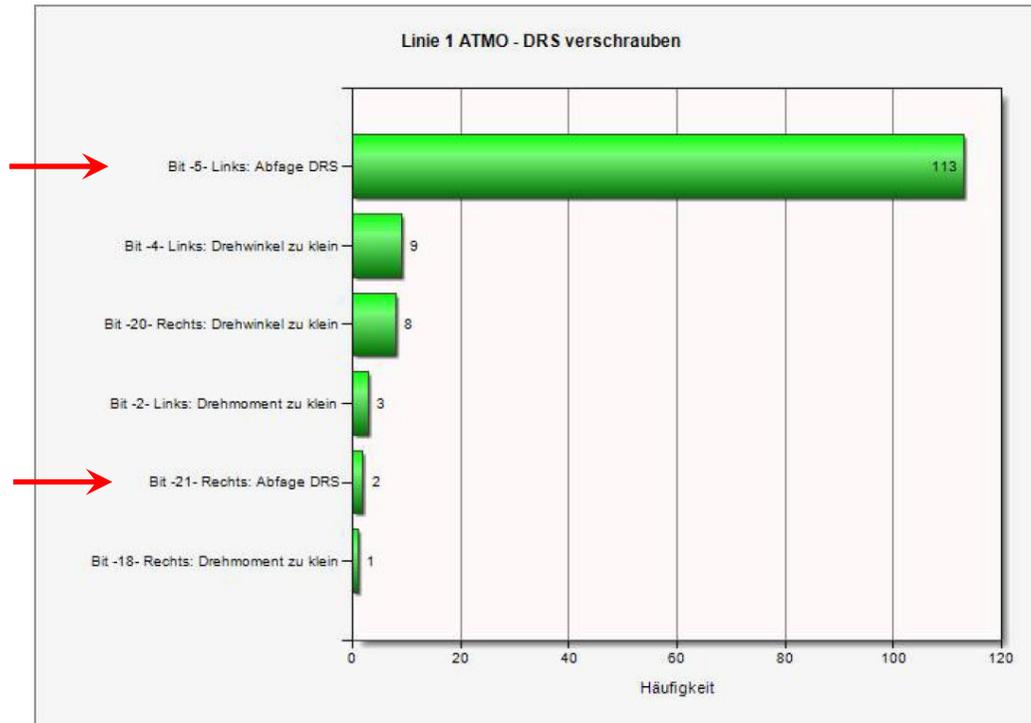


Hätten Sie das vermehrte  
Störungsaufkommen erkannt?



# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Einfache Regelideen



eine Schicht?

eine Woche?

ein Monat?

# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

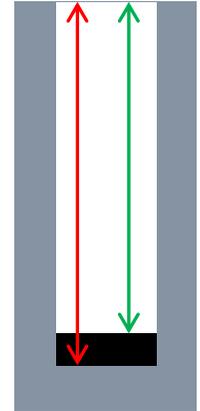
## Einfache Regelideen

## Wie viele Scheiben wurden verbraucht?

SNR	_GESAMT	ML11	ML12	TolUnten	TolOben	SNR
F 00V P50 362	_ 0	0	0	2110,00	2122,00	F 00V P50 362
F 00V P50 363	_ 4	2	2	2122,00	2134,00	F 00V P50 363
F 00V P50 364	_ 12	8	4	2134,00	2146,00	F 00V P50 364
F 00V P50 365	_ 41	18	23	2146,00	2158,00	F 00V P50 365
F 00V P50 366	_ 124	74	50	2158,00	2170,00	F 00V P50 366
F 00V P50 367	_ 161	123	38	2170,00	2182,00	F 00V P50 367
F 00V P50 368	_ 330	250	80	2182,00	2194,00	F 00V P50 368
F 00V P50 369	_ 760	576	184	2194,00	2206,00	F 00V P50 369
F 00V P50 370	_ 1010	794	216	2206,00	2218,00	F 00V P50 370
F 00V P50 371	_ 1401	1073	328	2218,00	2230,00	F 00V P50 371
F 00V P50 372	_ 1410	1060	350	2230,00	2242,00	F 00V P50 372
F 00V P50 373	_ 1447	1079	368	2242,00	2254,00	F 00V P50 373
F 00V P50 374	_ 947	702	245	2254,00	2266,00	F 00V P50 374
F 00V P50 375	_ 864	739	125	2266,00	2278,00	F 00V P50 375
F 00V P50 376	_ 414	346	68	2278,00	2290,00	F 00V P50 376
F 00V P50 377	_ 180	171	9	2290,00	2302,00	F 00V P50 377
F 00V P50 378	_ 54	54	0	2302,00	2314,00	F 00V P50 378
F 00V P50 379	_ 15	15	0	2314,00	2326,00	F 00V P50 379
F 00V P50 380	_ 0	0	0	2326,00	2338,00	F 00V P50 380
F 00V P50 381	_ 0	0	0	2338,00	2350,00	F 00V P50 381
F 00V P50 382	_ 0	0	0	2350,00	2362,00	F 00V P50 382

Für Logistik: Welche Klassen sollen nachbestellt werden.

Für Planer Haltekörper: Gibt es einen Trend?



# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Einfache Regelideen



- Informationen bereit stellen
- Fehler analysieren
  - Gleicher Vorprozess (Montage, Teile, Charge)
  - Unterschiede Einrichtungen
  - Kombination von beidem
- Trends erkennen
  
- nicht offensichtliche Zusammenhänge erkennen

# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise

## Einfache Regelideen

- Informationen bereit stellen
- Fehler analysieren
  - Gleicher Vorprozess (Montage, Teile, Charge)
  - Unterschiede Einrichtungen
  - Kombination von beidem
- Trends erkennen
- nicht offensichtliche Zusammenhänge erkennen



Würden Sie diese Beispiele schon als eine Form der künstlichen Intelligenz bezeichnen?

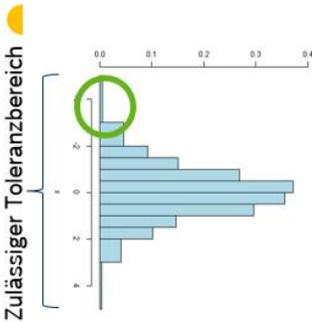
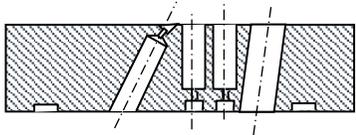
# BAUTEILPAARUNG

# Anwendung MAE-übergreifende Regelkreise Paarung Drosselplatte zu Aktormodul

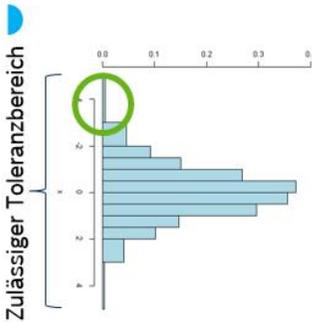
Aktormodul



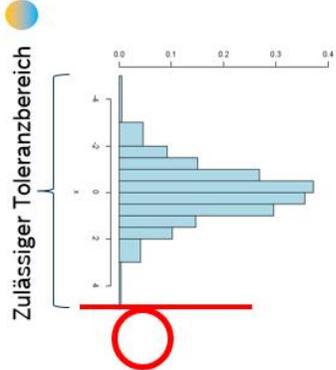
Drosselplatte



+



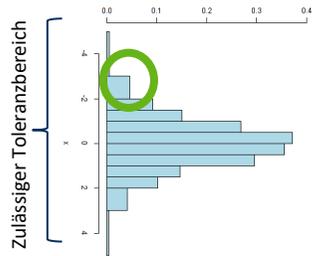
=



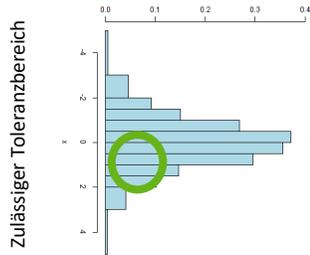
Yellow dot + Blue dot = Yellow and Blue dots



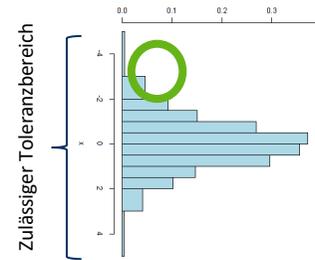
# Steigerung FPY durch Bauteilpaarung Weiterentwicklung Paarungsstrategien



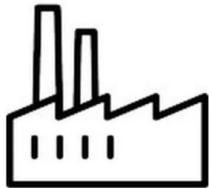
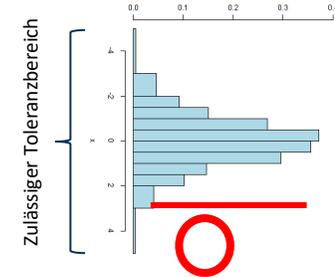
+



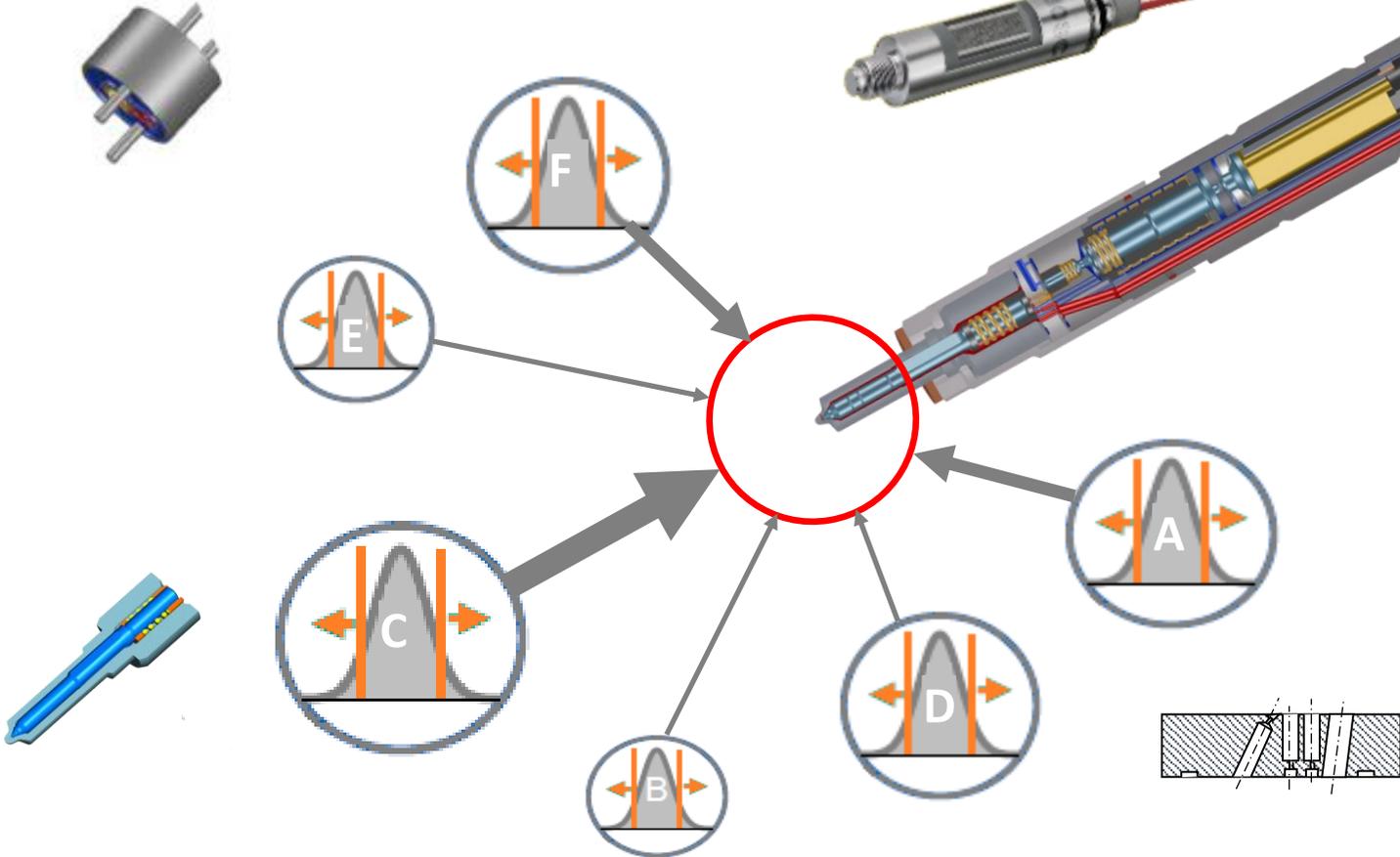
+ ... +



=



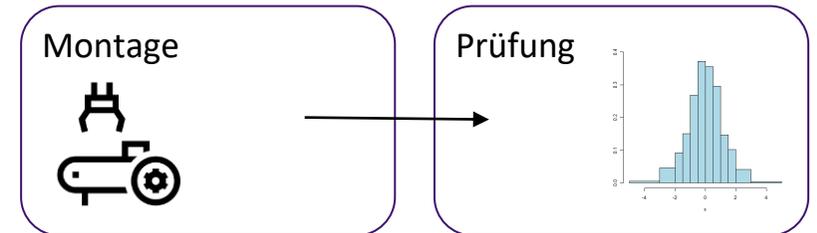
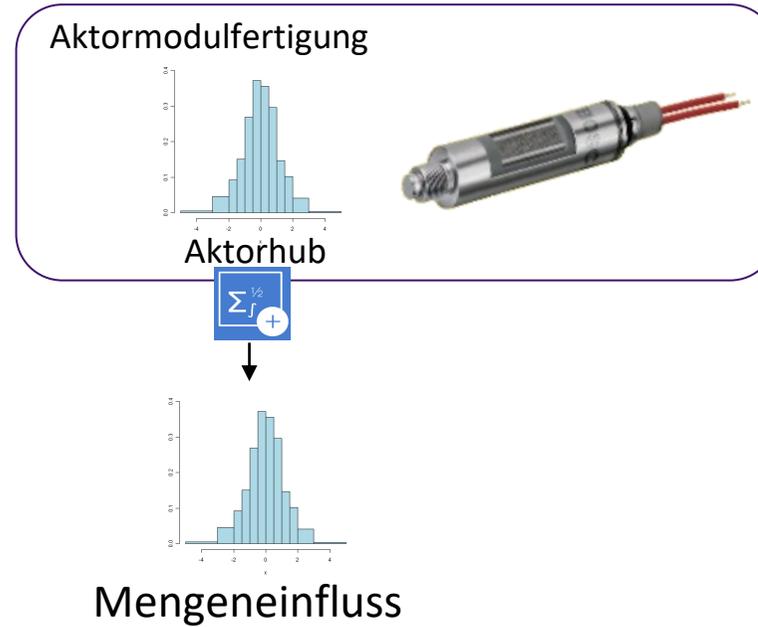
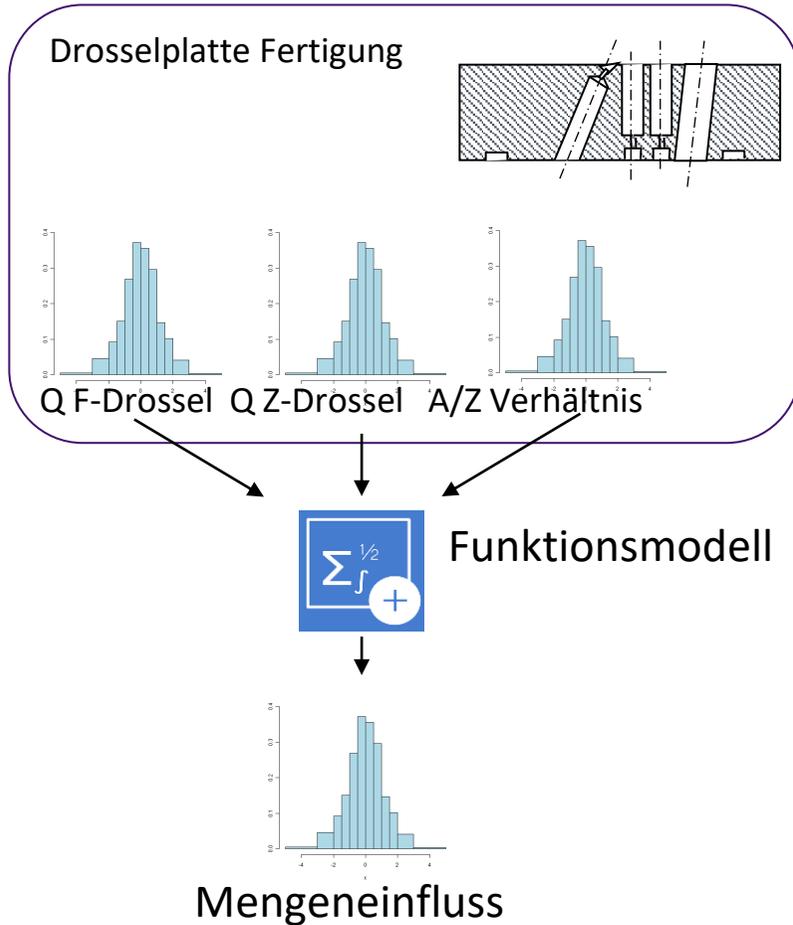
# Steigerung FPY durch Bauteilpaarung Erstellen Funktionsmodell CRI3.25



Bewertung Mengeneinfluss von  
insgesamt 13 Merkmalen aus 4  
Komponenten als Basis für  
Paarungsstrategie

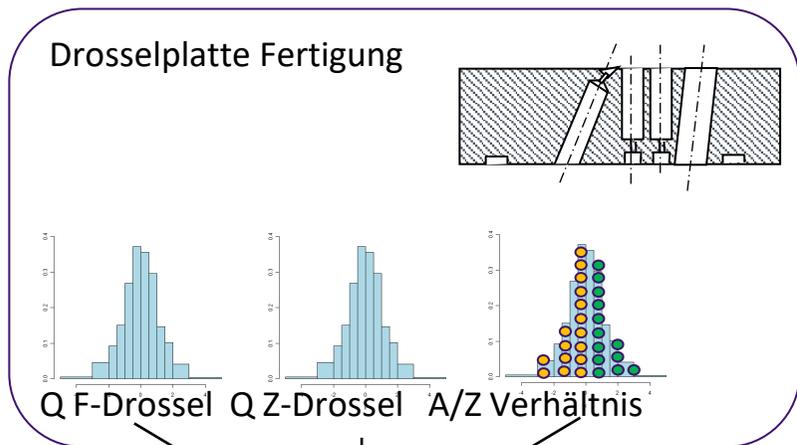
# Steigerung FPY durch Bauteilpaarung

## Bauteilpaarung CRI3.25

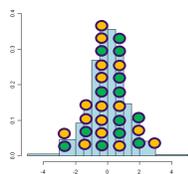


# Steigerung FPY durch Bauteilpaarung

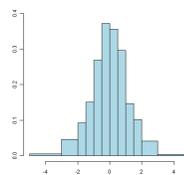
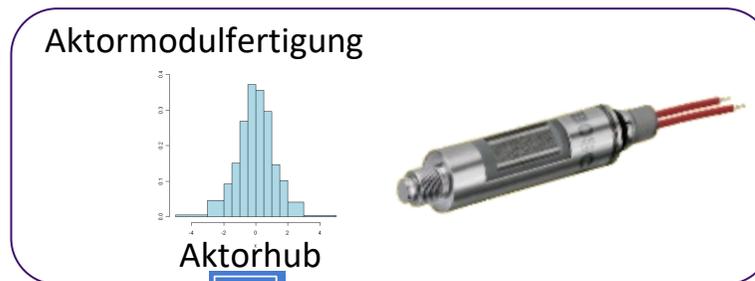
## Bauteilpaarung CRI3.25



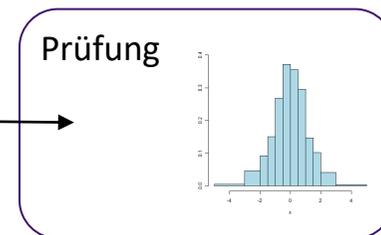
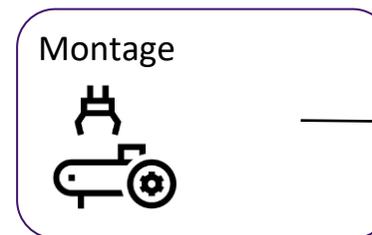
Funktionsmodell



Mengeneinfluss

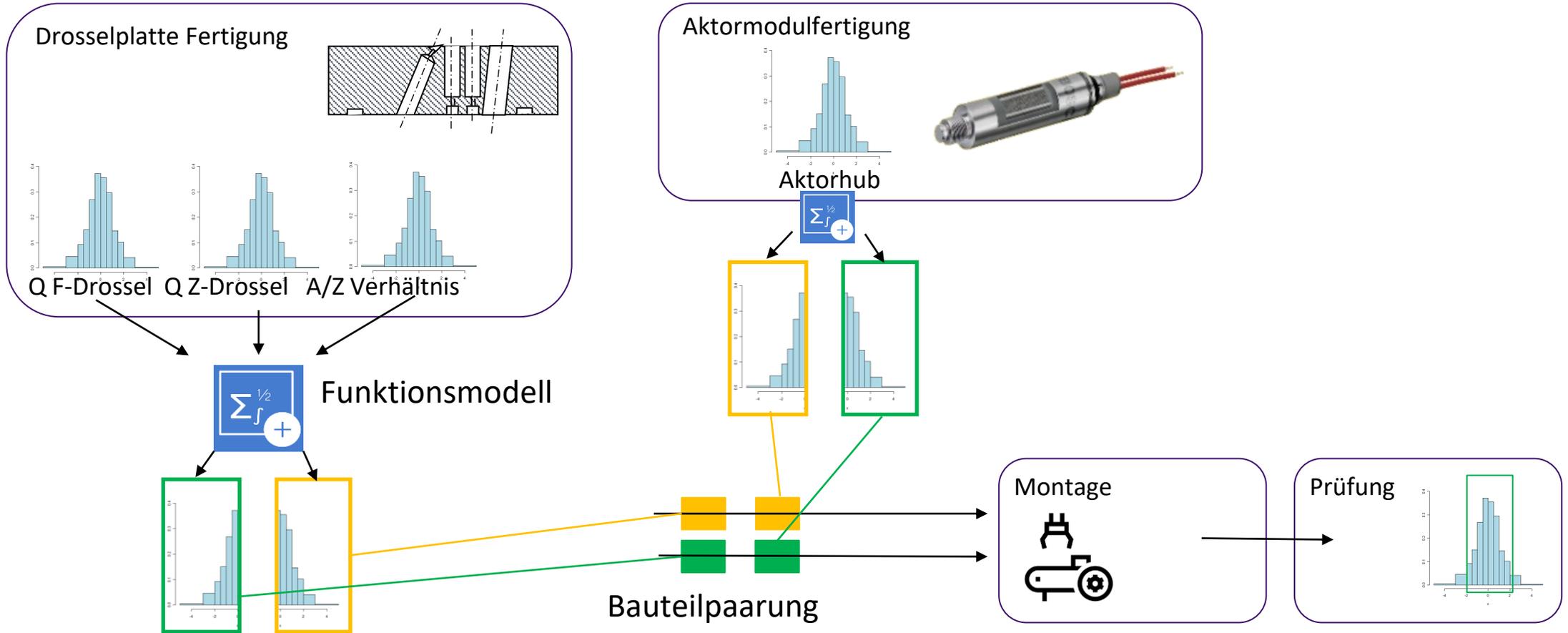


Mengeneinfluss

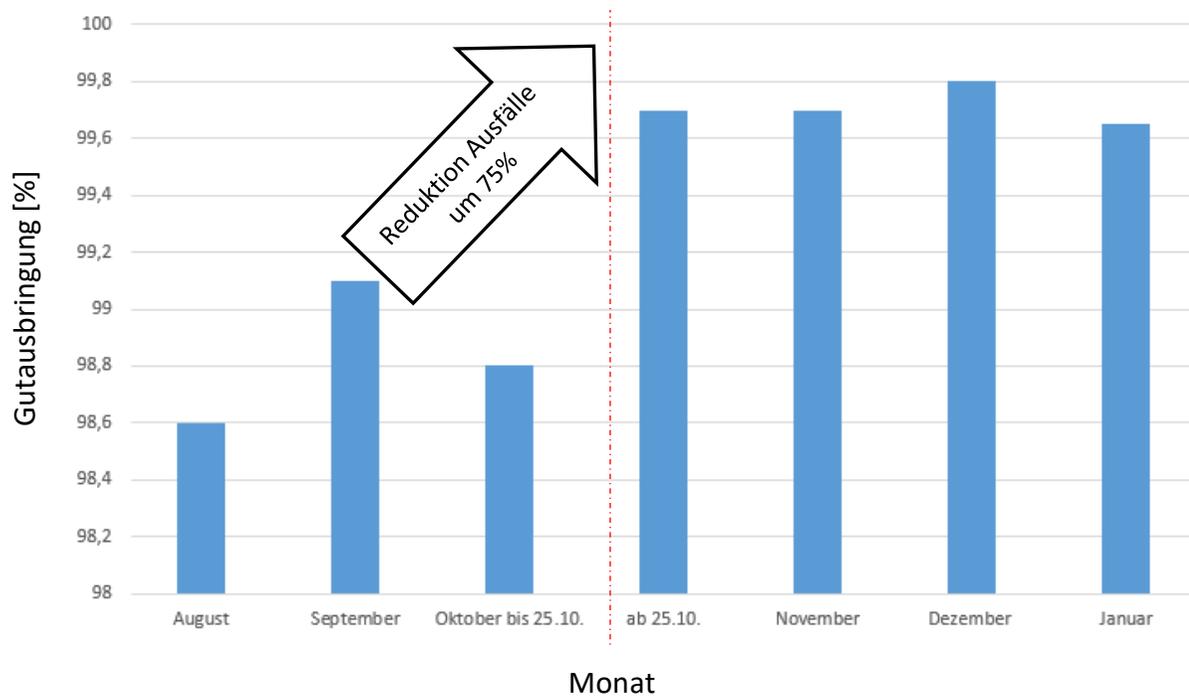


# Steigerung FPY durch Bauteilpaarung

## Bauteilpaarung CRI3.25

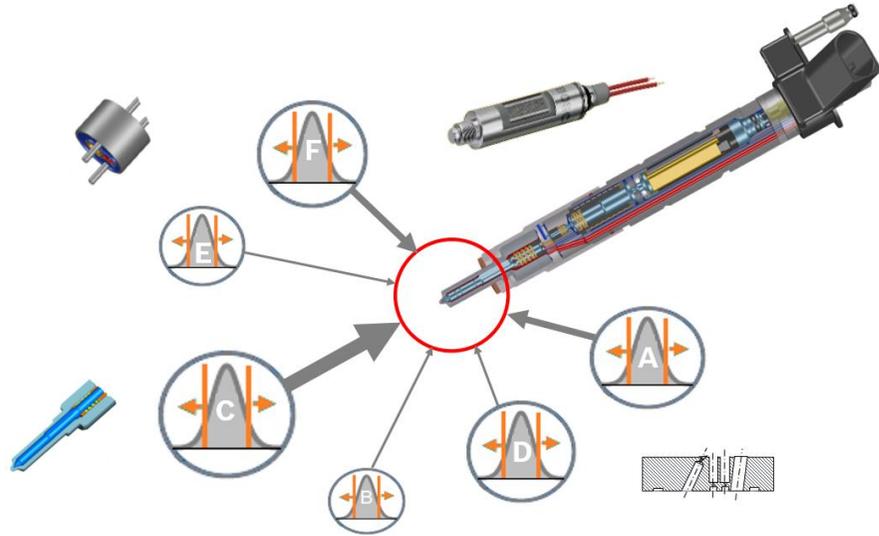


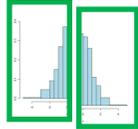
# Steigerung FPY durch Bauteilpaarung Wirksamkeit



# Industrial AI @HoP1

## Anwendungen Funktionsmodell als digitaler Zwilling



 Pairing

 Entfall physische Prüfung

 Adaptive Fertigung

 Root Cause Analysen

 Inline Quality Control

# KURVENDATEN

# Industrial AI @HoP1

## Beispiel Schraubkurven

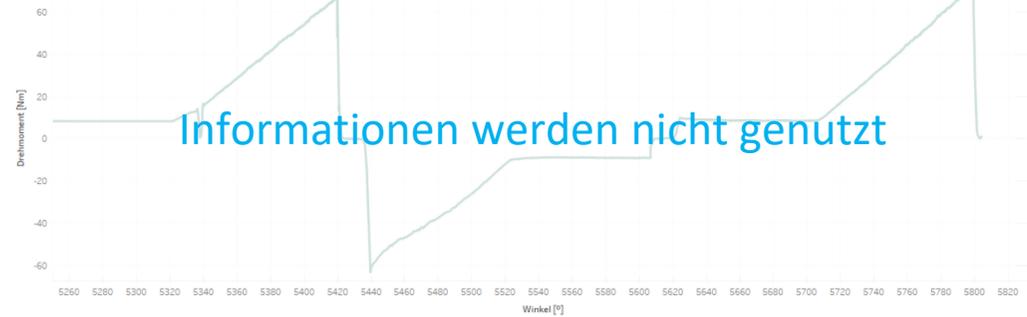
**Ziel:** Standardisierung Auswertemethodik

- ▶ Methodik für alle Produkte/Schraubfälle gültig
- ▶ Ableitung Schraubphysik ermöglicht
  - Datenbasis für Hybride Modelle
  - Bessere Erkennbarkeit von Anomalien
- ▶ jede Verschraubung im MAS verfügbar
  - zu Produkt ID zugeordnet

**Benefit:**

- ▶ Qualitätssicherung
- ▶ Prozessoptimierungen
- ▶ Taktzeitverkürzungen
- ▶ Entfall von Zwischenprüfungen
- ▶ Vorgesteuerte Regelkreise

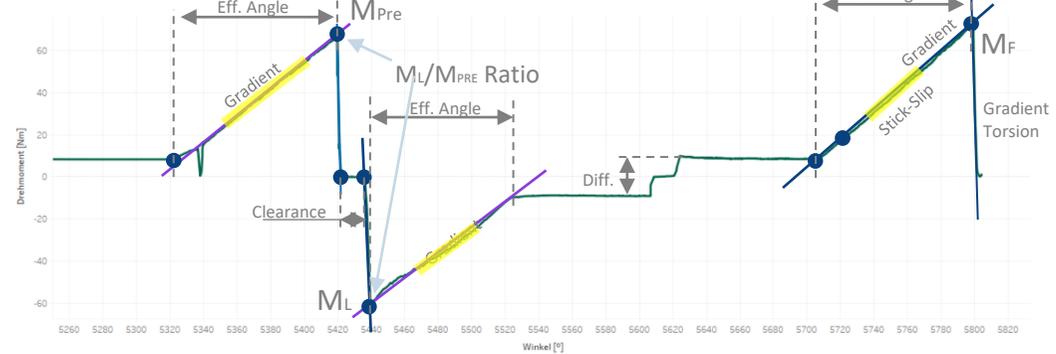
früher



**Features**

- Torque End
- Angle End

heute



- Torque End
- Angle End
- Torque Pre
- Torque Loosening
- Gradient Pretorque
- Gradient Loosening
- Gradient End
- Effective Angle Pre
- Effective Angle Loosening
- Effective Angle End
- Gradient Torsion
- ML/MPRE Ratio
- Stick-Slip Effect Detection
- Stick-Slip Effect Quality
- Clearance
- Extrapol. Torque Loosening
- Friction
- Stiffness
- Axial Force
- Plastification Pre
- Plastification End

**Anspruch: mit Physik rückführbar auf Wirkmechanismen**

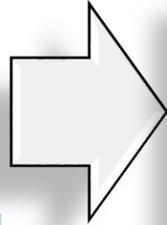
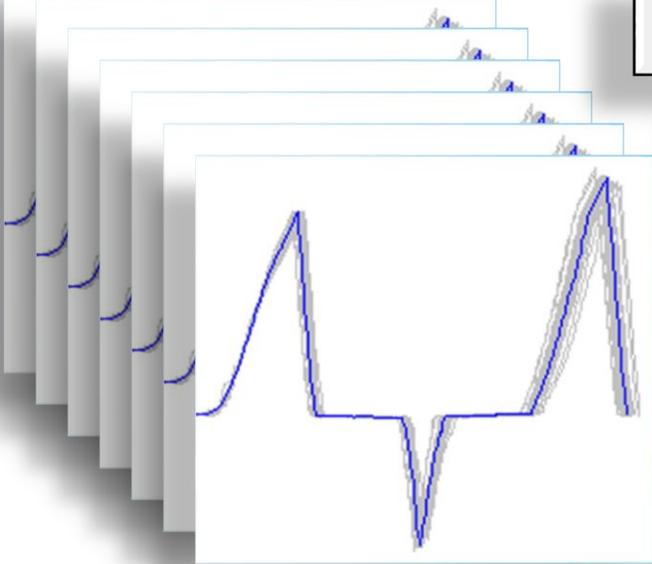
# Industrial AI @HoP1

## Extrahieren von physikalischen Merkmalen

### Kurvendaten Verschraubung

\*.json-Files

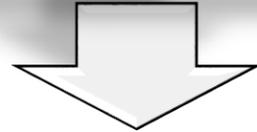
aus Schraubstation



#### Extrahieren von Merkmalen

spiegeln physikalische Eigenschaften wider,  
z.B.:

- Reibwerte (Niveau, Stick-Slip,...)
- Steifigkeiten (elastisch, plastisch)
- Plastifizierung (Voranzug, Endanzug)
- Verschleiß Schraubwerkzeug (Umkehrspiel)
- ...

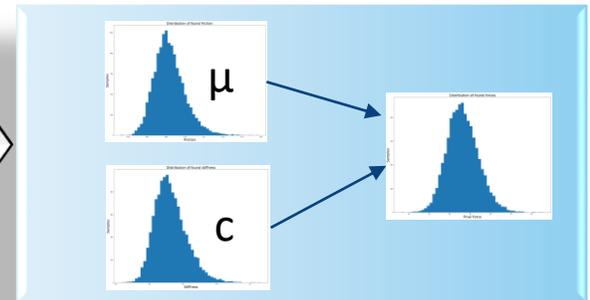
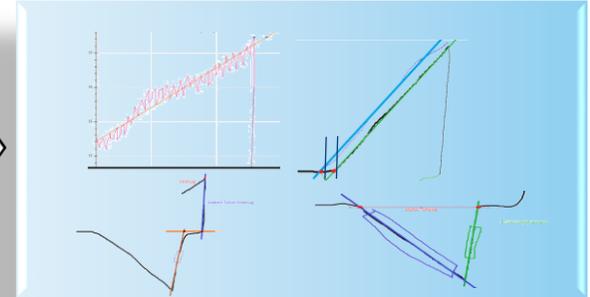


#### Physikalisches Modell

Abschätzung: Reibwerte, Steifigkeiten, Axialkräfte

$$M_A = F_{Ax,i} \cdot (0.16 \cdot P + (0.58 \cdot d_2 + \frac{D_{KM}}{2}) \cdot \mu)$$

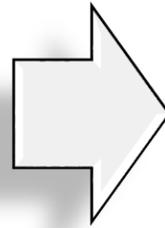
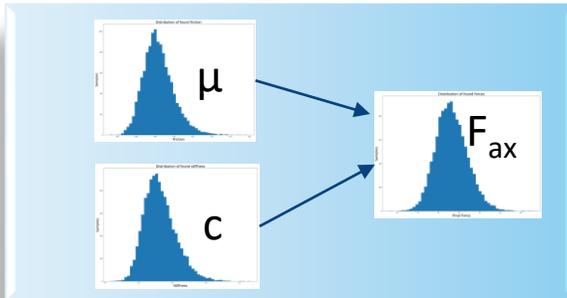
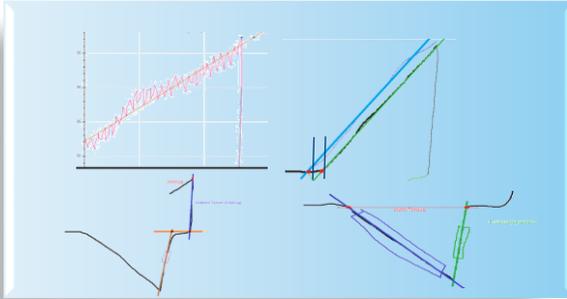
$$ratio = \frac{M_L}{M_A} = \frac{F_{Ax,A} \cdot preSetting \cdot (-0.16 \cdot P + \mu \cdot KF)}{F_{Ax,A} \cdot (0.16 \cdot P + \mu \cdot KF)}$$



# Industrial AI @HoP1

## Verarbeitung von Informationen

### Extrahierte Merkmale



### Anwendung KI-Methoden

Aufzeigen Zusammenhänge  
zwischen Fertigungsprozessen

Anomalie Detection

Neuronales Netz

Mustererkennung/Clustering

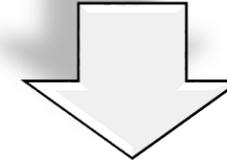
Erkennen  
funktionsbeeinflussender  
Merkmale

Decision Tree

Zeitreihenanalyse

Klassifizierung

k-nearest neighbor



### Interpretation von Experten

Nachvollziehbare Datenbasis

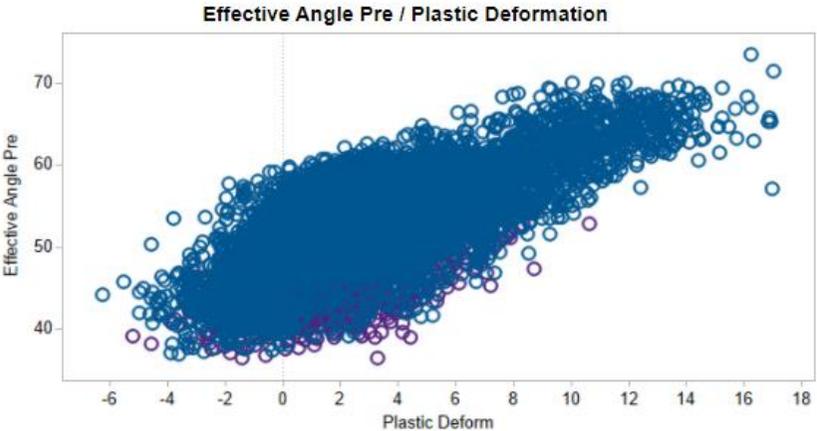
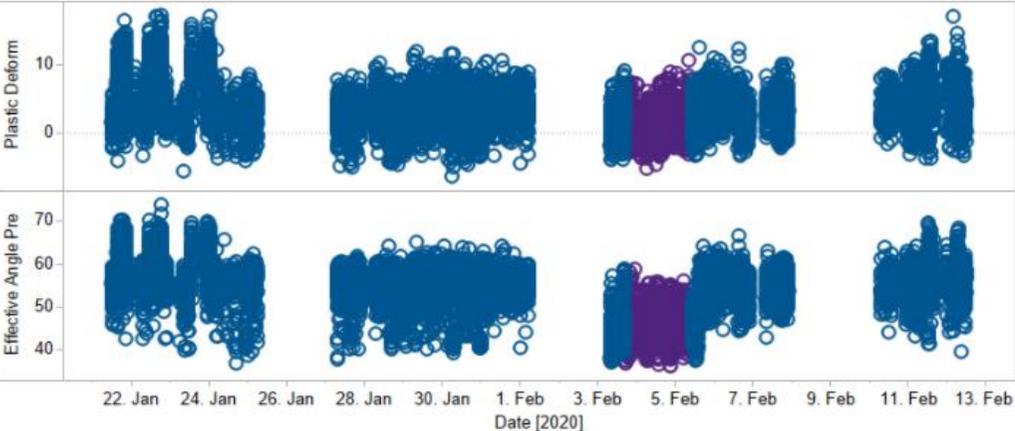
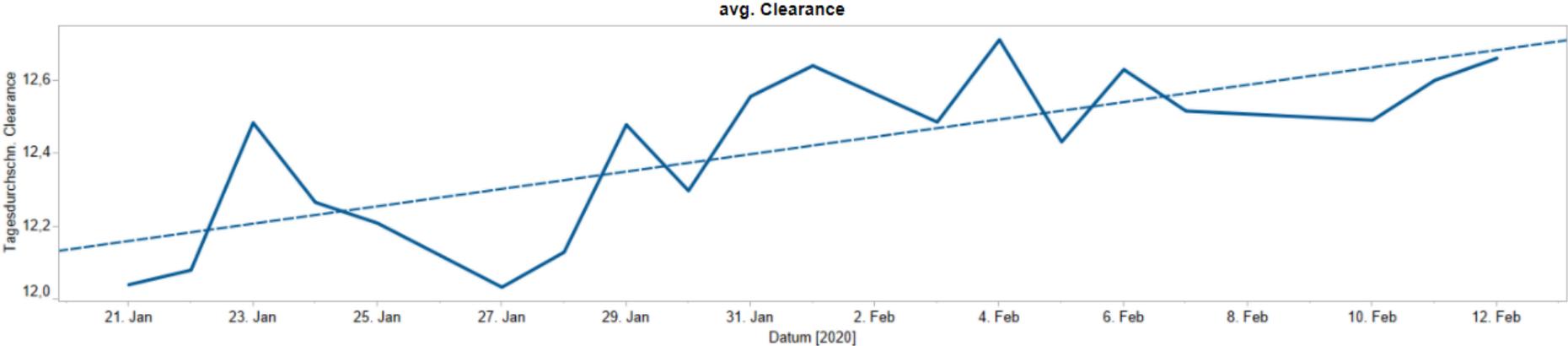
Ursache von  
Fehlern ableitbar

Erklärbarkeit gegeben,  
da keine „Black-Box“

Definition  
nachhaltiger/begründeter  
Maßnahmen

# Industrial AI @HoP1

## Bereitstellen der Informationen



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.



Wir bewegen  
die Zukunft

BOSCH HOMBURG

