

QUALITY | COMPLIANCE MEETS EFFICIENCY

# Qualifizierung von Machine Vision Systemen zur Qualitätssicherung am Beispiel eines Produktionsanlaufs

07.11.2025

[www.testotis.de](http://www.testotis.de)

## ANIKA ZART

- ▶ Consulting Services Quality & Production Excellence
- ▶ [azart@testotis.de](mailto:azart@testotis.de), +49 7661 90901 -8362



10/2015- 09/2018  
Wirtschaftsingenieurwesen



10/2020 – 12/2023  
PRIMAS validated



10/2018 – 09/2020  
Marketing GMP



01/2024 - today  
Consulting Services

### Qualitätssicherung und Prüfprozessmanagement



Automotive



Aerospace



Medical / Pharma



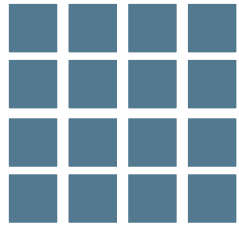
Defence

# Qualität sichern und Kosten reduzieren!



100%

Fehlerschlupf §€€



Ausschuss €



Pseudoausschuss €





# Consulting Quality Assurance



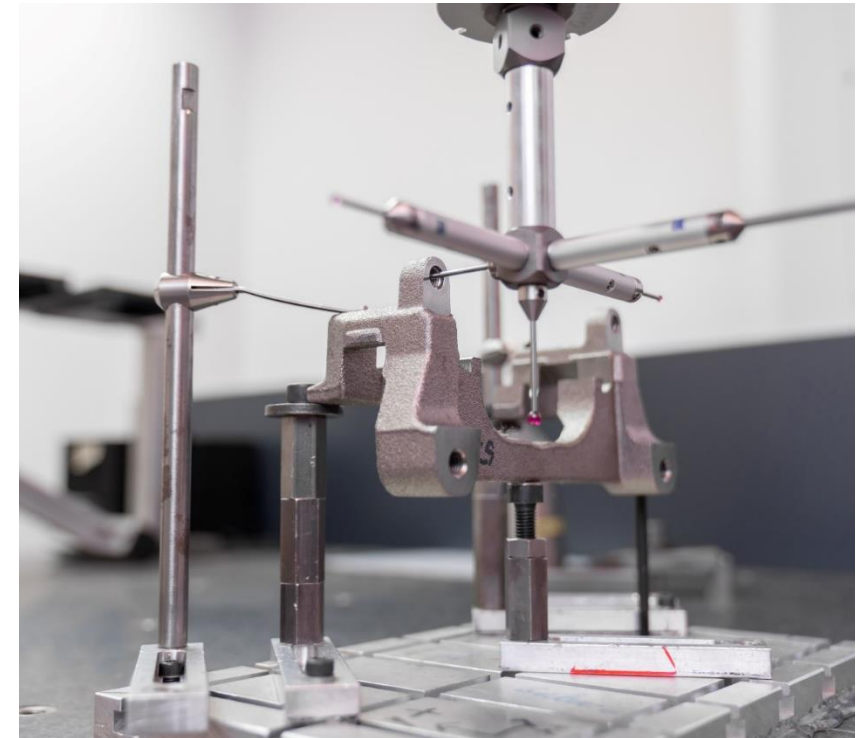
- ▶ Qualifizierung von Mess- und Prüfprozessen
  - Messsystemanalyse, MSA
  - Eignungsnachweise nach VDA5.X
  
- ▶ Qualifizierung von Fertigungsprozessen
  - Maschinen- und Prozessfähigkeit, MFU/PFU
  - Statistische Prozesslenkung, SPC
  
- ▶ Prüfplanung
  - Identifikation der zu messende Merkmale
  - Technologiescreening für Planung und Aufbau eines neuen Prüfstands



# Consulting Quality Assurance



- ▶ Prüfmittelmanagement
  - Digitale Prüfmittelverwaltung (PRIMAS)
  - Optimiertes Prüfmittelmanagement z.B.:
    - Kalibrierintervall/Fehlergrenze/Entscheidungsregeln
- ▶ Akkreditierungsvorbereitung nach ISO/IEC17025
  - Aufnahme Ist-Situation/Gap-Analyse (Dokumenten- und Prozessanalyse, Workshop, Laborbesichtigung)
  - Handlungsempfehlung anhand der identifizierten GAPs und Ausarbeitung einer Projektskizze für die Akkreditierungsvorbereitung



# Bedeutung der Automobilindustrie für Europa

## Europa

7% des Bruttoinlandsprodukts

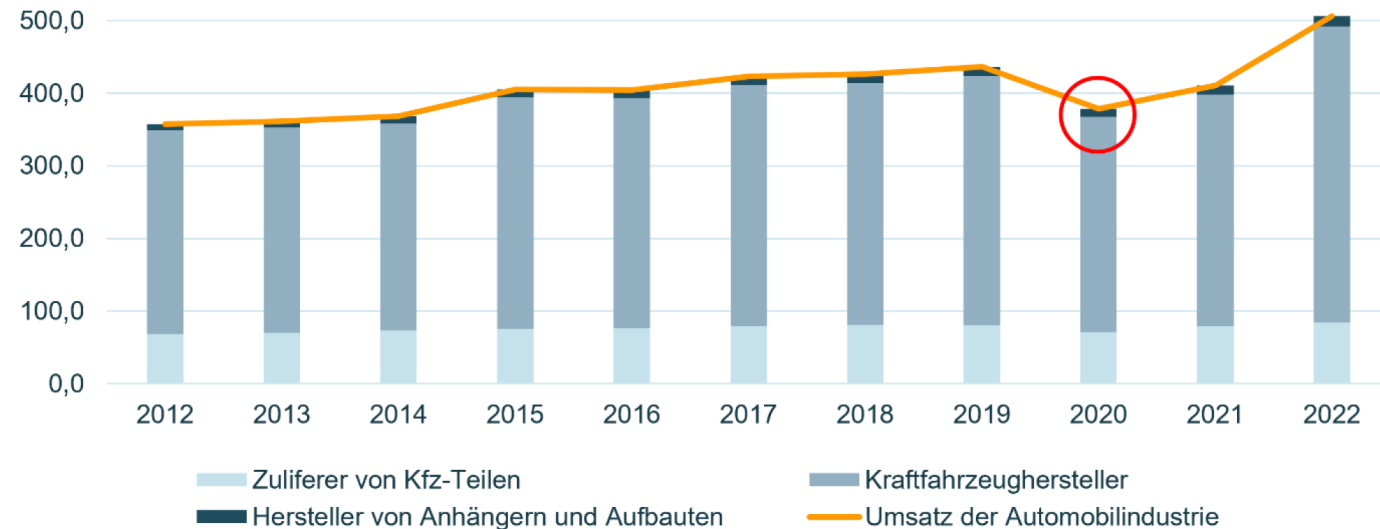
2,3 Millionen direkt Arbeitsplätze  
(indirekt: 12,2 Millionen  
Arbeitsplätze)



Quelle: BLUEPRINT FOR SECTORAL COOPERATION ON SKILLS,  
ISBN: 978-92-79-64654-6 © European Union, 2017

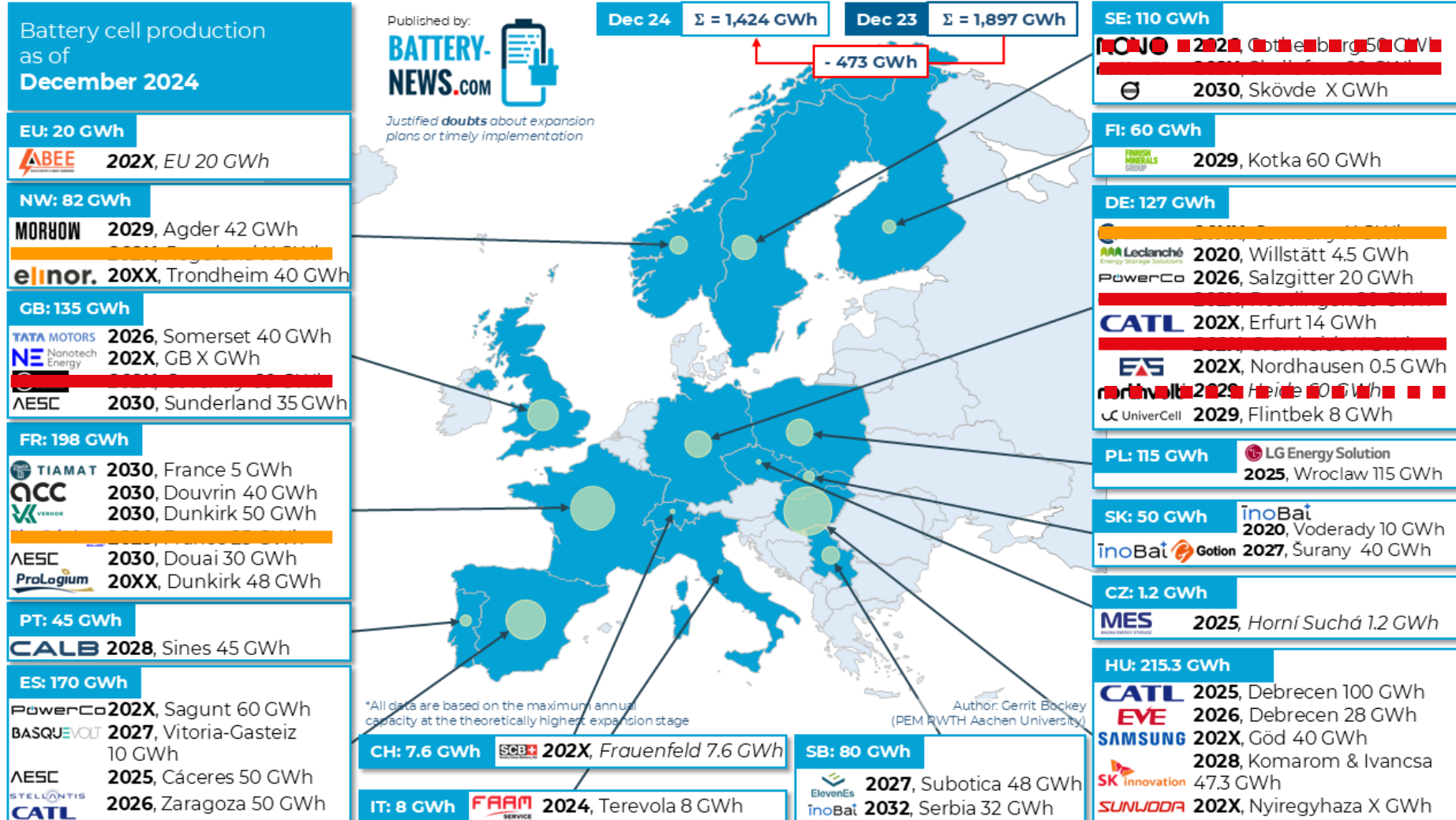
## Deutschland

Umsatz der Automobilindustrie (in Mrd. Euro)



Quelle: Statistisches Bundesamt - DESTATIS (2023)

# Batterieproduktion in Europa am Scheideweg

Be sure. **testo**

Statusupdate  
12.24→09.25

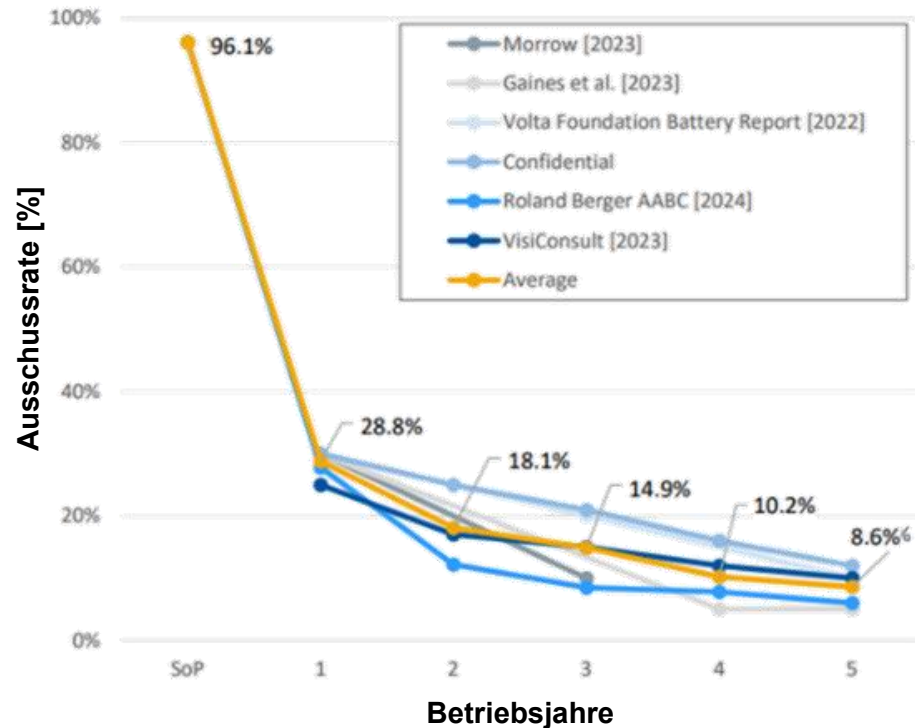


# Der Ramp-Up Prozess ist der Schlüssel

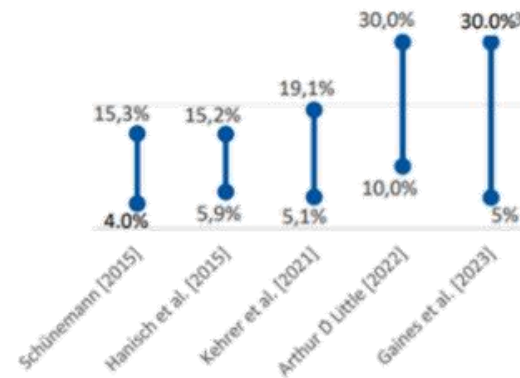


## Ausschuss (Scrap Rate) in der Batteriezellproduktion

### Ausschussraten im Zeitverlauf



### Studien der Ausschussraten



## Ausschusskosten und SoP\* Verspätungen

### Ausschusskosten [pro % Ausschuss]

**~30k€\*\*** (Tag)

**~10M€\*\*** (Jahr)

### Gemeldete SoP Verspätung [Monate]

**7+** (Durchschnitt)

### Profitverlust durch SoP Verspätung [pro Tag]

**1.1 M€\*\*\*** (Durchschnitt)

Source/s: [1] Dahmen et al. (Mastering Ramp-up of Battery Production) 2024

\* SOP = Start of Production; \*\*40GWh/a, NMC811, Scrap sold at 70% cell price; \*\*\*40GWh/a



# Qualitätssicherung ist ein entscheidender Erfolgsfaktor im Ramp-Up von Gigafactories – Beispiel Northvolt



## NORTHVOLTS AUFSTIEG ALS EUROPÄISCHER BATTERIEZELLHERSTELLER:



## AKUTE PROBLEME VOR DER INSOLVENZ:

- Übermäßiger **Ausschuss** in der Produktion und längere **Hochlaufzeiten** der Linien
- Nur **reduzierte Liefermengen** an OEMs möglich (z. B. BMW oder Scania)
- Hohe Kostensensitivität durch **Konkurrenz** asiatischer Hersteller

Die vereinbarte **Qualität und Menge** an Batteriezellen kann nicht eingehalten werden.

Source/s: [1] Manager Magazin (Um so viel Geld geht es im Northvolt-Drama) 2024; [2] Northvolt (Northvolt files for bankruptcy in Sweden) 2025

# Bei der IAA riefen die CEOs von PowerCo, Verkor & ACC gemeinsam zu europäischen Investitionen auf



„WHO WILL MAKE OUR BATTERIES?  
EUROPE'S MOMENT OF TRUTH“

„This is not just industrial—it's **geopolitical**.“

„**99 percent** of batteries globally are made **by non-European companies**“

„We urge **European policy-makers** to work together. Act pragmatically, cut red tape, and mobilize funds. The **cost of inaction** far outweighs the cost of support.“



**QUALITÄT IN DER BATTERIEPRODUKTION**

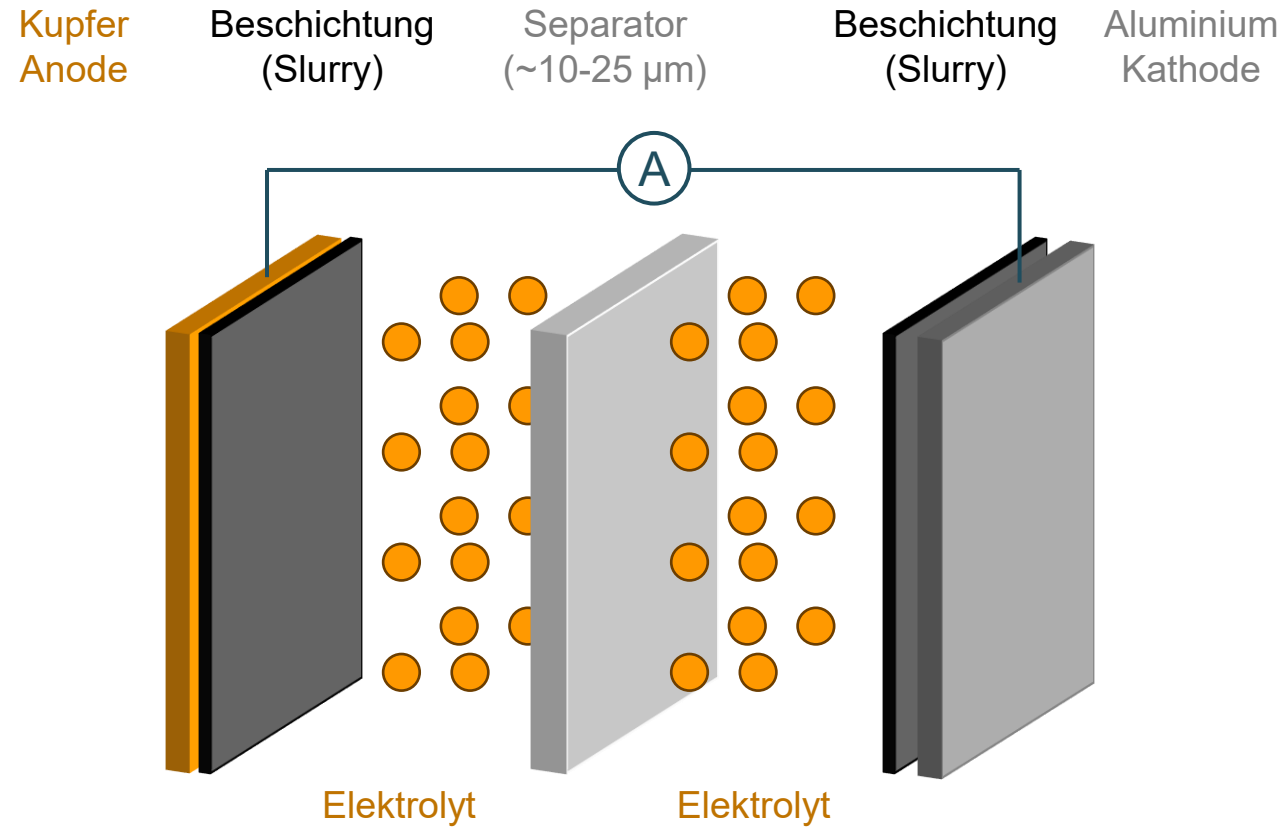
# **Produktionsanlauf der Batterieproduktion**

**07.11.2025**

**[www.testotis.de](http://www.testotis.de)**

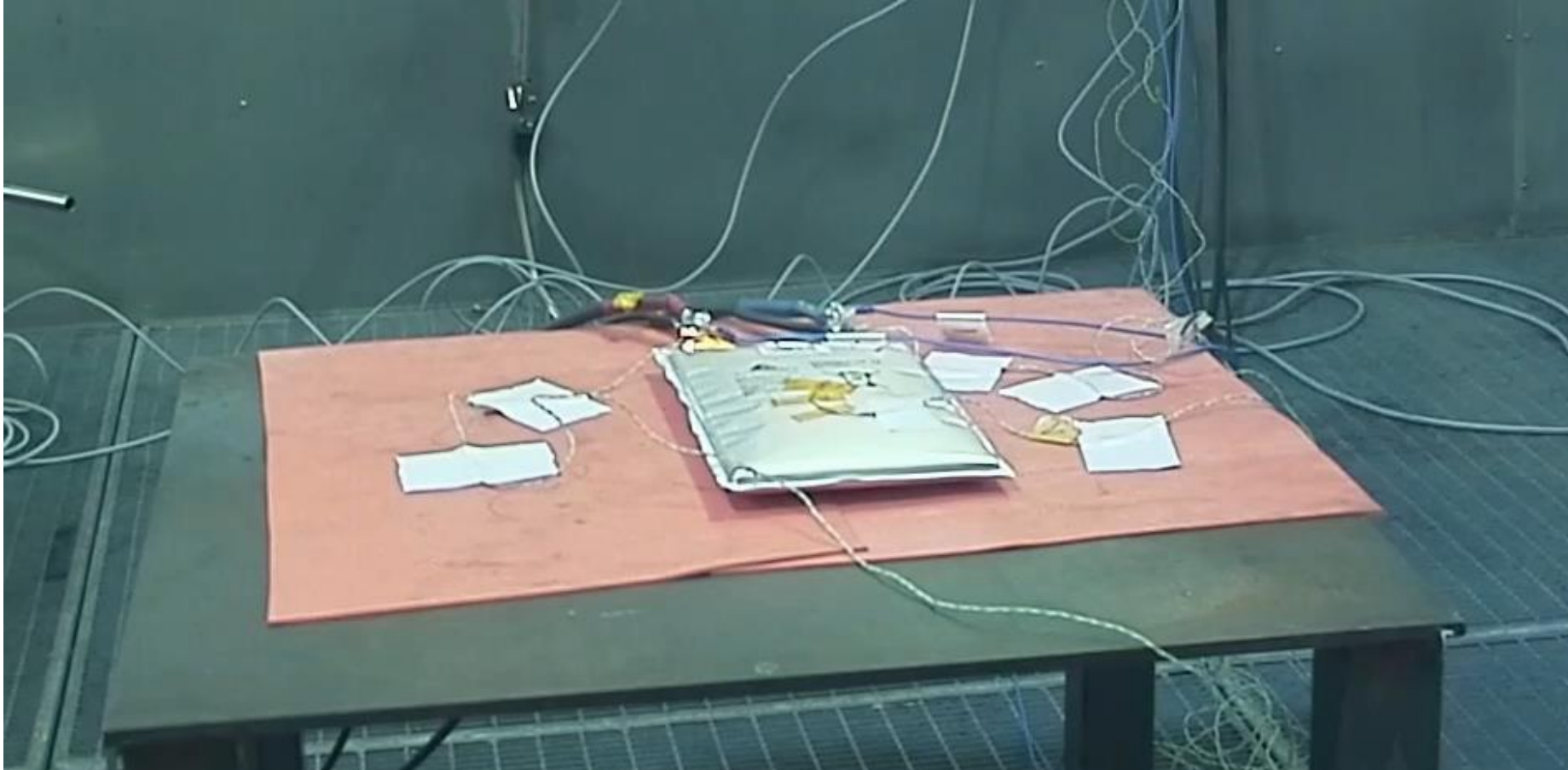


# Design einer Batteriezelle

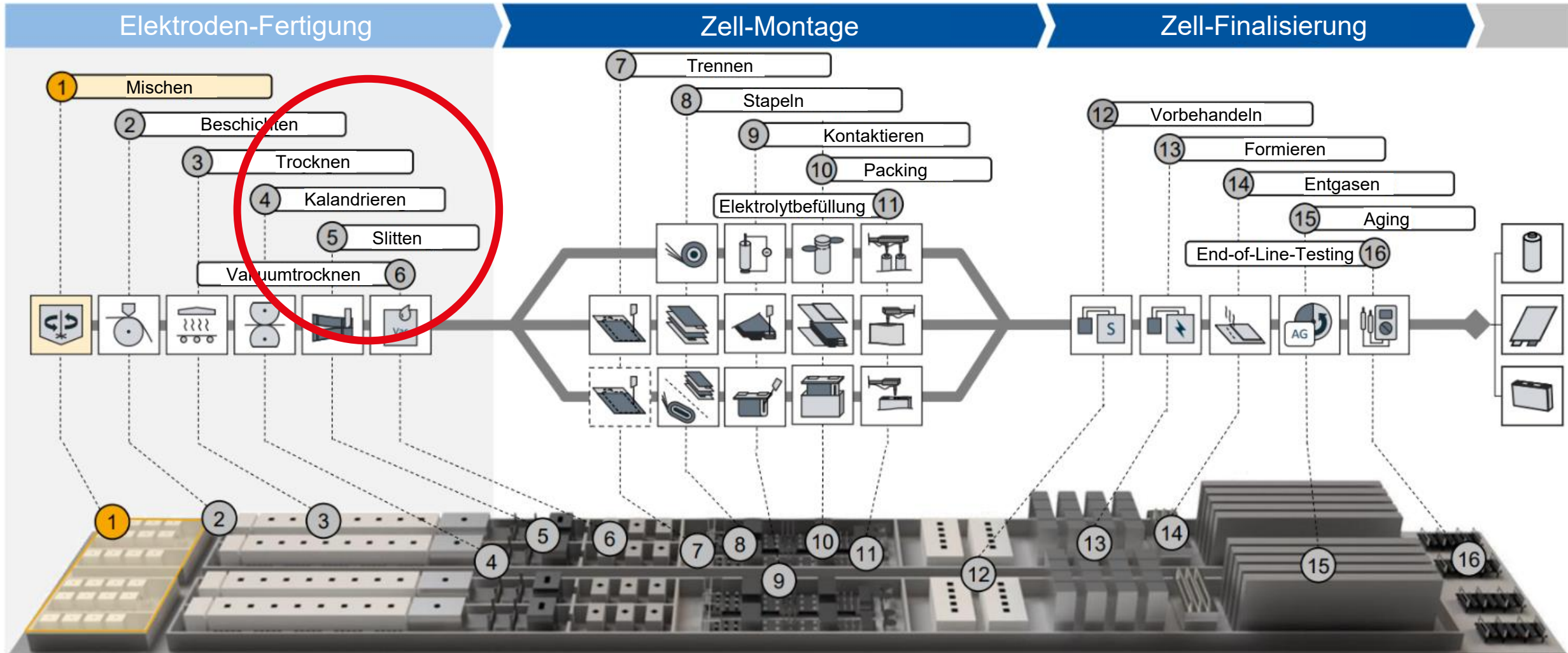




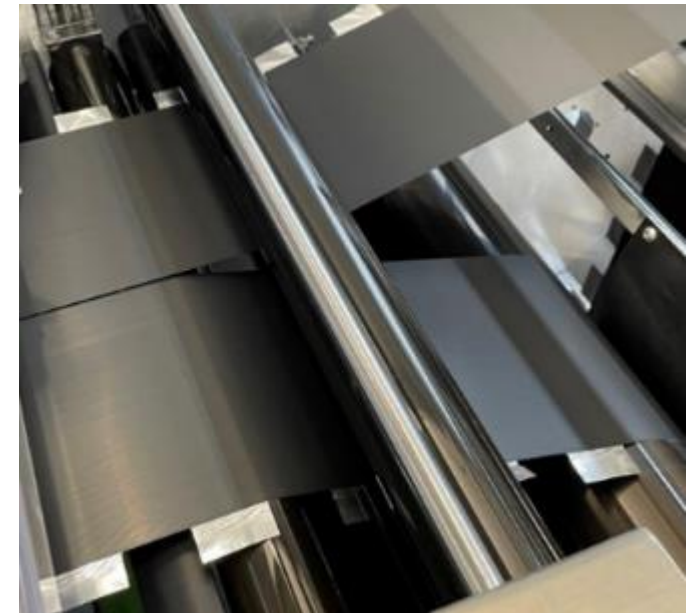
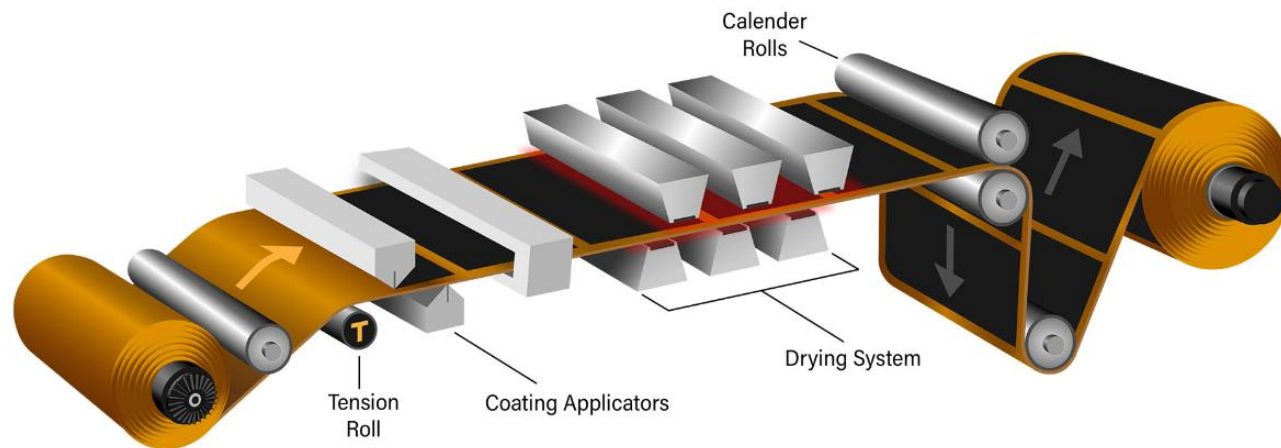
# Potentielle Folgen von Geometrie- und Beschichtungsfehlern



# Ablauf der Batteriezellherstellung



# Beschichten, Trocknen und Kalandrieren

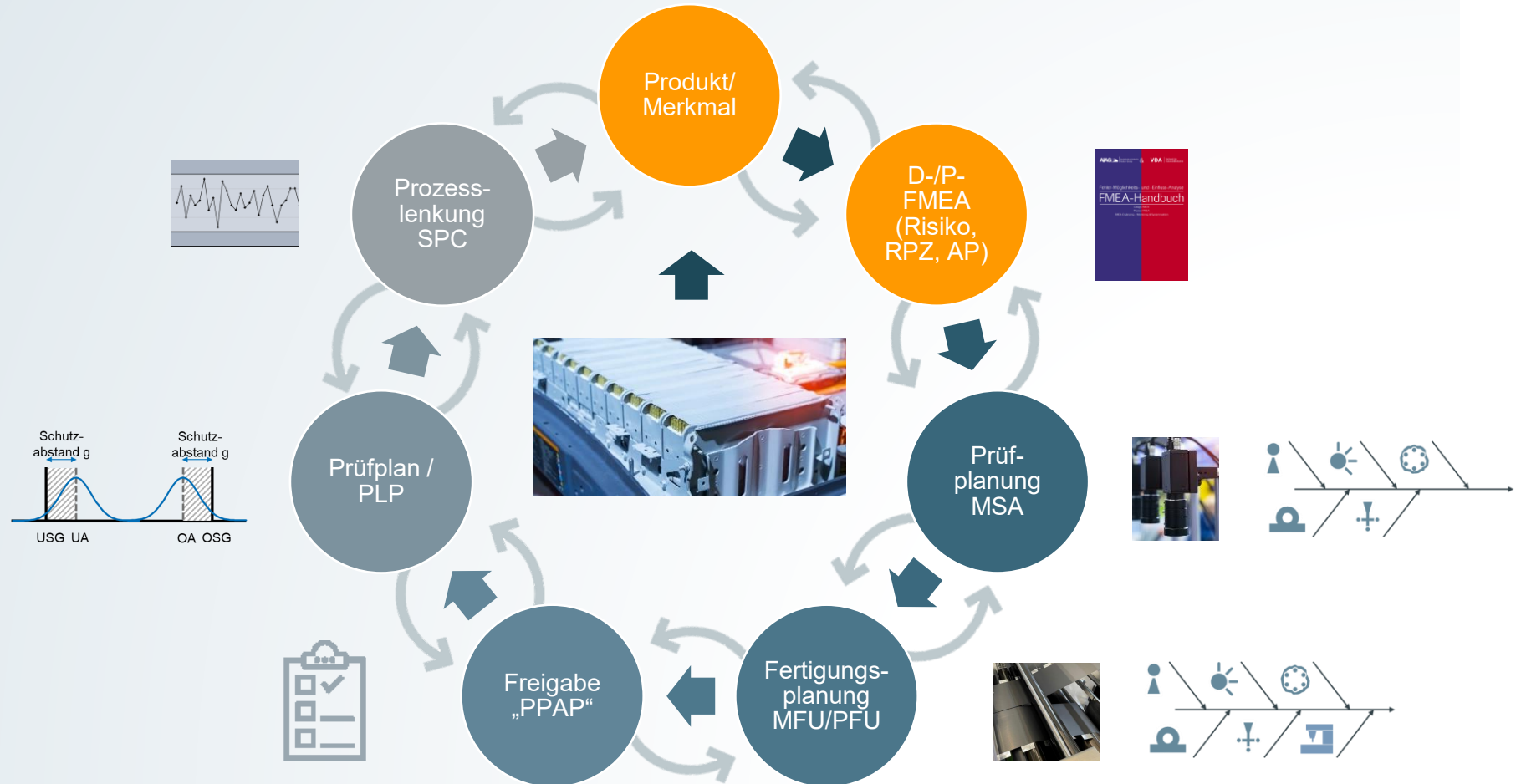


Slitten und Tab freistellen

# SPC als Bestandteil der Automotive Core Tools

APQP

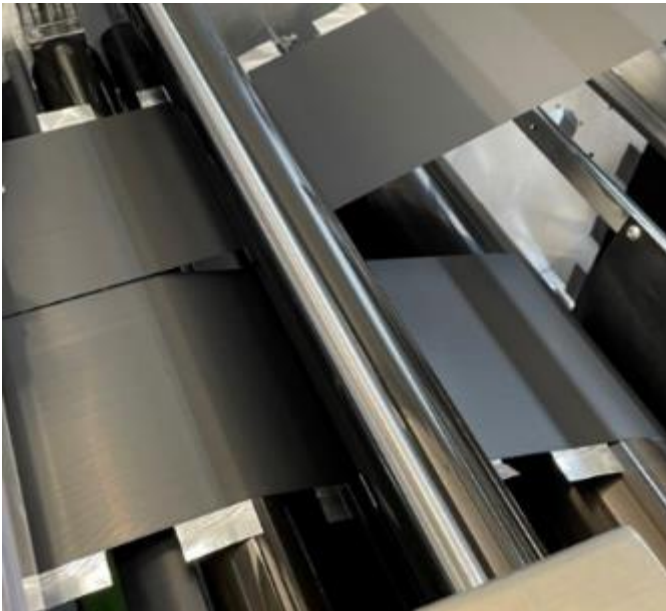
Advanced  
Product  
Quality  
Planning



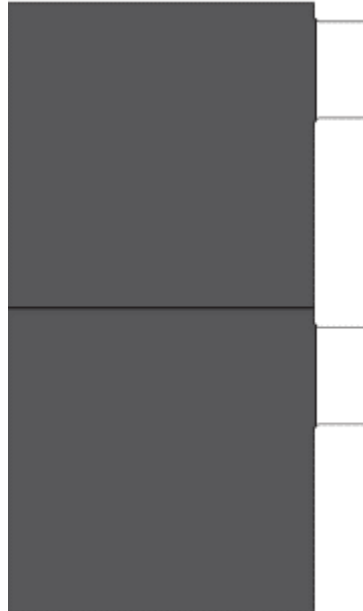


# Ableiten qualitätsrelevanter Merkmale

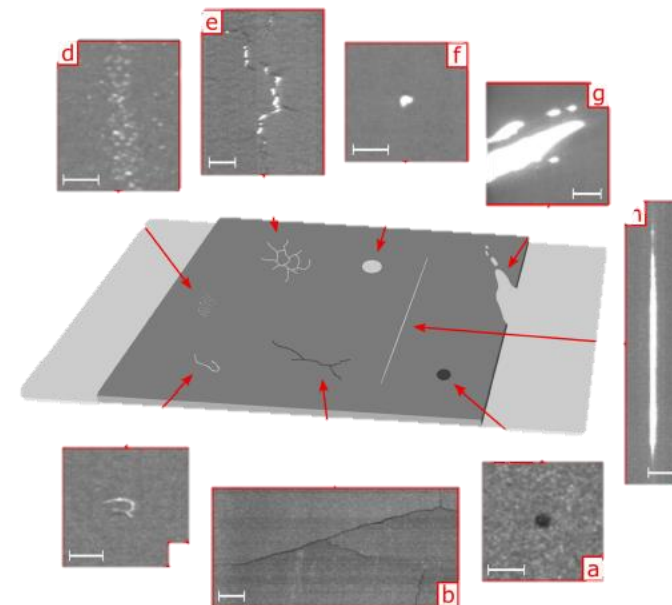
Herstellungsprozess –  
Slitten und Tab freistellen



Messung der  
Geometrie



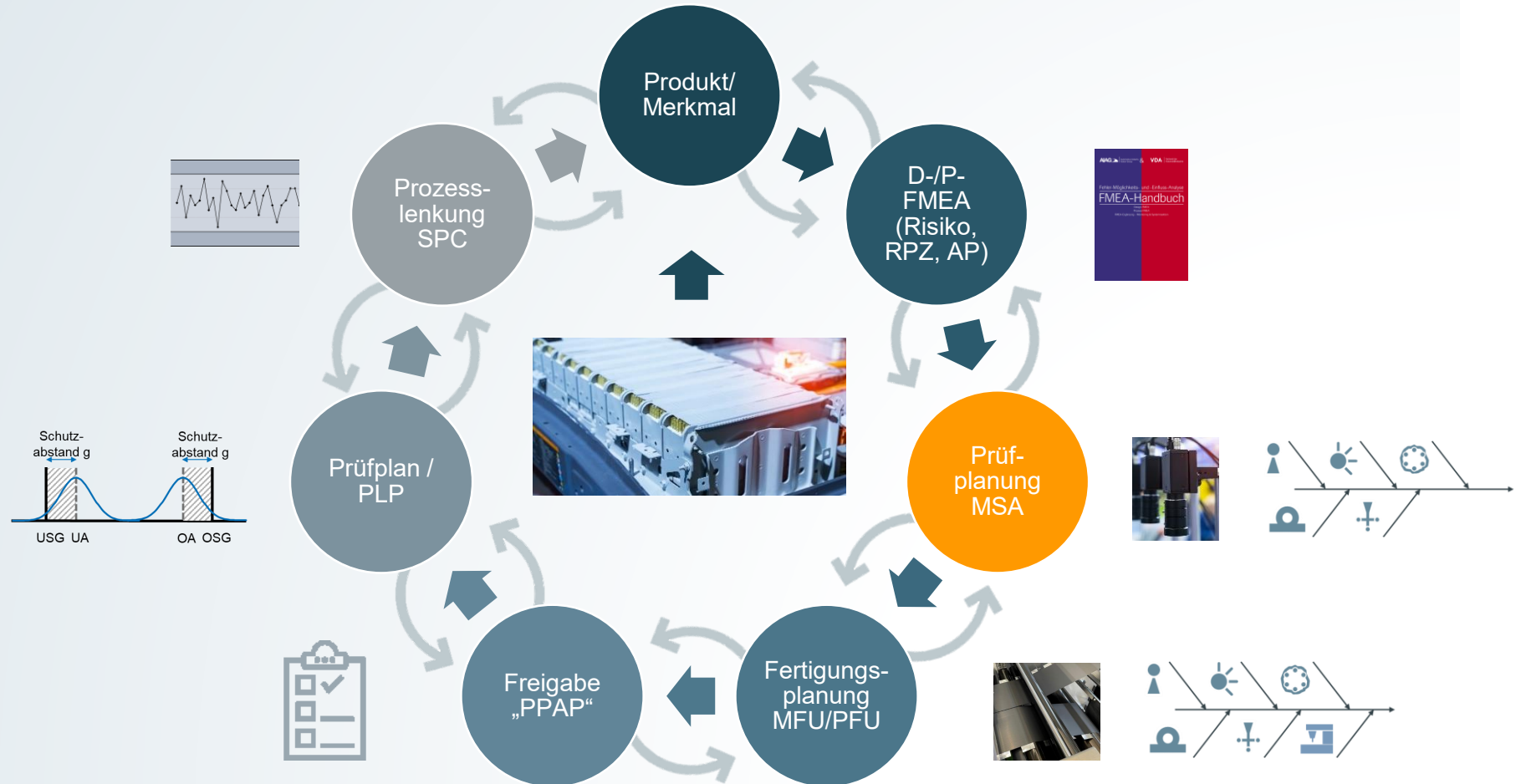
Detektion von  
Defekten



# SPC als Bestandteil der Automotive Core Tools

APQP

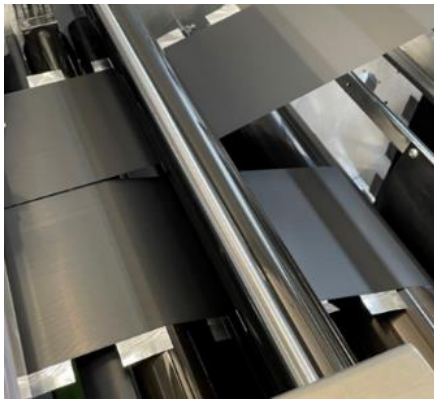
Advanced  
Product  
Quality  
Planning



# Prüfplanung mit Machine Vision Systemen



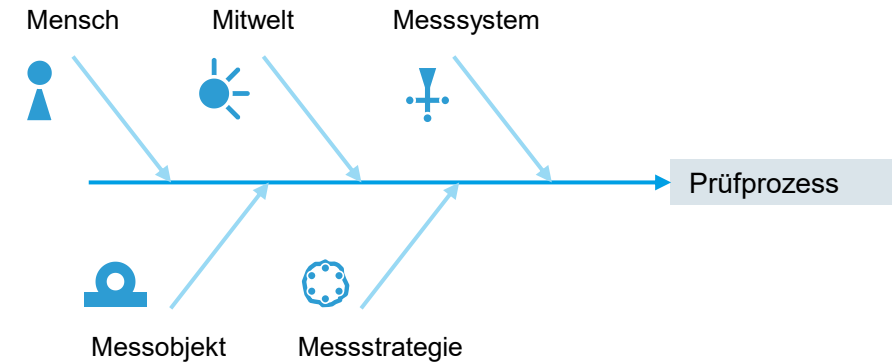
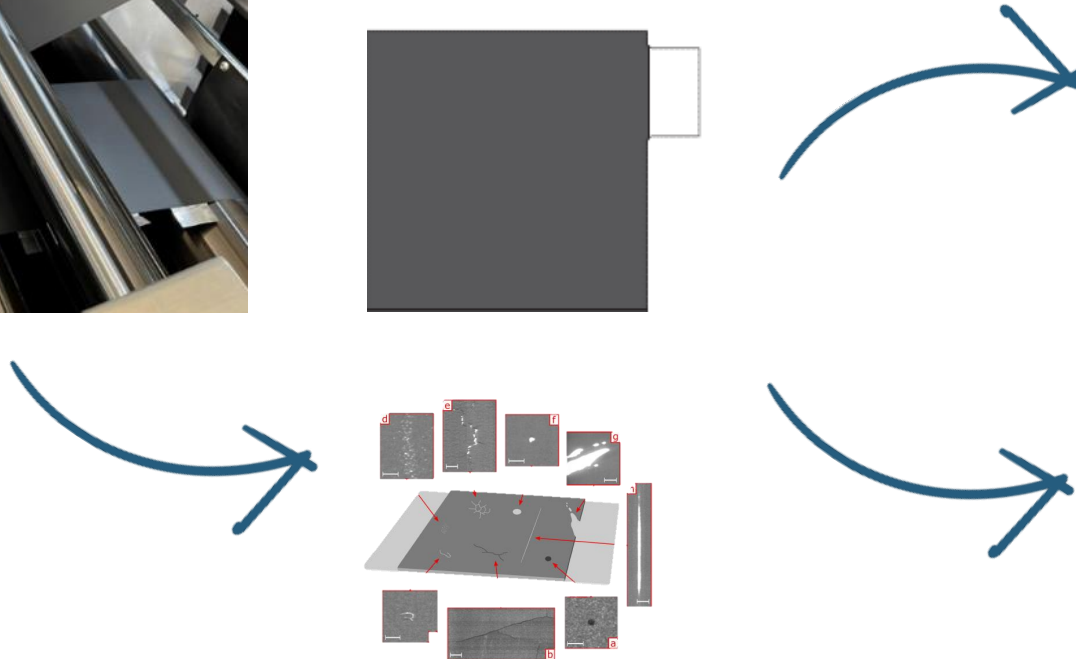
Prüfobjekt



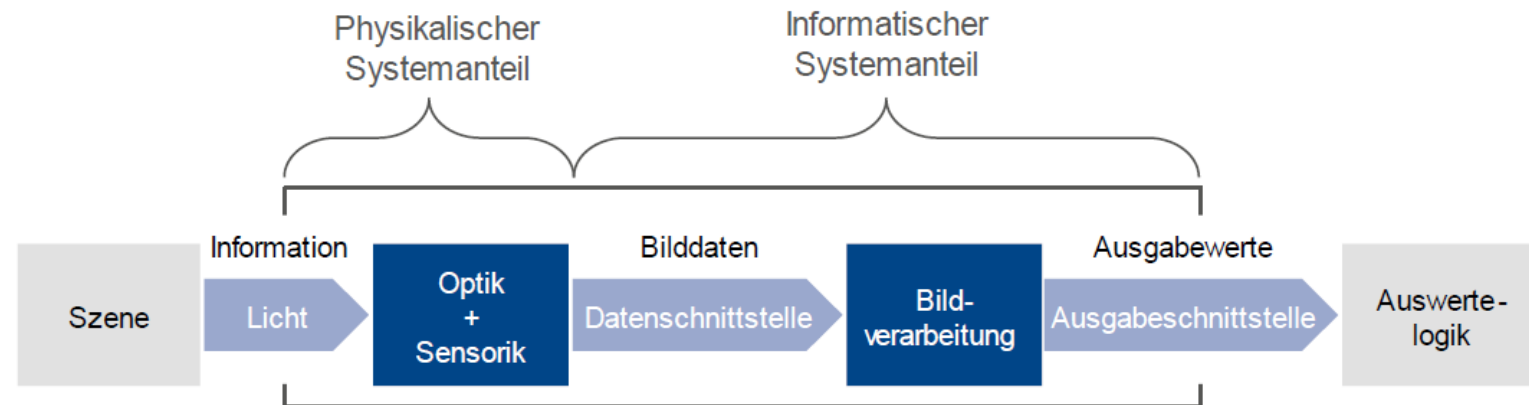
Spezifikation  
Nennwert & Toleranz



Prüfmittel  
Prüfprozess



# Komponenten eines Machine Vision Systems



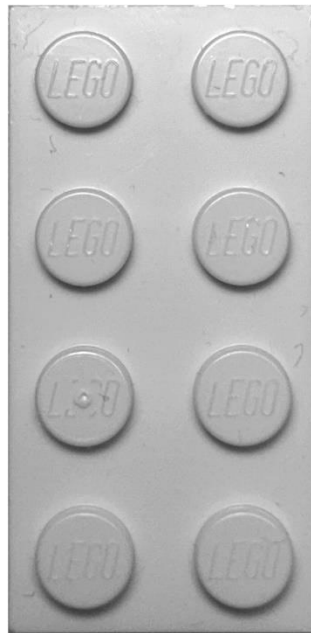
Quelle: VDA Band 5.3



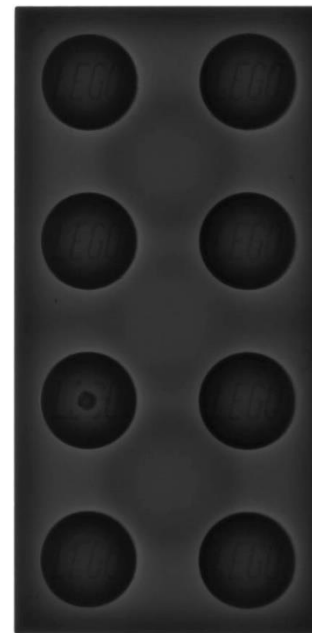
# Licht als Träger der Information



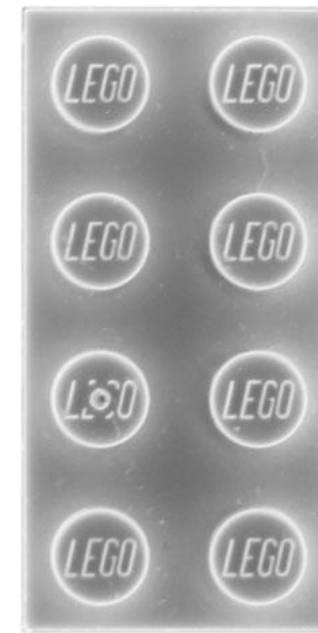
Frontlicht



Rücklicht

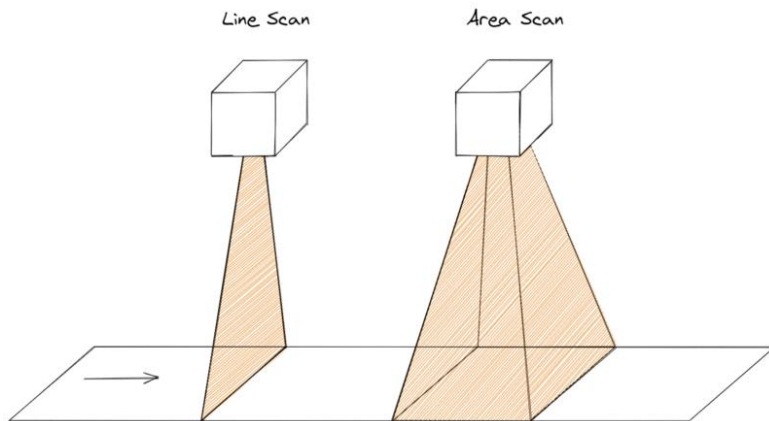


Ringlicht

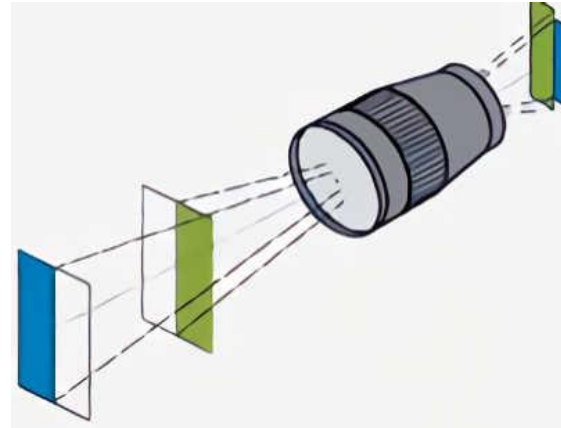


# Komponenten eines Machine Vision Systems

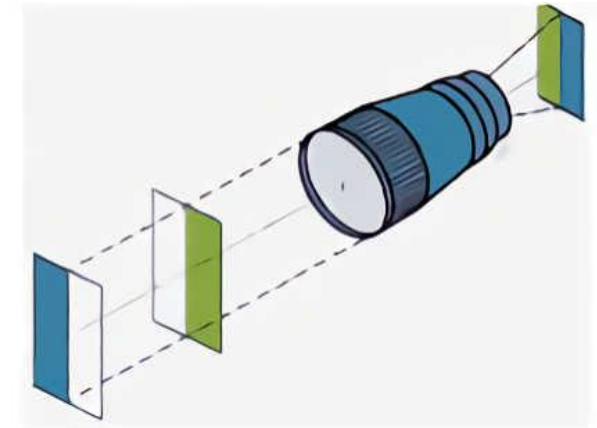
## Sensor und Objektiv



Quelle: ML6, info@ml6.eu



Standard Objektiv

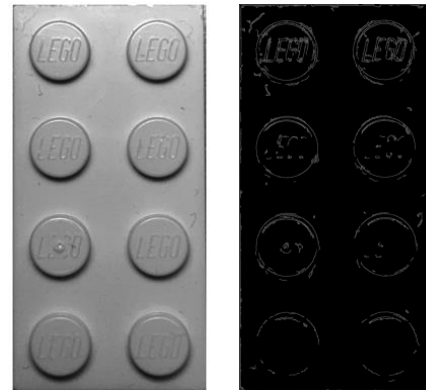


Telezentrisches Objektiv

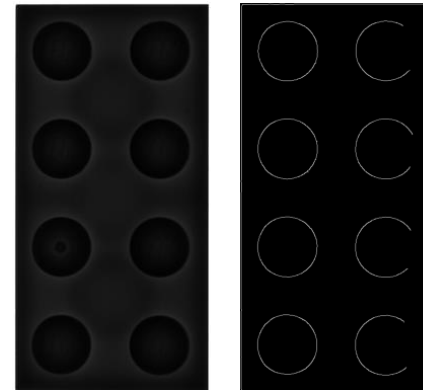
# Software zur Bild(vor-)verarbeitung



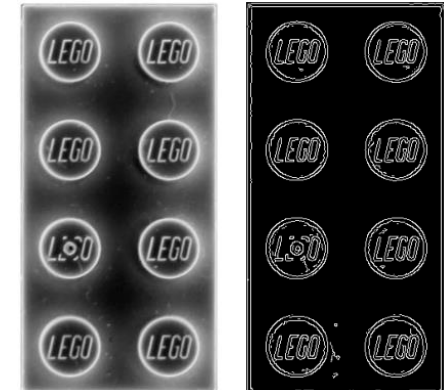
Frontlicht



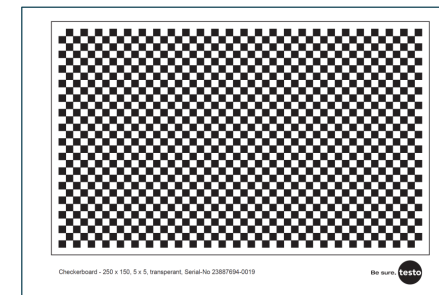
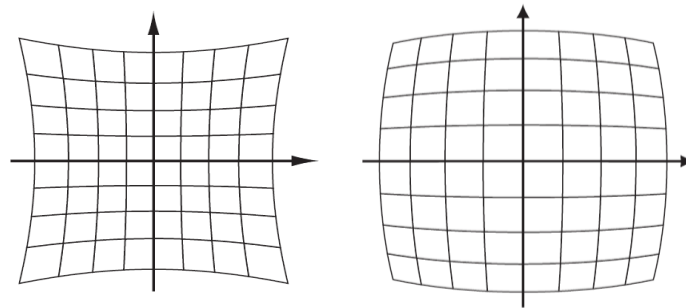
Rücklicht



Ringlicht

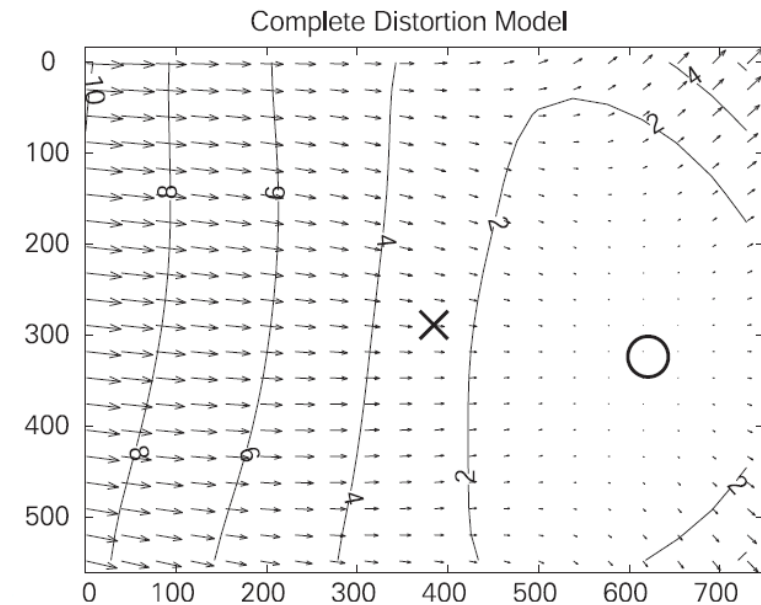
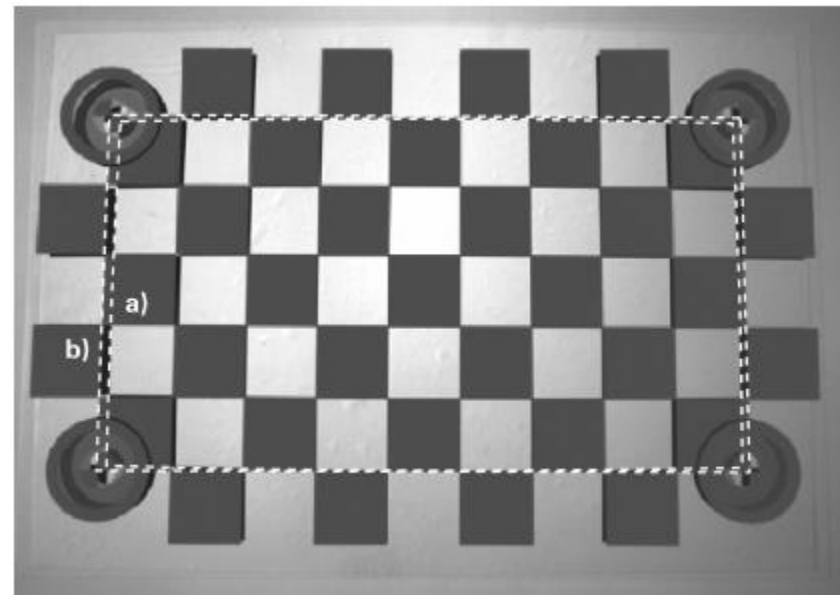


# Kalibrierung und Justage der CCD-Kamera – 2-dimensionale Linearisierung (Distorsionskorrektur)



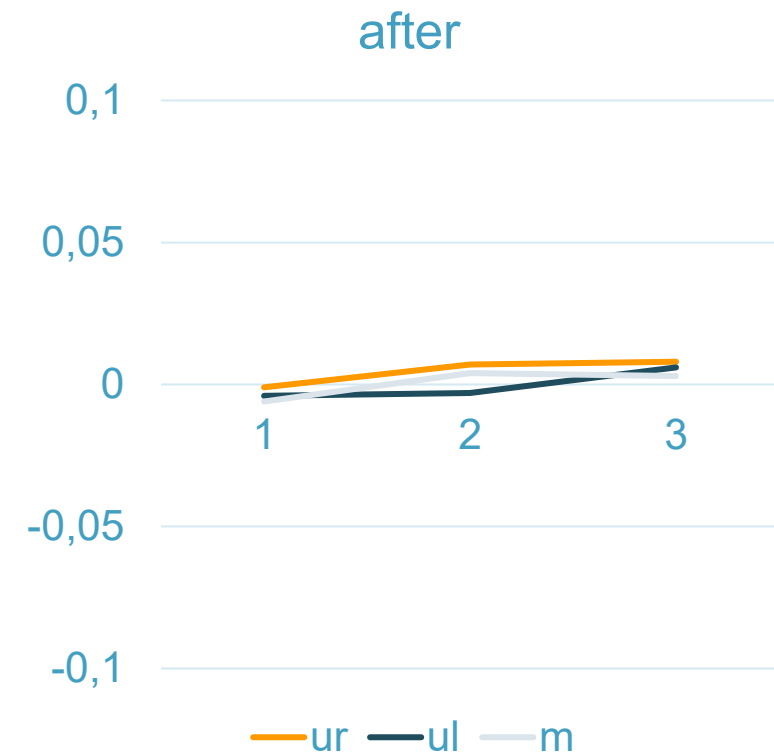
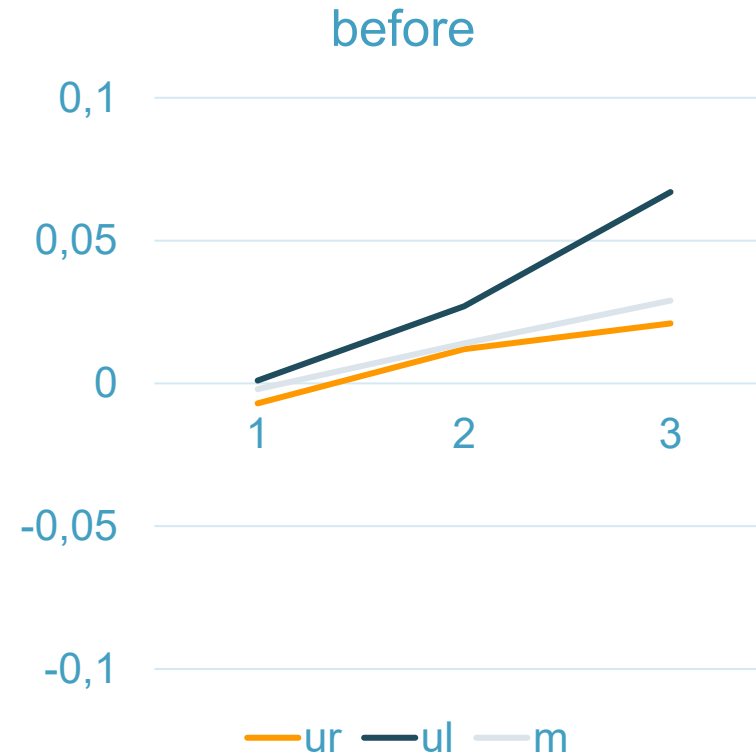


# Kalibrierung und Justage – 2-dimensionale Linearisierung (Distorsionskorrektur)

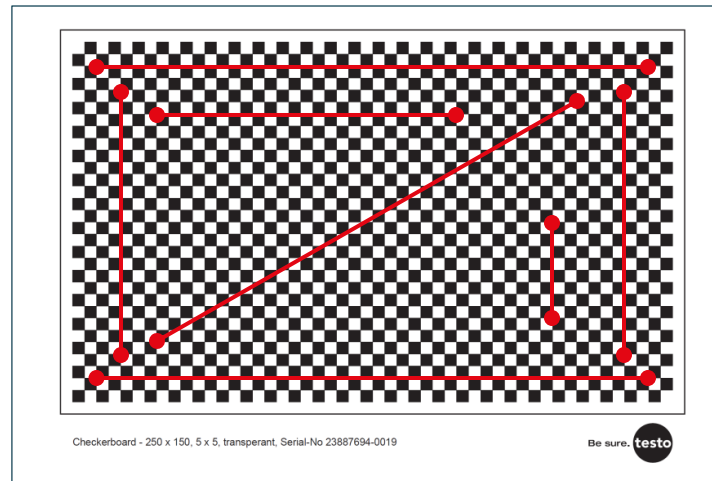


Ausgleich der Distorsion. (a) Verzerrt (b) Unverzerrtes Bild

# Abschließende Kalibrierung mit Kalibrierzertifikat Ergebnisse vor und nach der Distorsionskorrektur

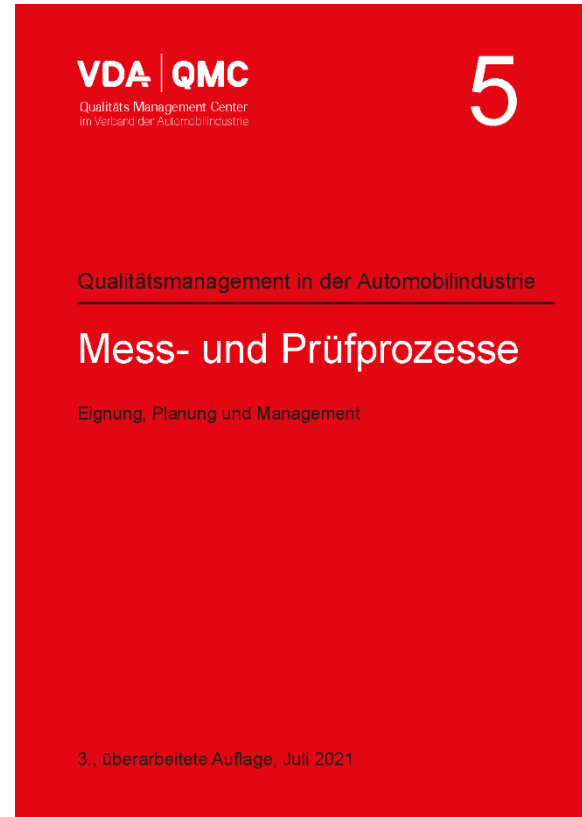


# Abschließende Kalibrierung mit Kalibrierzertifikat



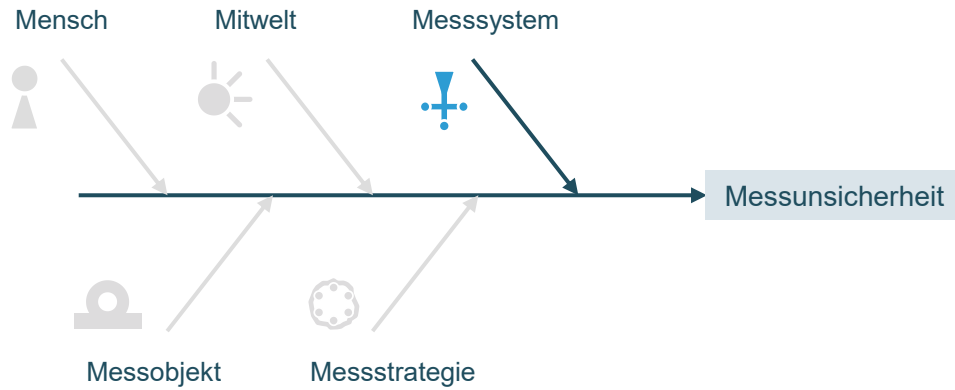
Calibration certificate Kalibrier-Zertifikat		DE6141090011
Object Gegenstand	Camera SD CAM1	Lenze SD CAM1
Manufacturer Hersteller	Teledyne DALSA	MORITEX
Type description Typ	LA-CM-08K08A-00-R	ML-5540-62M35
Serial no. Serien Nr.	12214863	62048504
Inventory no. Inventar Nr.	---	---
Test equipment no. Prüfmittel Nr.	---	---
Equipment no. Equipment Nr.	15715917	15715919
Location Standort	F1.C1.NS.CNO09	F1.C1.NS.CNO09
Customer Auftraggeber	Northvolt Ett AB	
Customer ID no. Kunden Nr.	10005056	
Order no. Auftrags Nr.	12344004	
Date of calibration Datum der Kalibrierung	20.05.2024	
Date of the recommended re-calibration Datum der empfohlenen Rekalibrierung	20.05.2025	
Conformity statement Konformitätsaussage	Pass	
<p>Herewith we confirm that the performing calibration laboratory is working with a management system according to <b>ISO 9001:2015</b> and <b>DIN EN ISO/IEC 17025:2018</b>. Accreditation certificates can be found under <a href="http://www.testo.de">www.testo.de</a>. The measuring installations used for calibration are regularly calibrated and traceable to the national standards of the German Federal Physical Technical Institute (PTB) or other national standards. Should no national standards exist, the measuring procedure corresponds with the technical regulations and norms valid at the time of the measurement. The documents established for this procedure are available for viewing. All the necessary measured data can be found on this calibration certificate.</p> <p>Hiermit bestätigen wir, dass das durchführende Kalibrierlabor ein Managementsystem nach <b>ISO 9001:2015</b>, sowie <b>DIN EN ISO/IEC 17025:2018</b> eingeführt hat. Die Urkunden finden Sie auf <a href="http://www.testo.de">www.testo.de</a>. Die für die Kalibrierung verwendeten Messanrichtungen werden regelmäßig kalibriert und sind rückführbar auf die nationalen Normale der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) Deutschlands oder auf andere nationale Normale. Wo keine nationalen Normale existieren, entspricht das Messverfahren den derzeit gültigen technischen Regeln und Normen. Die für diesen Vorgang angefertigte Dokumentation kann eingesehen werden. Alle erforderlichen Messdaten sind in diesem Kalibrier-Zertifikat aufgeführt.</p> <p>The expanded uncertainty of measurement was calculated according to EA-4/02 M:2022 with a coverage probability of about 95% and contains the uncertainty of the reference, the uncertainty of the method and the uncertainty of the test specimen. The conformity statement is made according to the decision rule "confidence level 50". Die erweiterte Messunsicherheit wurde nach EA-4/02 M:2022 mit einer Überdeckungswahrscheinlichkeit von etwa 95% berechnet und enthält die Unsicherheit der Referenz, des Verfahrens sowie die Unsicherheit des Prüflings. Die Konformitätsaussage erfolgt nach der Entscheidungsregel "Vertrauensniveau 50".</p> <p>This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid. Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig wiederverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.</p>		
Seal Stempel	Supervisor Fachverantwortlicher	Technician Arbeiter
Date/Time Datum/Zeit 24. Mai 2024 11:44:00	 Mario Meister	 Janneke Martens
<p>Testo Industrial Services GmbH      Gewertestraße 3      Tel. +49 7861 90001-8000      www.testo.de      Page 1/2 79199 Kirchzarten      Fax ---      info@testo.de</p>		

# Eignung von optischen Sensoren und Bildverarbeitungssystemen nach VDA 5.3





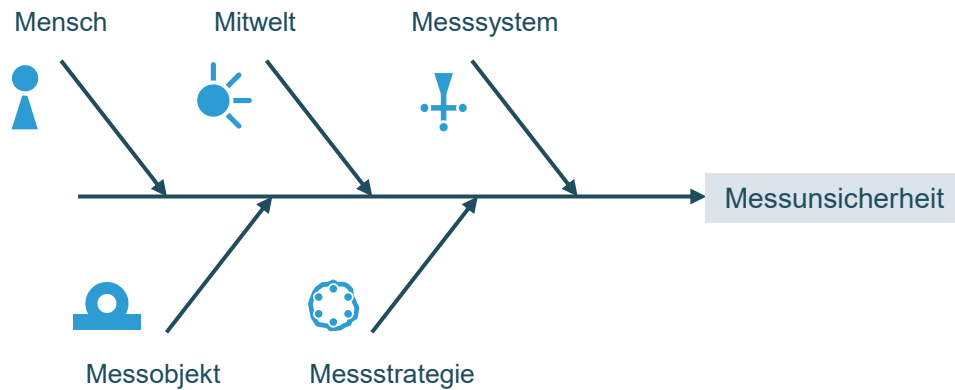
## 2-stufige Messsystemanalyse (Eignungsnachweis)



Messsystemeignung  $Q_{MS}$



30x



Messprozesseignung  $Q_{MP}$

25 „Abschnitte“

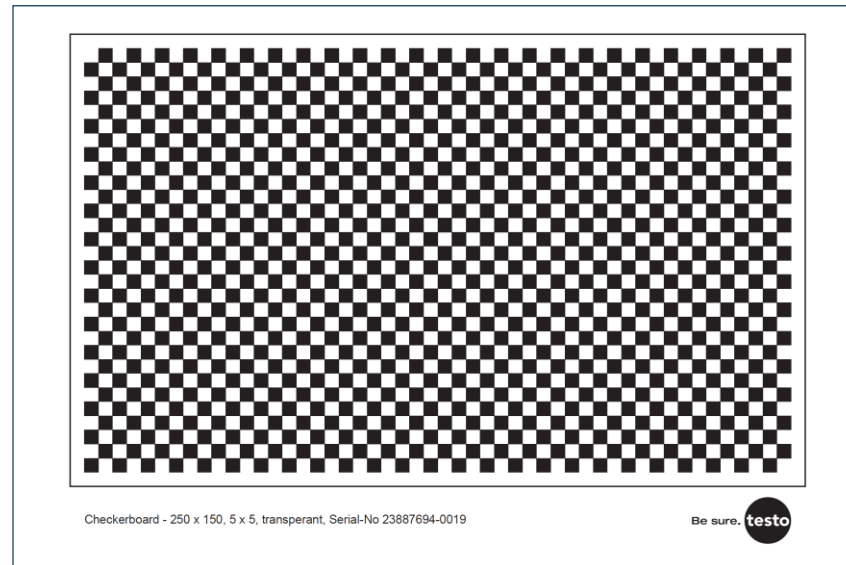


2 mal

$\Sigma 50x$



# Typ 1 Studie – Verwendung von Machine Vision Referenzen



Kalibrierfolie



Individuelle Referenz

Kalibrierlaboratorium für elektrische, mechanische, dimensionale, thermodynamische, analytische  
und Durchfluss-Messgrößen  
Calibration laboratory for electrical, mechanical, dimensional, thermodynamic, analytical and flow rate measured quantities

**testo**

**Kalibrierschein / Calibration Certificate**

erstellt durch das Kalibrierlaboratorium  
issued by the calibration laboratory

Testo Industrial Services GmbH  
Gewerbestraße 3  
79199 Kirchzarten

Kalibrierzeichen  
Calibration mark

MUSTER  
DIN  
18759-01-01  
2020-04

Gegenstand Object	Bügelmeßschraube	Dieser Kalibrierschein dokumentiert die repräsentative Rückführbarkeit auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Überbereinbarung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI). Die (DAK) ist Teilnehmer der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine. Für die Erteilung einer entsprechenden Freigabe zur Verwendung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.  This calibration certificate documents the representational traceability to national standards which relate the units of measurement according to the International System of Units (SI). The (DAK) is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and of the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates. The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.
Hersteller Manufacturer	Mitutoyo Deutschland GmbH	
Typ Type	293-697 N Quick	
Fabrikat/Serien Nr. Serial number	—	
Equipment Nr. Equipment number	12345678	
Prüfmittel Nr. Test equipment no.	12301230	
Auftraggeber Customer	Musterfrau GmbH DE-12345 Musterstadt	
Auftragsnummer Order No.	123456 / 0520 4480	
Datum der Kalibrierung Date of calibration	01.04.2020	
Datum der Rekalibrierung Date of re-calibration	01.04.2021	
Konformitätsaussage Statement of conformity	<input checked="" type="checkbox"/> Messwert(e) innerhalb der zulässigen Abweichung (Measured value(s) within the allowed deviation)	
Detaillierte Informationen auf Seite 4 Detailed information see page 4	<input type="checkbox"/> Messwert(e) außerhalb der zulässigen Abweichung (Measured value(s) outside the allowed deviation)	

Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig und unverändert weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums.  
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory.

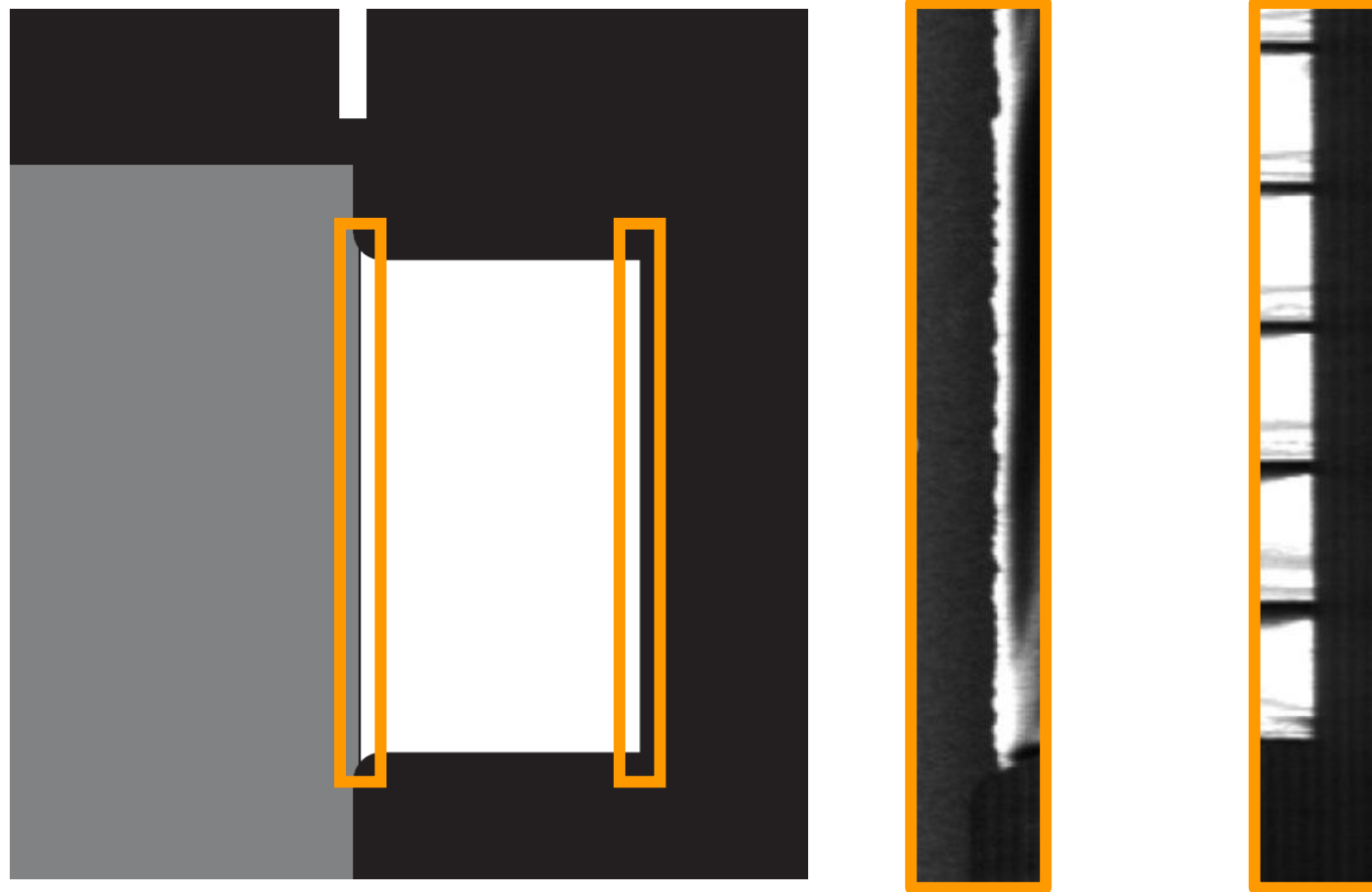
Unterschrift  
Date

01.04.2020

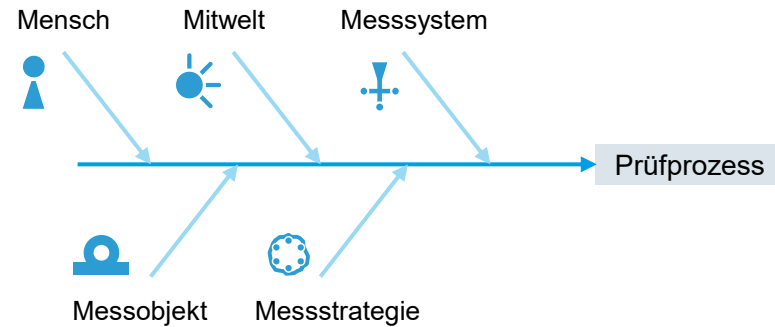
Max Mustermann  
Martina Musterfrau

Testo Industrial Services GmbH Gewerbestraße 3 Tel. +49 7651 90001-8000 www.testo.de  
79199 Kirchzarten Fax +49 7651 90001-4010 info@testo.de 14

## Typ 3 Studie – Einfluss des Prüfobjekts



# Nachweis der Messprozesseignung



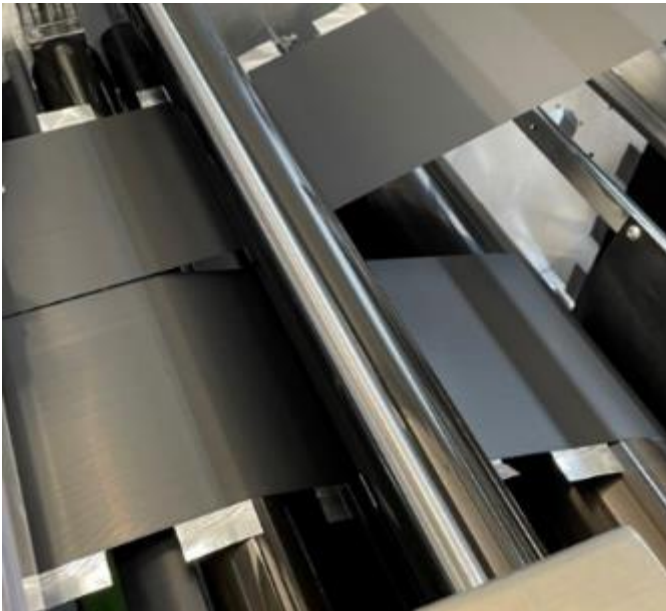
Be sure. testo		Prüfprozesseignung VDA 5			Seite 1 / 5	
Datum/Zeit	28.07.2025	Bearb. Name	Frank Platte	Bereich	Consulting	Abt./Inst./Prod.
Teil		Prüfeinrichtung		Merkmal		
Teilbez.	Legu brick	Prüf. Bez.	Mitoyo micrometer	Einflussgr.	width of the Lego brick	
Teilnr.	47110815	Prüf. Nr.	11471508	Merkm. Nr.	1	
Doku. pflicht	nein	Prüf. Org.		Nennm.	15,800	Einh. mm
Zeichen. Nr.		Prüf. Ort	Aachen, HO	U	15,800	O. Abm. 0,200
Zeichen. Änd.		Auflösung	0,01	L	15,800	U. Abm. -0,200
Bemerkung						
Teil						
Bemerkung						
Merkmal						
Messsystem						
Toleranz	T	=	0,400			
Auflösung	%RE	=	2,50%	0 5		
Kombinierte Standardunsicherheit	U <sub>MS</sub>	=	0,00724			
Erweiterte Messunsicherheit	U <sub>MS</sub>	=	0,0151			
Eignungsgrenzwert	Q <sub>MS,max</sub>	=	15,00%			
Eignungskennwert	Q <sub>MS</sub>	=	7,56%	0 15		
minimale Toleranz	T <sub>MS,min</sub>	=	0,201			
Messsystem fähig (%RE,min,QMS,QMP)						
Messprozess						
Kombinierte Standardunsicherheit	U <sub>MP</sub>	=	0,0174			
Erweiterte Messunsicherheit	U <sub>MP</sub>	=	0,0349			
Eignungsgrenzwert	Q <sub>MP,max</sub>	=	30,00%			
Eignungskennwert	Q <sub>MP</sub>	=	17,46%	0 30		
minimale Toleranz	T <sub>MP,min</sub>	=	0,233			
Messprozess fähig (%RE,min,QMS,QMP)						
© Testo Labortechnik V01 (2025-02); VDA 5 / ISO 22514-7						
Schutzabstand (Annahme)				Schutzabstand (Rückweisung)		
Konformitätswahrscheinlichkeit P <sub>A</sub>	=	95,45	Nichtkonformitätswahrscheinlichkeit P <sub>R</sub>	=	95,45	
Schutzabstandsfaktor (Annahme) g <sub>A</sub>	=	1,650	Schutzabstandsfaktor (Rückweisung) g <sub>R</sub>	=	1,650	
Schutzabstand (Annahme) g <sub>L,AN</sub>	=	0,0294	Schutzabstand (Rückweisung) g <sub>L,R</sub>	=	0,0294	
Obere Annahmegrenze U <sub>A</sub>	=	15,97	Obere Rückweisergrenze U <sub>R</sub>	=	16,03	
Untere Annahmegrenze L <sub>A</sub>	=	15,83	Untere Rückweisergrenze L <sub>R</sub>	=	15,57	
2024.2.TIS_VDA5_QMP_V1+V2.3_V1.0.def						
Testo Industrial Services GmbH						
VDA5_47110815_Legu_brick.dtg						
Name des Erstellers		Freigabe		Ort		Datum



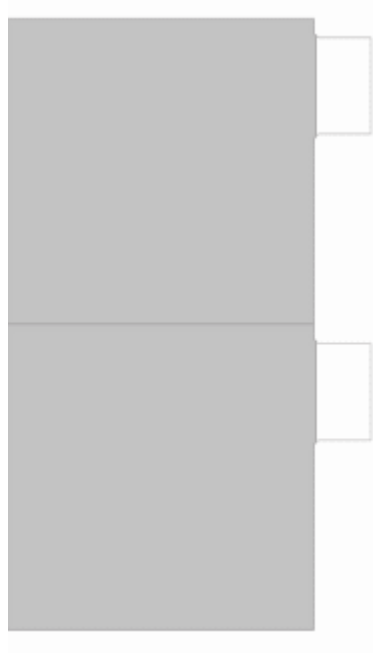
# Ableiten qualitätsrelevanter Merkmale



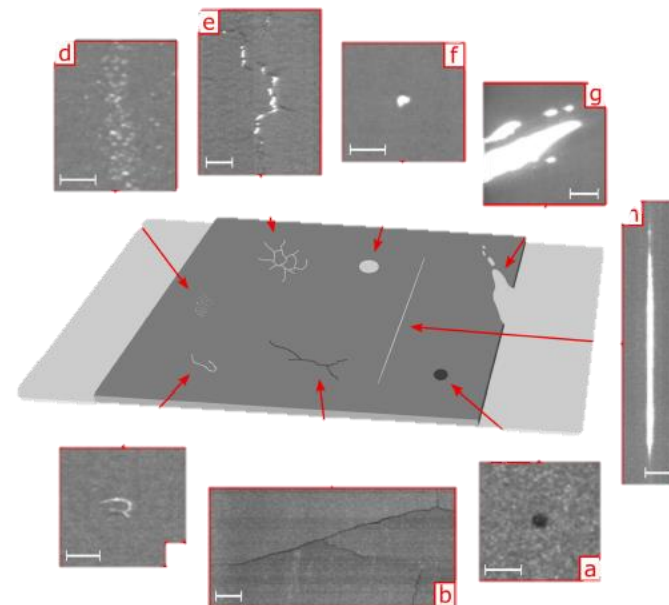
Herstellungsprozess –  
Slitten und Tab freistellen



Messung der  
Geometrie

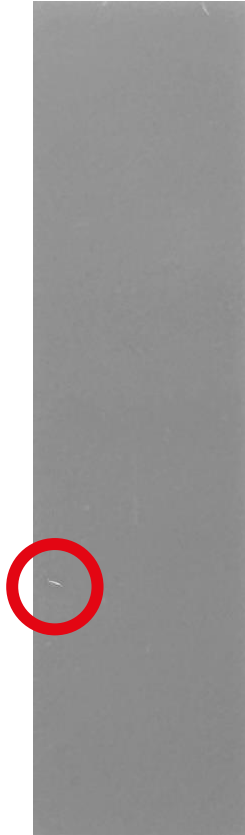


Detektion von  
Defekten



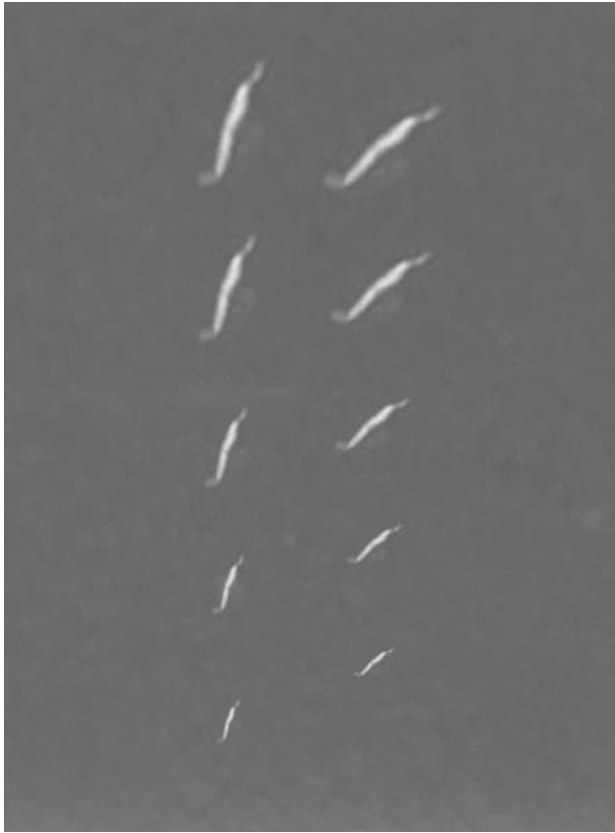
# Eignungsnachweis bei Fehlerdetektion

## Beispiel Beschichtungsfehler

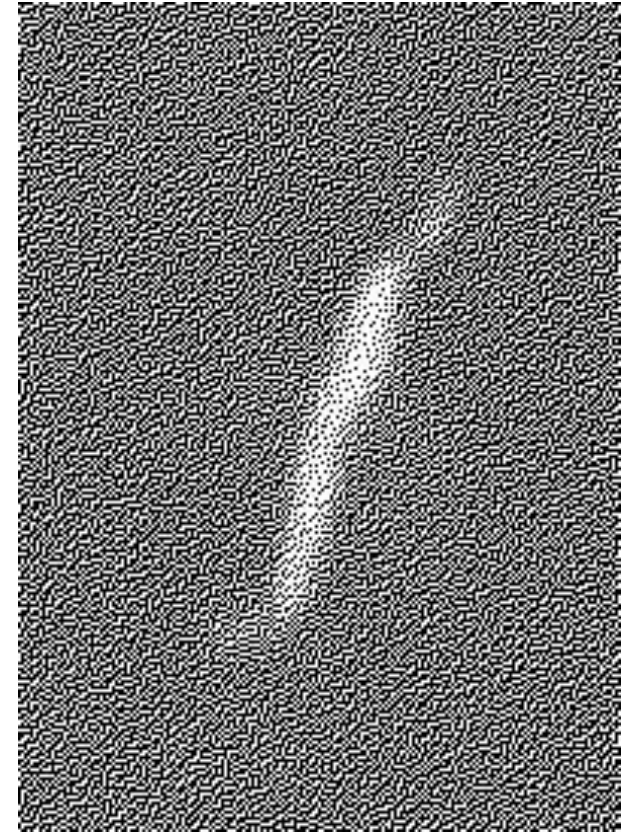
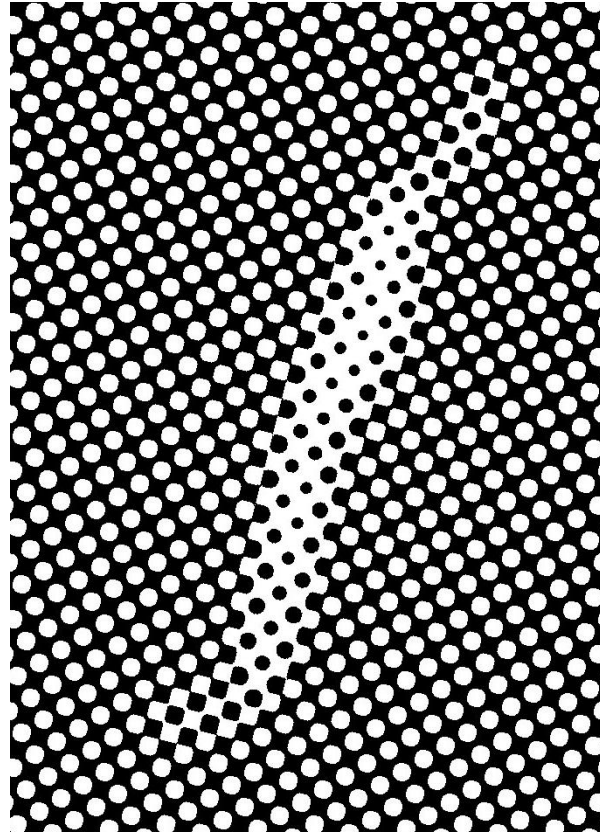


# Simulation von Defekten (digital und gedruckt)

Amplitudenmoduliertes Raster



Frequenzmoduliertes Raster



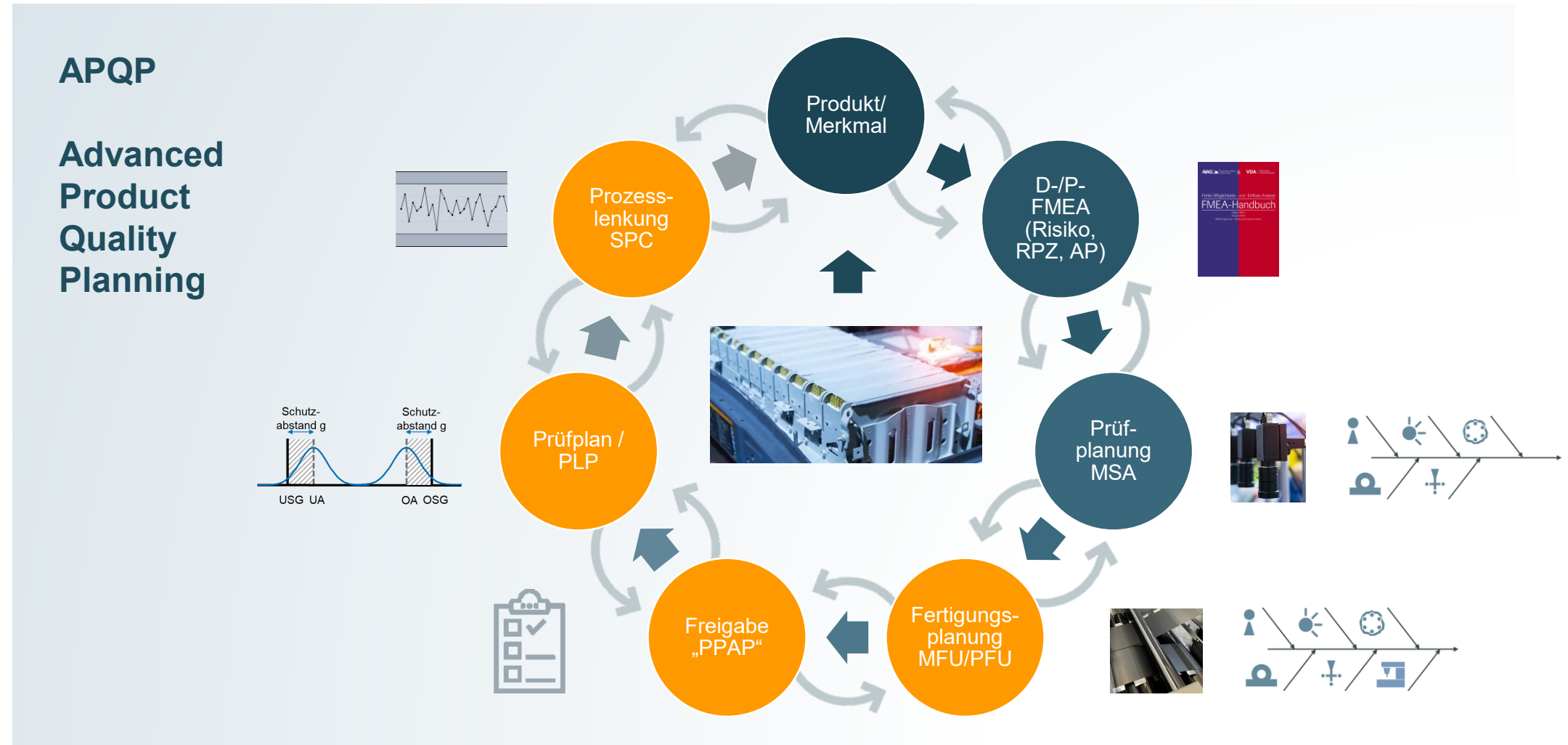
# Nachweis der Eignung bei Verwendung von Machine Learning Algorithmen



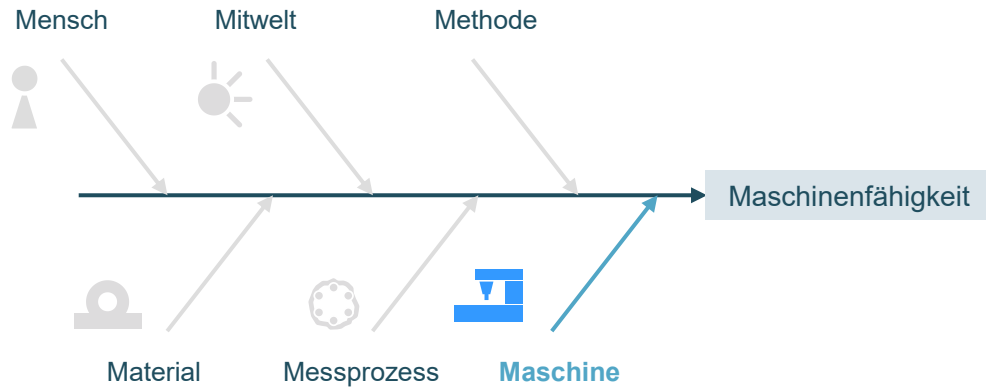
Der Nachweis der Prüfprozeesseignung muss für einen definierten „Lernstand“ des Algorithmus durchgeführt werden.



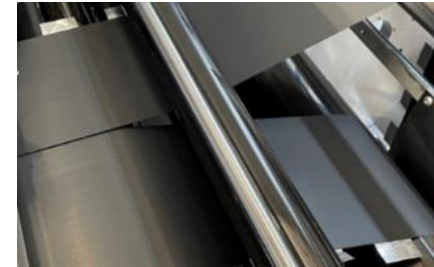
# SPC als Bestandteil der Automotive Core Tools



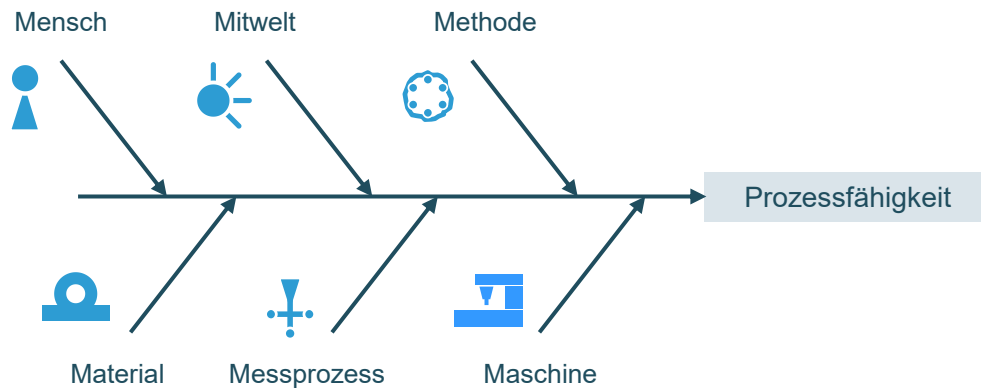
# Maschinenfähigkeitsuntersuchung MFU & Prozessfähigkeitsuntersuchung PFU



## Maschinenfähigkeitsuntersuchung MFU



25x



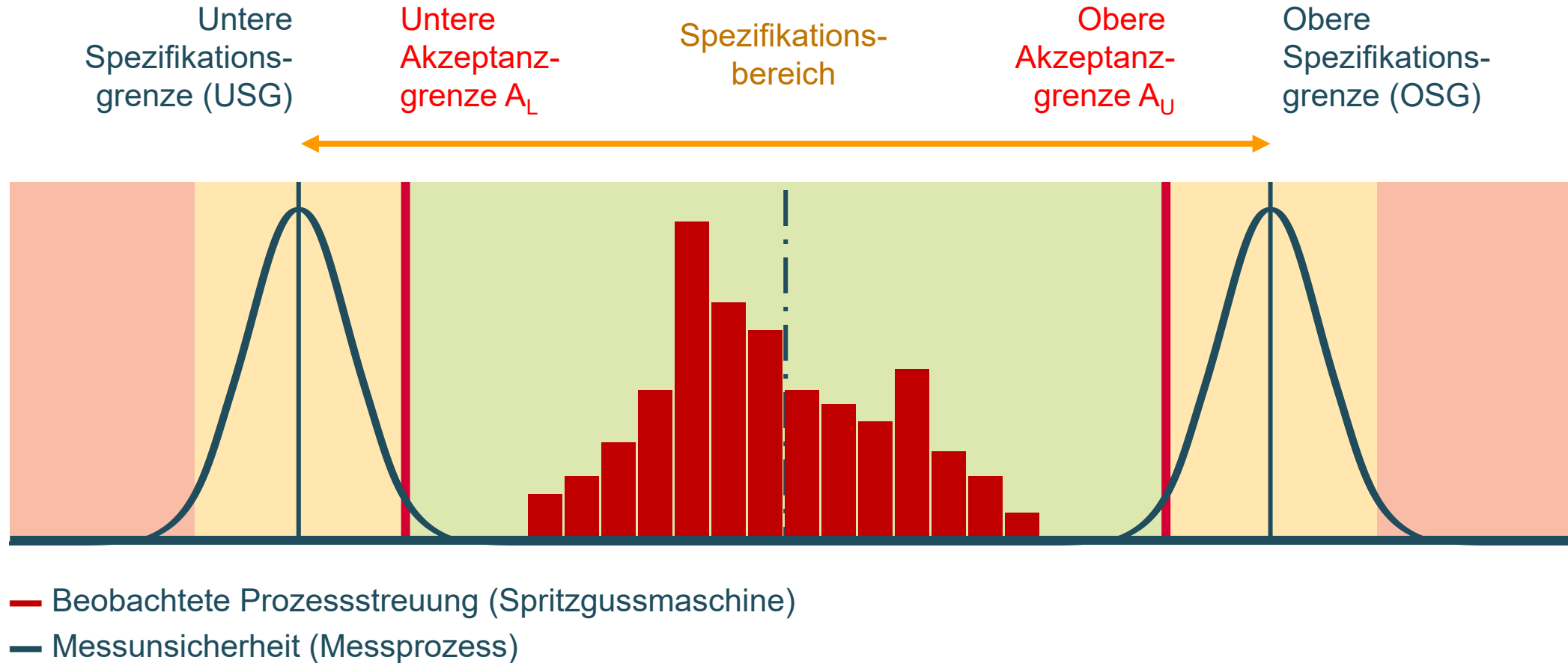
## Prozessfähigkeitsuntersuchung PFU



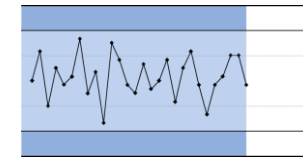
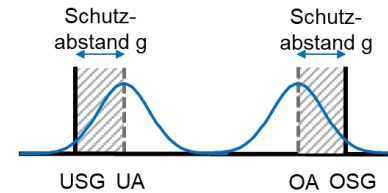
$\Sigma 125x$



# Einfluss der Messunsicherheit auf die Fertigung



# Ergebnis Produktionslenkungsplan / Prüfplan



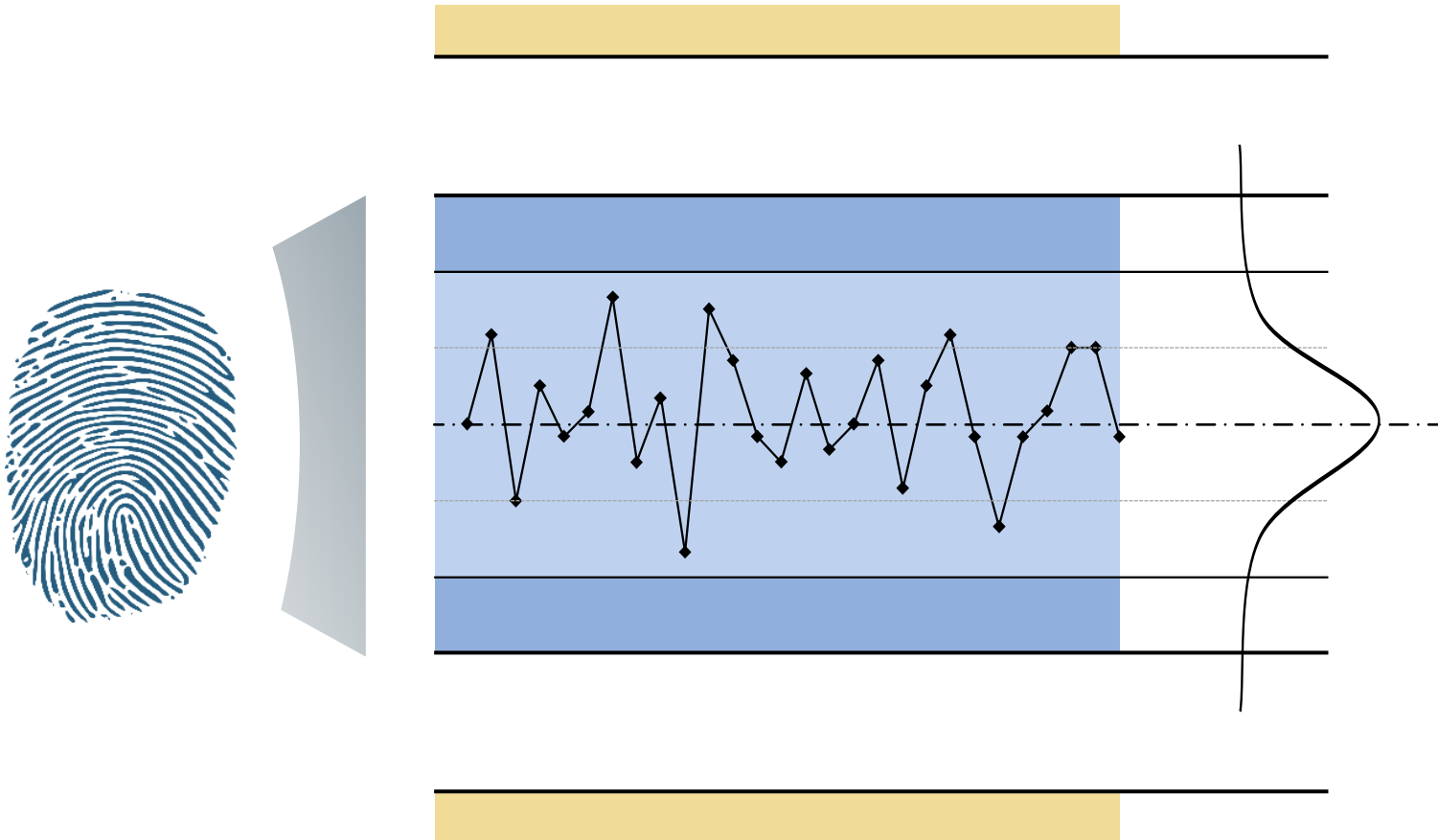
Arbeits-schritt	...	Prüf-merkmal	Prüf-mittel	Prüf-anweisung	Risiko-bewertung	Eignungs-nachweis	USG	UA	OA	OSG	Stich-probe	UEG	OEG	Reaktions-plan
3.75	...	Durch-messer	<a href="#">KA1234</a>	<a href="#">PR1234</a>	<a href="#">hoch</a>	<a href="#">EN1234</a>	4,7 mm	4,783 mm	5,218 mm	5,3 mm	100%	4,95 mm	5,12 mm	<a href="#">RE1234</a>



Auflösung	Toleranz (OSG-USG)	Auflösung zur Toleranz [%]	Grenzwert [%]	Bewertung
0,01 mm	0,6 mm	1,7%	2,5 %	⊕
Einflussgröße		Formel	Standardunsicherheit	Rang
Auflösung	$u_{RE}$	$u_{RE} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{RE}{2} = \frac{RE}{\sqrt{12}}$	0,003 mm	3
Kalibrierunsicherheit	$u_{CAL}$	Datenblatt	0,0025 mm	4
Wiederholungsunsicherheit	$u_{EVR}$	$u_{EVR} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\Delta x_i - \bar{\Delta x})^2}$	0,018 mm	1
Systematische Abweichung	$u_{BI}$	$u_{BI} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot BI$	0,0046 mm	2
Kombinierte Unsicherheit	$u_{MS}$	$u_{MS} = \sqrt{u_{CAL}^2 + \max(u_{RE}^2, u_{EVR}^2) + u_{BI}^2}$	0,019 mm	---
Erweiterte Messunsicherheit	$U_{MS}$	$U_{MS} = 2 \cdot u_{MS}$	0,038 mm	---
Eignungskennwert Eignungsgrenzwert: 15%	$Q_{MS}$	$Q_{MS} = \frac{2 \cdot u_{MS}}{OSG - USG}$	12,5 %	⊕



# Statistische Prozesslenkung mit Regelkarten



Walter Andrew Shewhart,  
18.03.1891 – 11.03.1967



QUALITY | COMPLIANCE MEETS EFFICIENCY

**Begleiten Sie uns auf dem Weg zur  
Leading Quality, Made in Europe**

07.11.2025

[www.testotis.de](http://www.testotis.de)

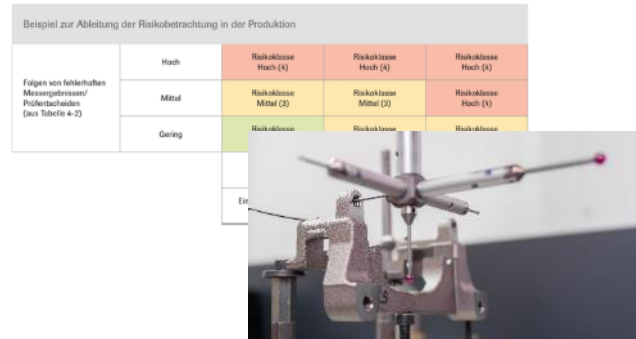
# Schulung und Beratung



## 1 Schulungen

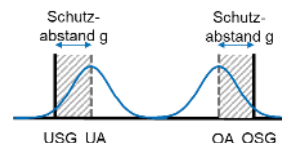


## 2 Pilotprojekte



## 3 Coaching

先生



### Prüfmittelmanagement

Der Prüfmittelbeauftragte (TÜV)

Sicher durch das Audit

Das Kalibrierzertifikat

### Automotive Core Tools

APQP – FMEA, MSA, SPC und PPAP

Statistische Prozesslenkung (SPC)

Messsystemanalyse/Eignungsnachweise (MSA/VDA 5)

### Weitere

Six Sigma

ISO/IEC 17025

ISO 10012