Be sure. testo

Q-DAYS: QUALITÄT. AUSTAUSCH. ZUKUNFT.

Qualifizierung von Machine Vision Systemen zur Qualitätssicherung am Beispiel eines Produktionsanlaufs

07.11.2025

www.testotis.de

DR.-ING. PHILIPP JATZKOWSKI

- Head of Quality Assurance Consulting @ Testo Industrial Services
- pjatzkowski@testotis.de, +49 151 72848406

Be sure. testo

2006 - 2013 WZL | RWTH AACHEN UNIVERSITY

2013 - 04/2023 TÜVRheinland® Precisely Right.

05/2023 - heute
Testo Industrial Services GmbH

2009 - today VDI VDE VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik
VDI Fa. 1.12, “Eignung von Prüfprozessen"

2019 - 2021 VDA Verband der Automobilindustrie
Arbeitsgruppe 5

19 Jahre Qualitätssicherung und Prüfprozessmanagement

Automotive

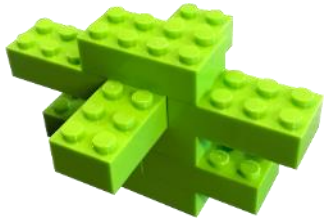
Aerospace

Medical / Pharma

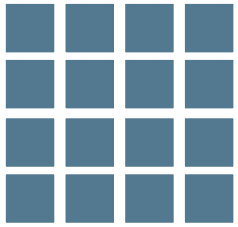
Defence

Qualität sichern und Kosten reduzieren!

Be sure. testo



100%



Fehlerschlupf §€€

Ausschuss €

Pseudoausschuss €

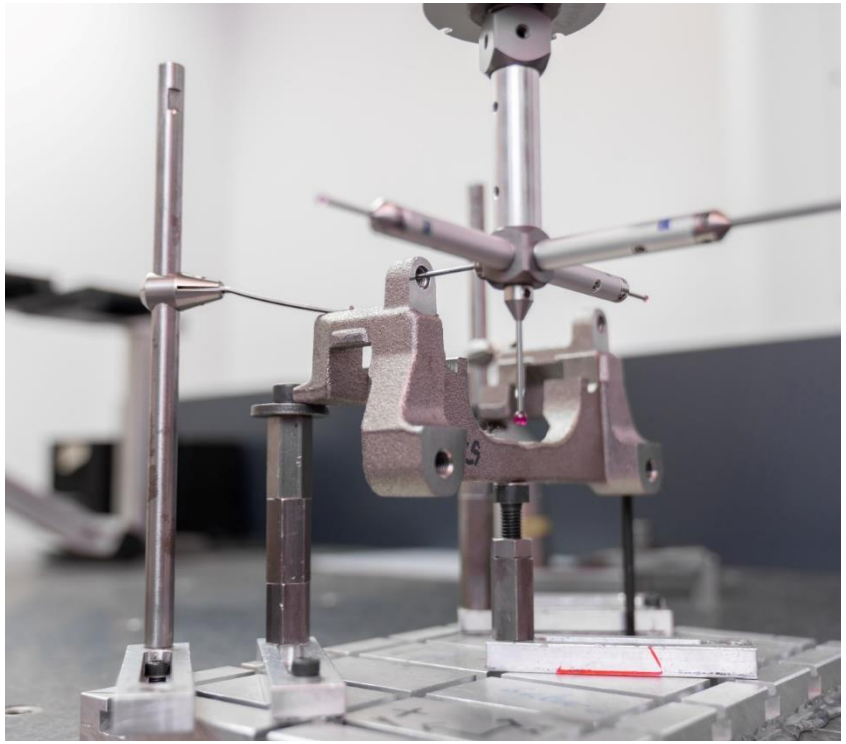
Consulting Quality Assurance

- 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



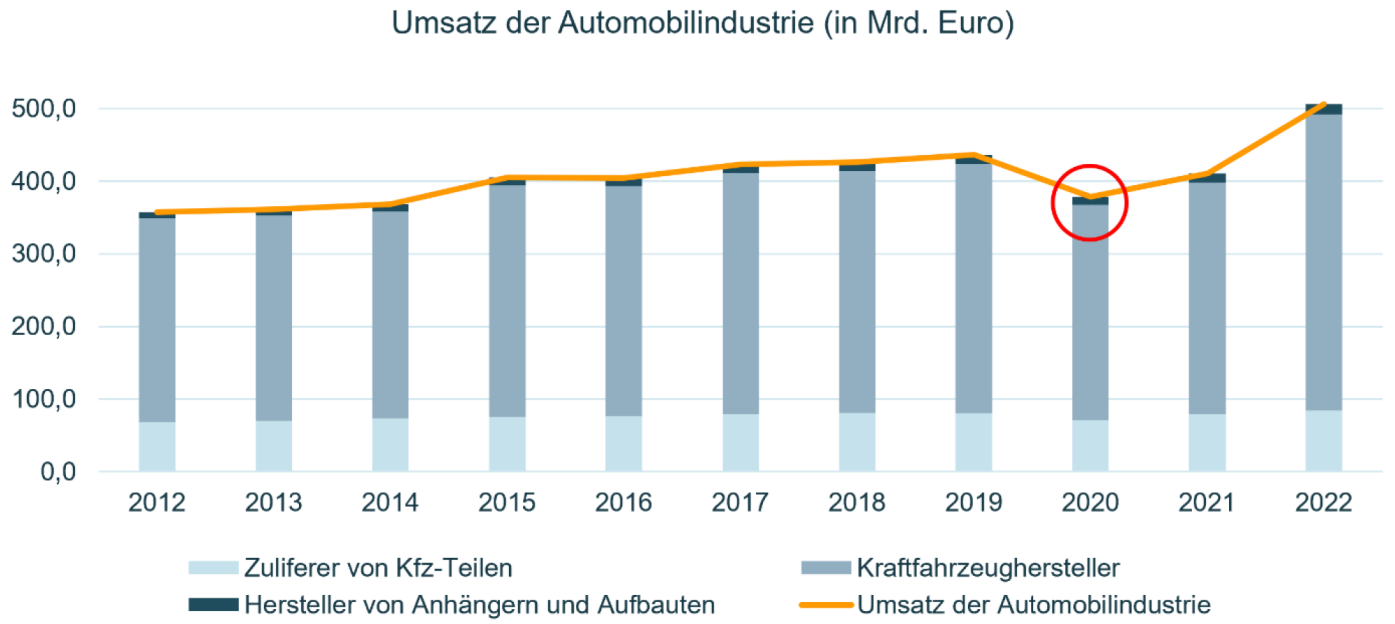
Bedeutung der Automobilindustrie für Europa

Europa

7% des Bruttoinlandsprodukts

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

Deutschland

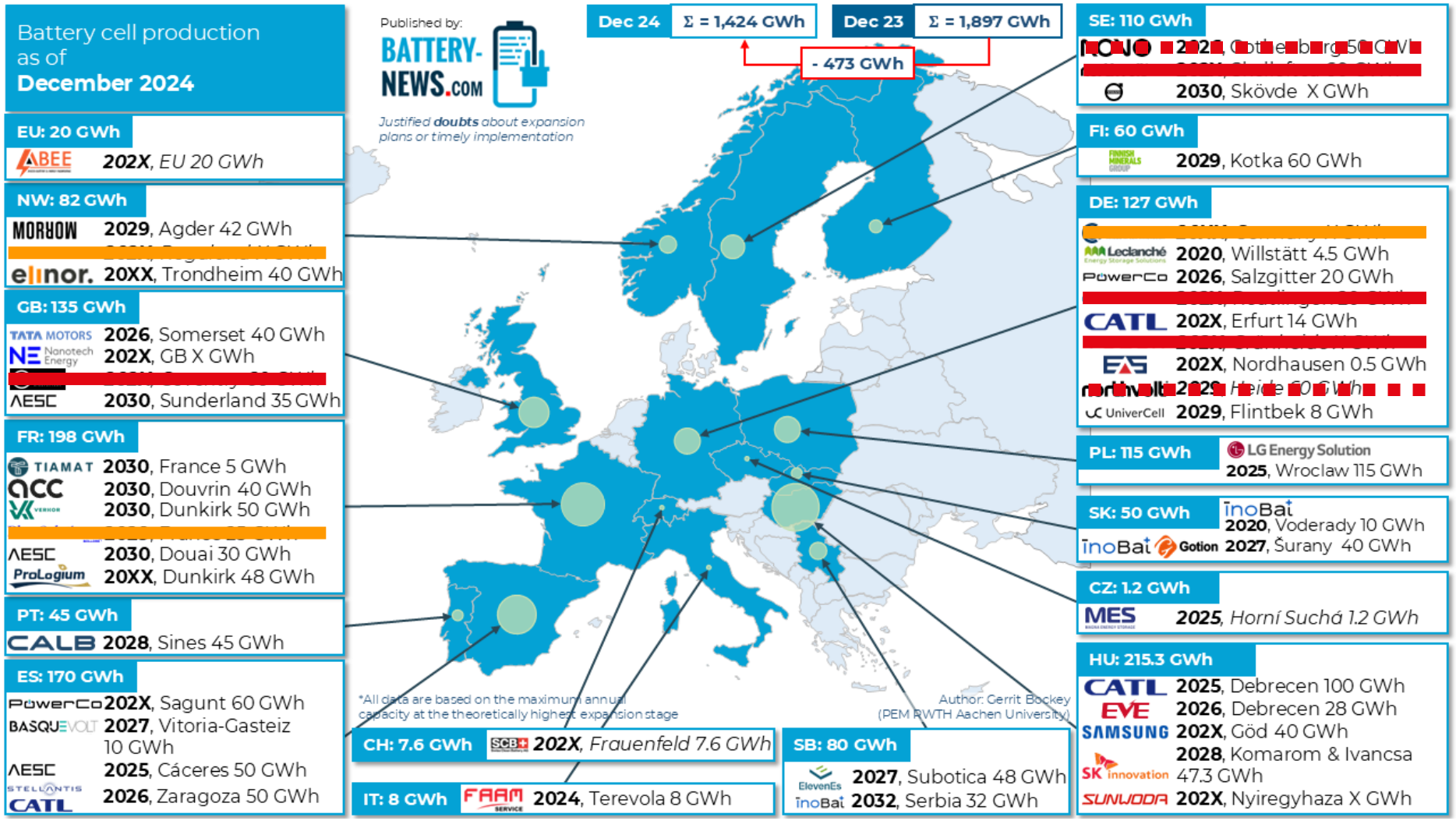


Quelle: BLUEPRINT FOR SECTORAL COOPERATION ON SKILLS, ISBN: 978-92-79-64654-6 © European Union, 2017

Quelle: Statistisches Bundesamt - DESTATIS (2023)

Batterieproduktion in Europa am Scheideweg

Be sure. testo



Statusupdate 12.24→09.25

gestoppt

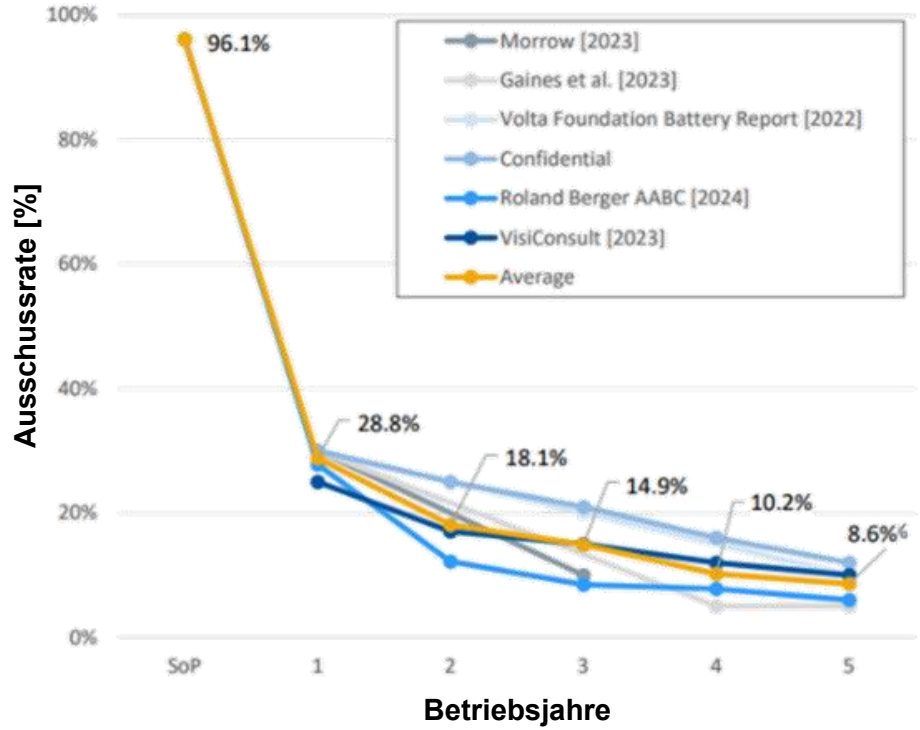
reduziert

Der Ramp-Up Prozess ist der Schlüssel

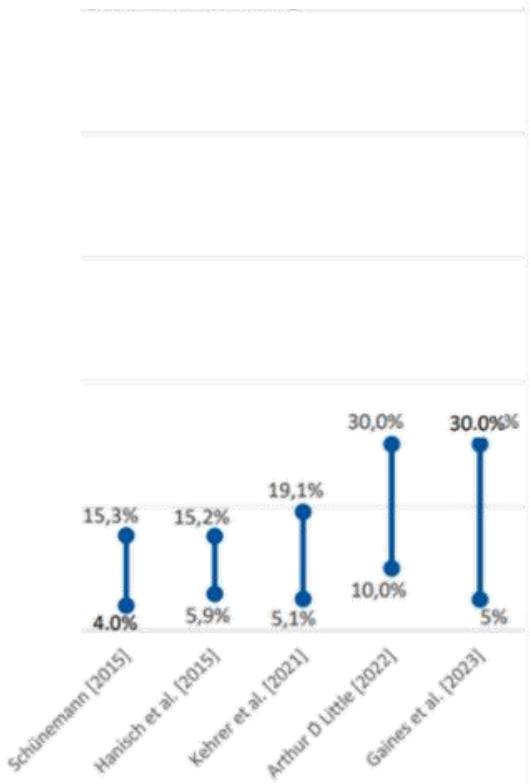
Be sure. testo

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:

2017
Beginn der **Planung** für Northvolt Ett und Forschungszentrum

2018
Beginn des Baus von Northvolt Ett in Skellefteå

2021
Erste Batteriezellen-produktion in Skellefteå

2022
Erste **Zellauslieferung** in Skellefteå
Ankündigung einer **Gigafactory in Heide** mit SoP 2026

2023
Ankündigung einer **Gigafactory in Quebec**, Kanada

- **Entwicklungsverzögerung** von 2 Jahren
- **BMW zieht Bestellung im Wert von 2 Mrd. € zurück**
- Große **Kosteneinsparungen**
- Antrag auf **„Chapter 11 Insolvenzschutz“** in den USA

2024
Northvolt meldet **Insolvenz** in Schweden an

2025
Lyten (USA) übernimmt Northvolt vollständig

2025+

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

PowerCo Verkor acc

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

By the CEOs of Europe's Own Battery Cell Manufacturers

Frank Blome, CEO, PowerCo | Benoit Lemaignan, CEO, Verkor | Yann Vincent, CEO, ACC

Amid global tensions and economic shifts, the President of the European Commission once again convenes stakeholders to discuss the future of the European automotive industry on September 12. As CEOs of battery cell manufacturers with operations in France, Germany, and Spain, we are committed to contributing by **building a resilient, competitive, and sustainable European battery ecosystem**. **But without immediate, targeted support for local production, Europe risks losing its strategic autonomy in a critical 21st-century technology**.

A Strategic Industry Under Threat

Batteries are **central to Europe's automotive sector** and its **transition to zero-emission transport**. They also underpin **European security**. Today, 99 percent of [illegible] by non-European companies, leaving Europe's €800 billion au[illegible] million people—dependent on Asia.

„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."

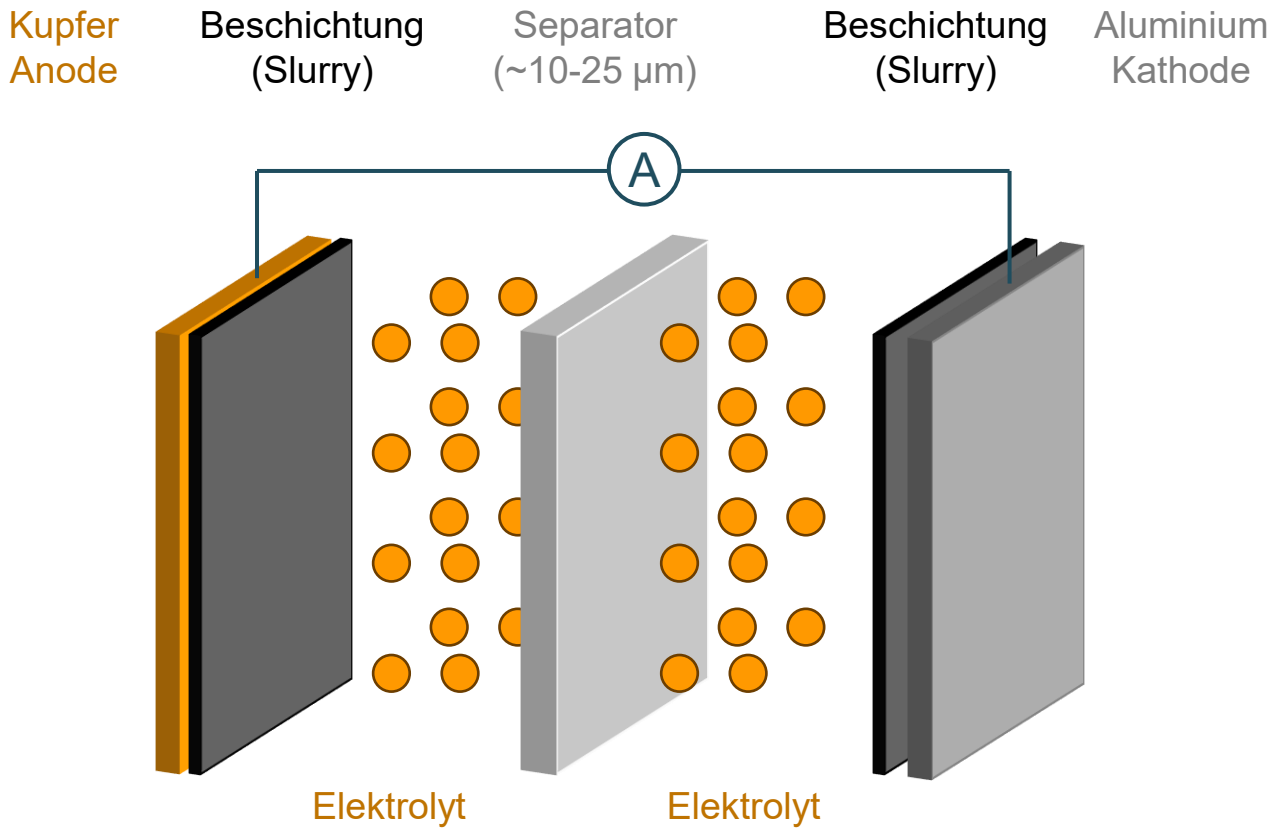
QUALITÄT IN DER BATTERIEPRODUKTION

Produktionsanlauf der Batterieproduktion

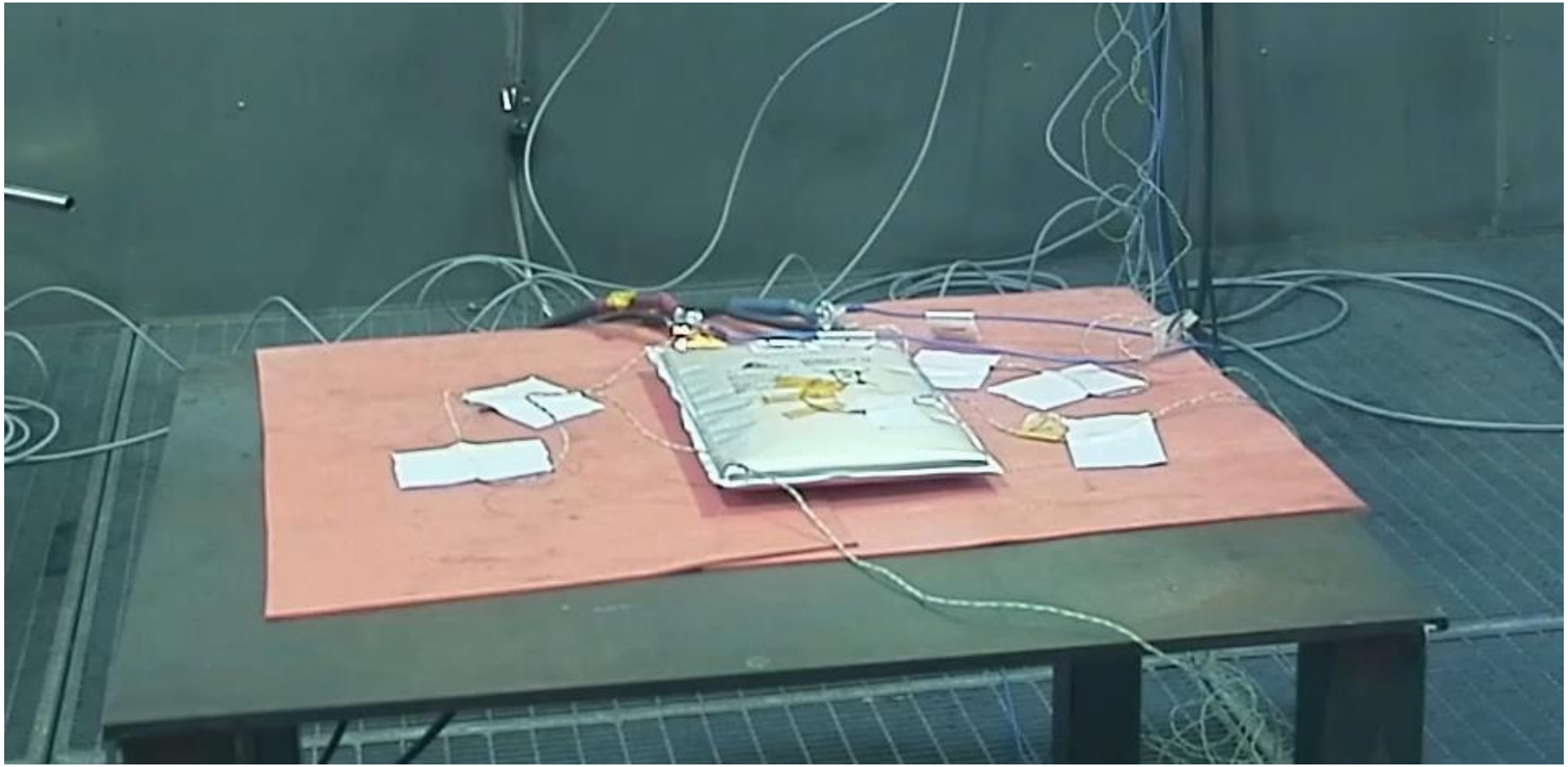
07.11.2025

www.testotis.de

Design einer Batteriezelle



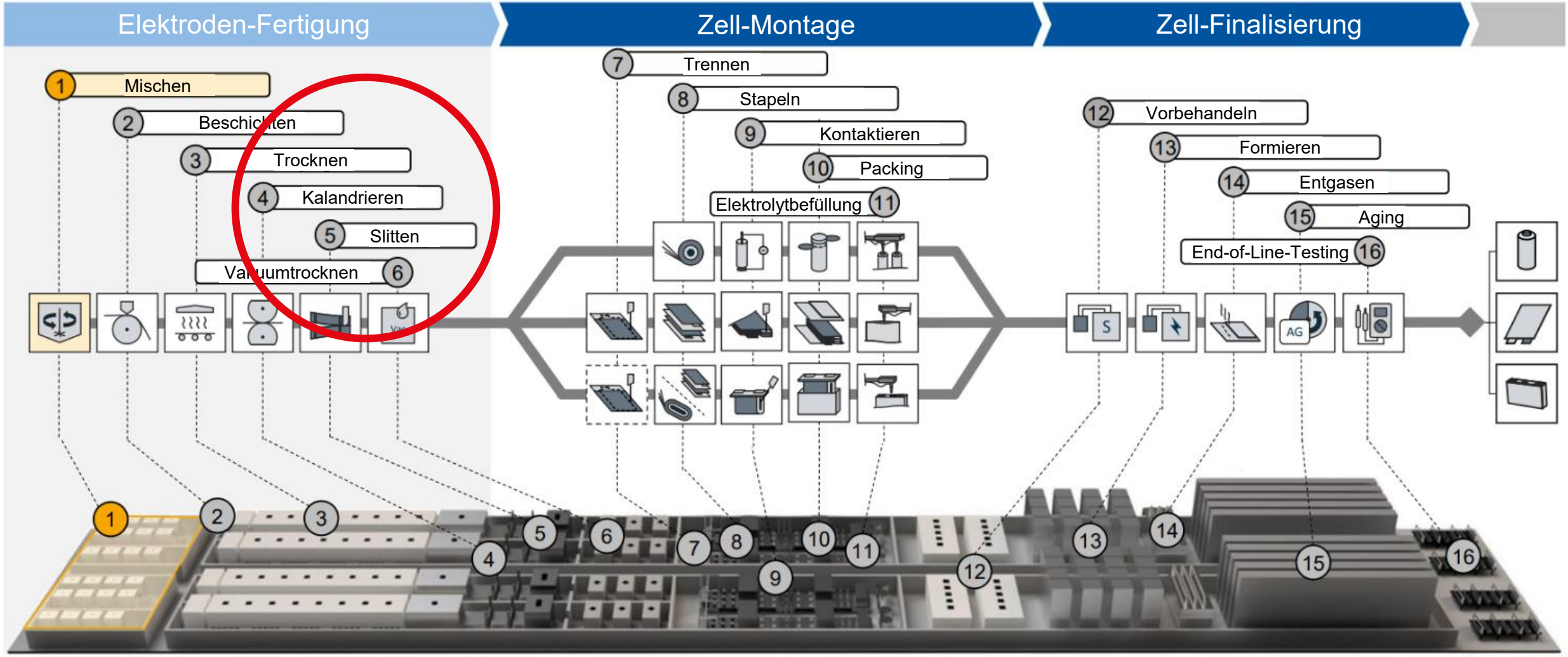
Potentielle Folgen von Geometrie- und Beschichtungsfehlern



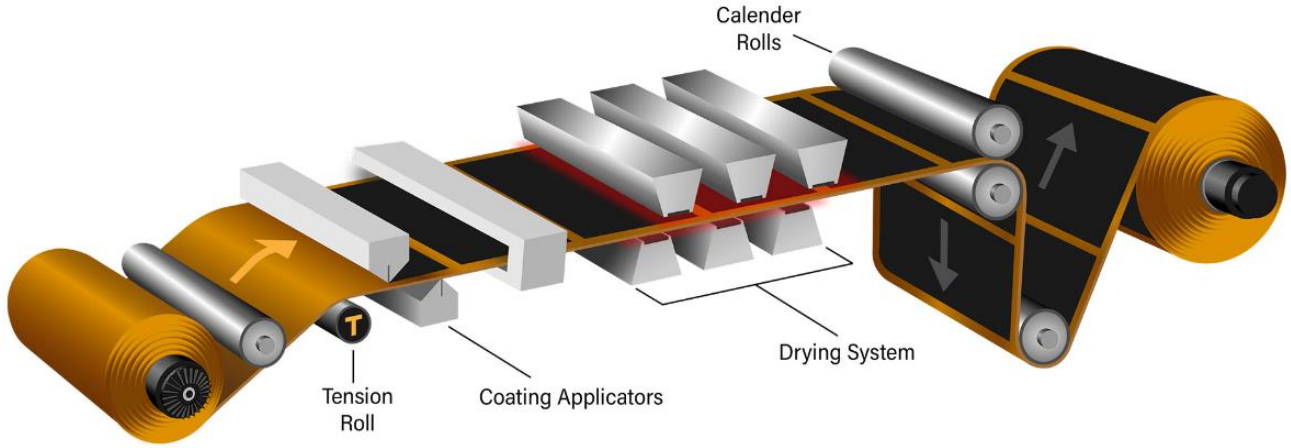
PRODUKTIONSANLAUF DER BATTERIEPRODUKTION

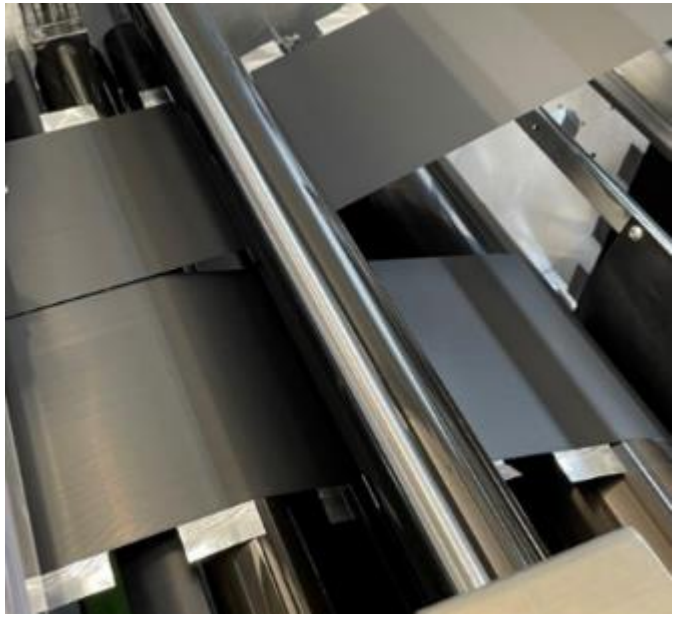
Ablauf der Batteriezellherstellung

Be sure. testo



Beschichten, Trocknen und Kalandrieren





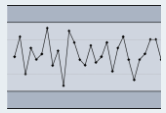
Slitten und Tab freistellen

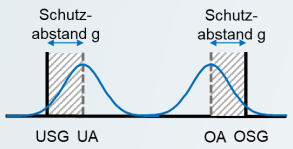
SPC als Bestandteil der Automotive Core Tools

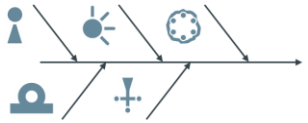
Be sure. testo

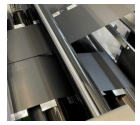
APQP

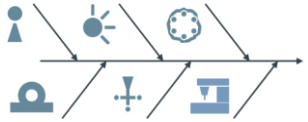
Advanced Product Quality Planning





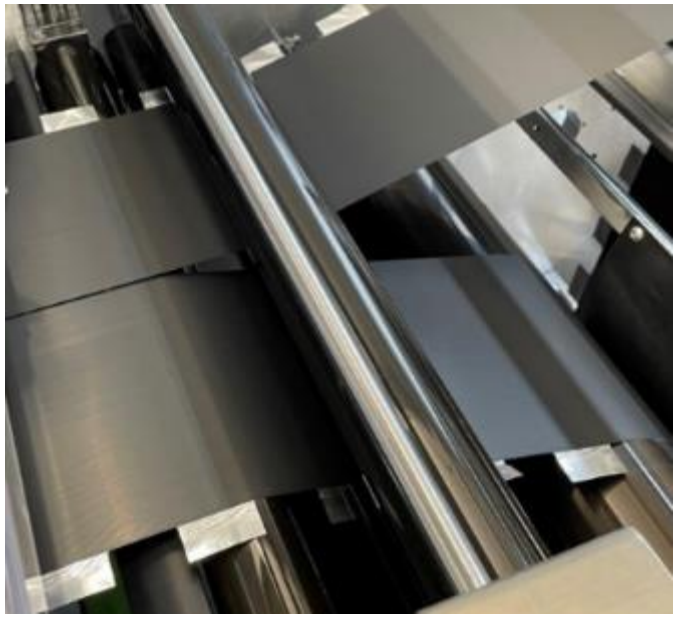




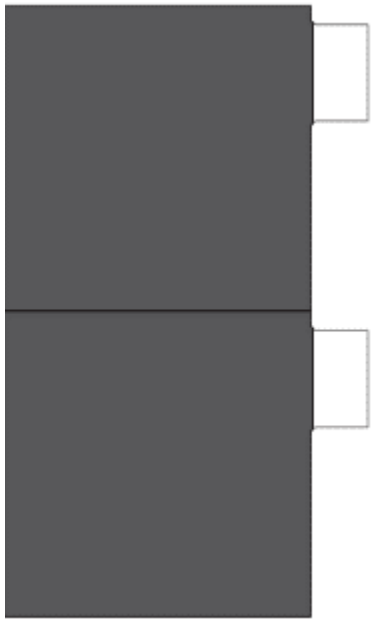


Ableiten qualitätsrelevanter Merkmale

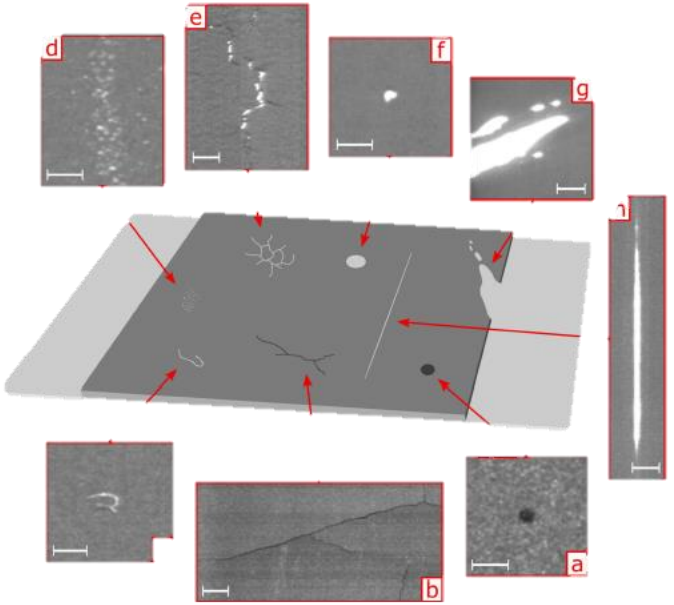
Herstellungsprozess – Slitten und Tab freistellen



Messung der Geometrie



Detektion von Defekten

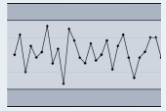


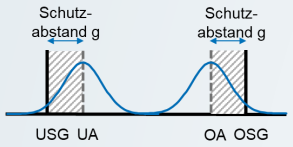
SPC als Bestandteil der Automotive Core Tools

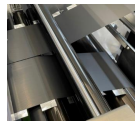
Be sure. testo

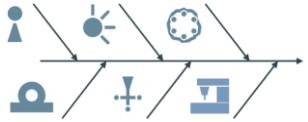
APQP

Advanced Product Quality Planning



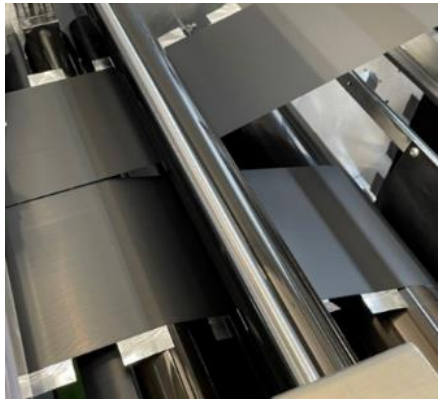




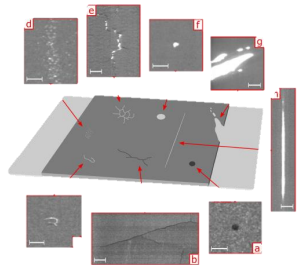


Prüfplanung mit Machine Vision Systemen

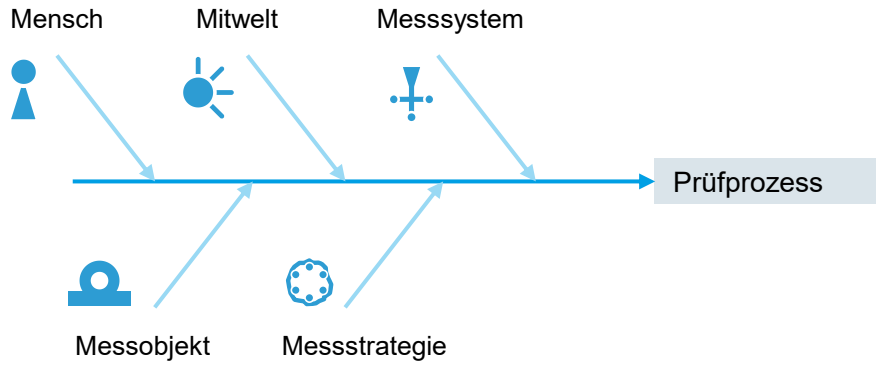
Prüfobjekt



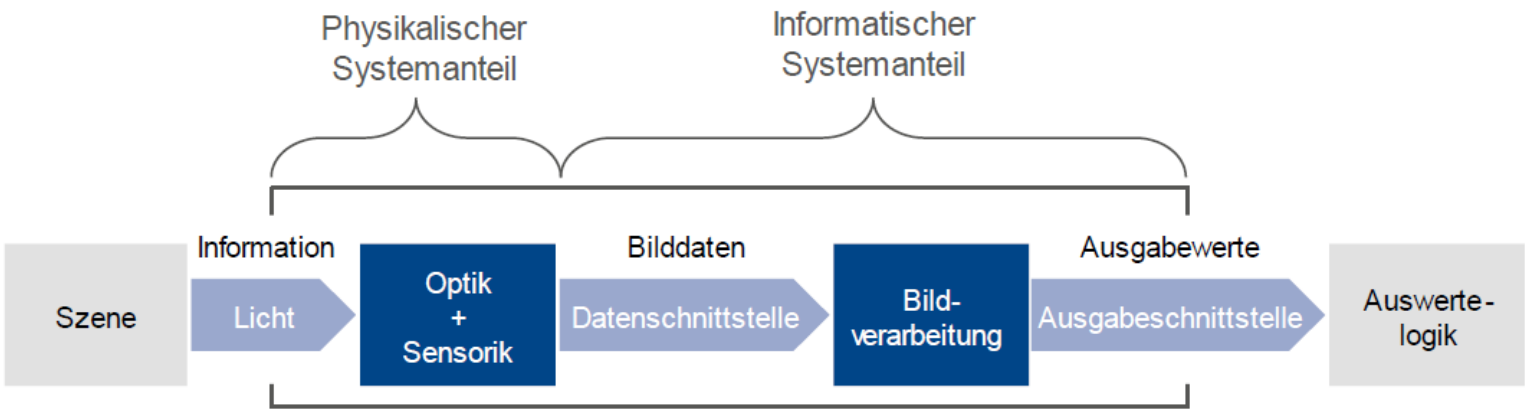
Spezifikation
Nennwert & Toleranz



Prüfmittel
Prüfprozess



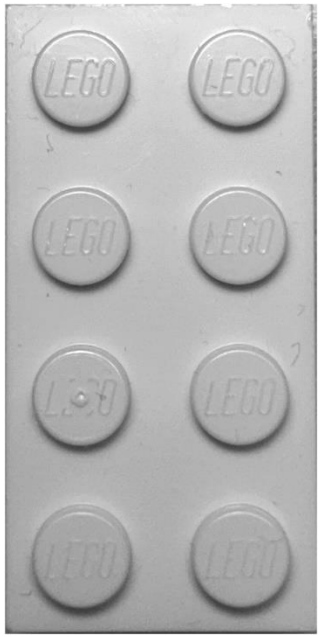
Komponenten eines Machine Vision Systems



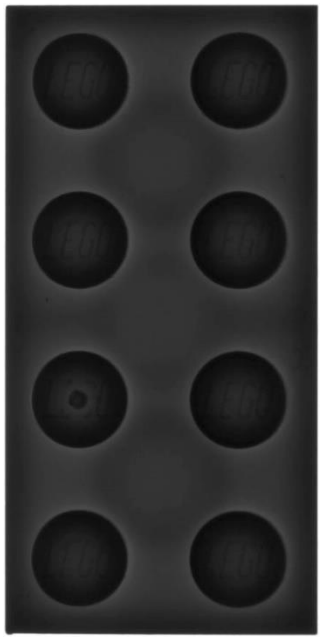
Quelle: VDA Band 5.3

Licht als Träger der Information

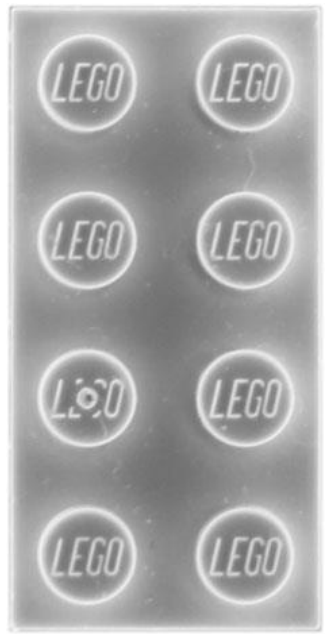
Frontlicht



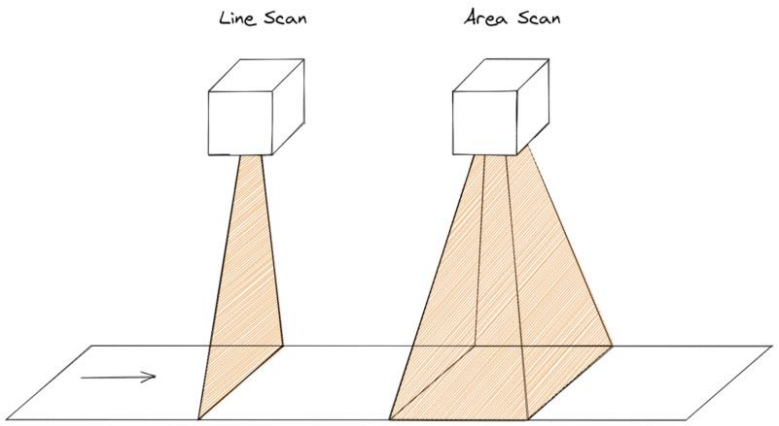
Rücklicht



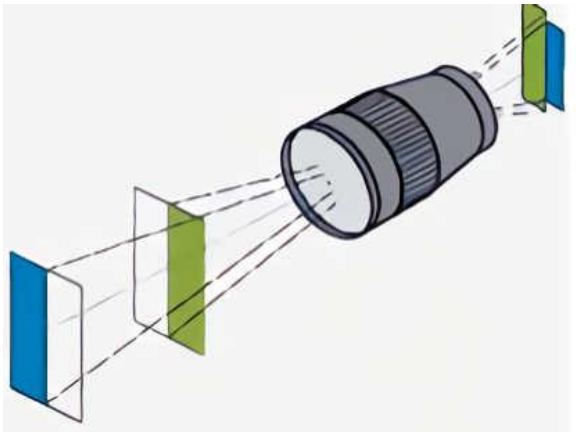
Ringlicht



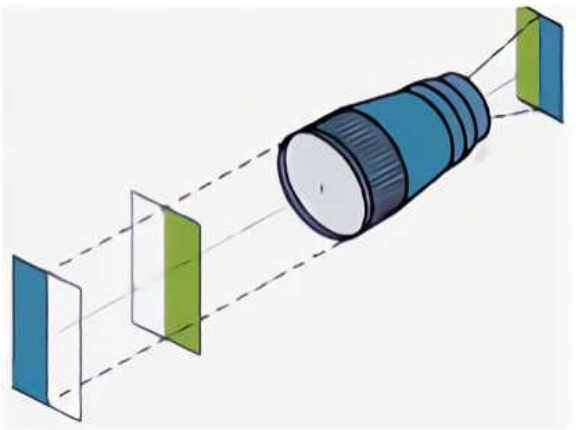
Komponenten eines Machine Vision Systems
Sensor und Objektiv



Quelle: ML6, info@ml6.eu



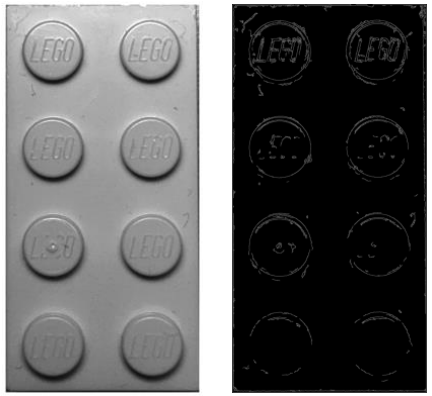
Standard Objektiv



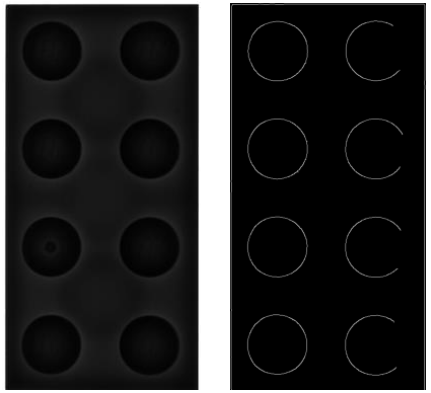
Telezentrisches Objektiv

Software zur Bild(vor-)verarbeitung

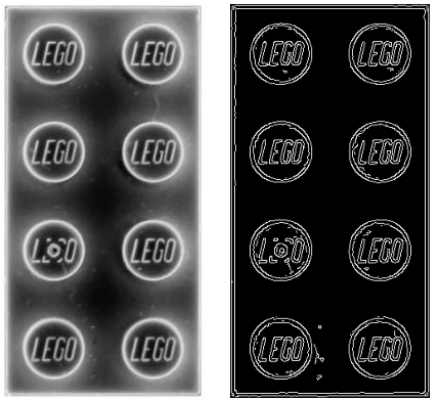
Frontlicht



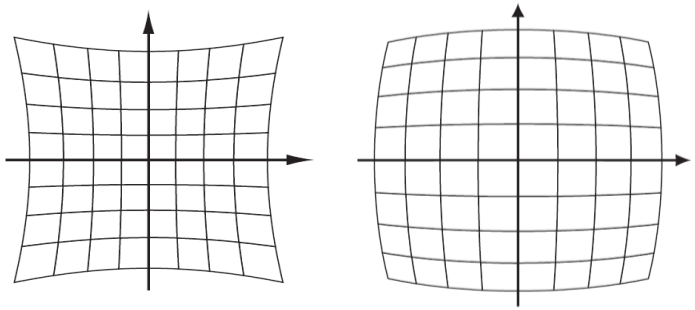
Rücklicht

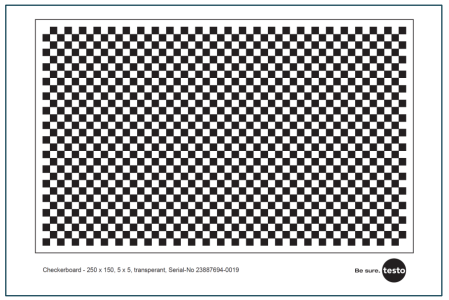


Ringlicht

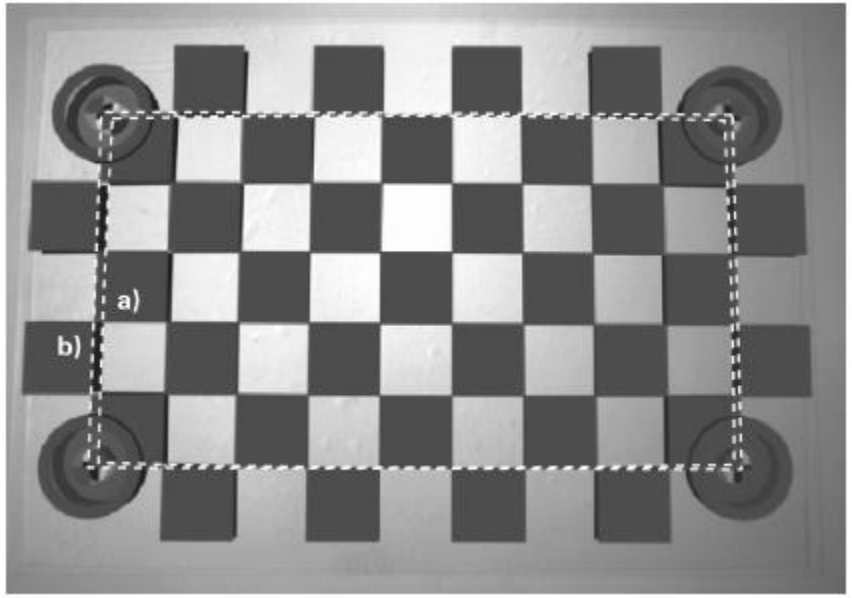


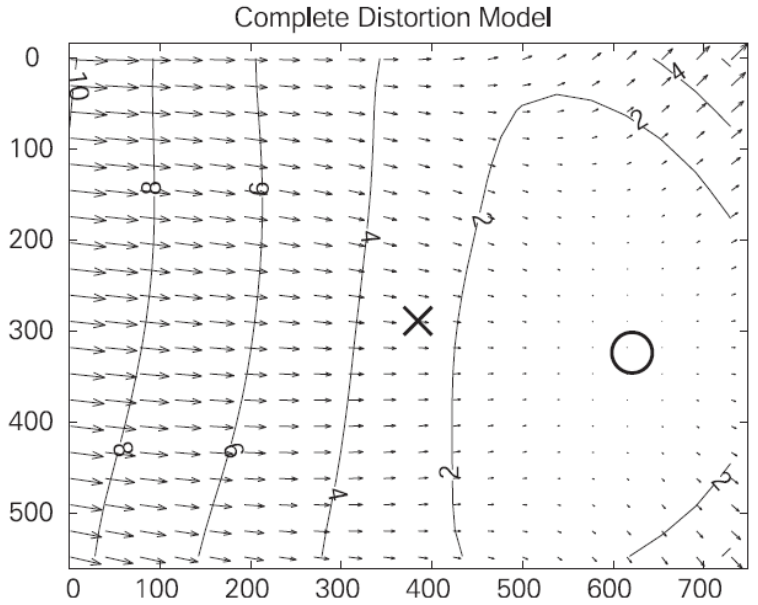
Kalibrierung und Justage der CCD-Kamera – 2-dimensionale Linearisierung (Distorsionskorrektur)





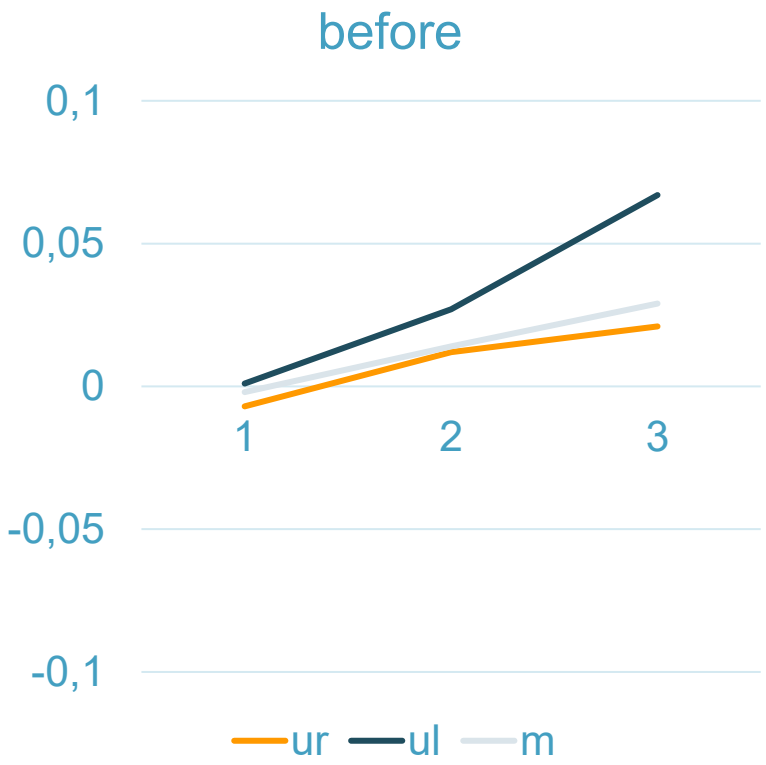
Kalibrierung und Justage – 2-dimensionale Linearisierung (Distorsionskorrektur)

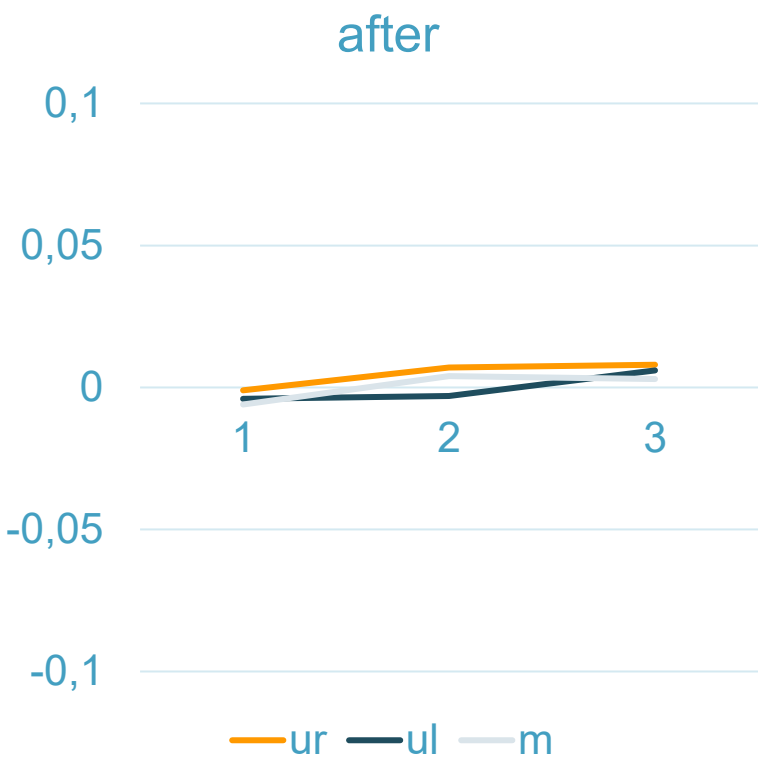




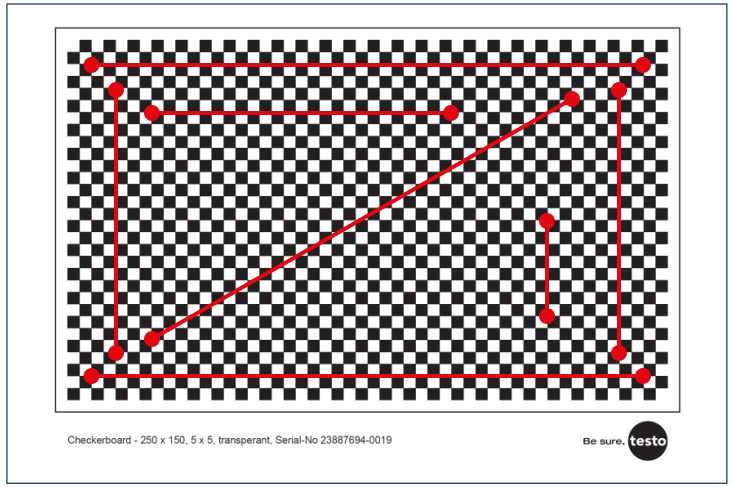
Ausgleich der Distorsion. (a) Verzerrt (b) Unverzerrtes Bild

Abschließende Kalibrierung mit Kalibrierzertifikat Ergebnisse vor und nach der Distorsionskorrektur





Abschließende Kalibrierung mit Kalibrierzertifikat



testo

Calibration certificate Kalibrier-Zertifikat DE6141090011

Object Gegenstand	Camera SD CAM1	Lense 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 SE-931 36 Skellefteå	
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	

Hereby we confirm that the performing calibration laboratory is working with a management system according to **ISO 9001:2015** and **DIN EN ISO/IEC 17025:2018**. Accreditation certificates can be found under www.testotis.de. 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.

Hiermit bestätigen wir, dass das durchführende Kalibrierlabor ein Managementsystem nach **ISO 9001:2015**, sowie **DIN EN ISO/IEC 17025:2018** eingeführt hat. Die Urkunden finden Sie auf www.testotis.de. Die für die Kalibrierung verwendeten Messeinrichtungen 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 aufgelistet.

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"

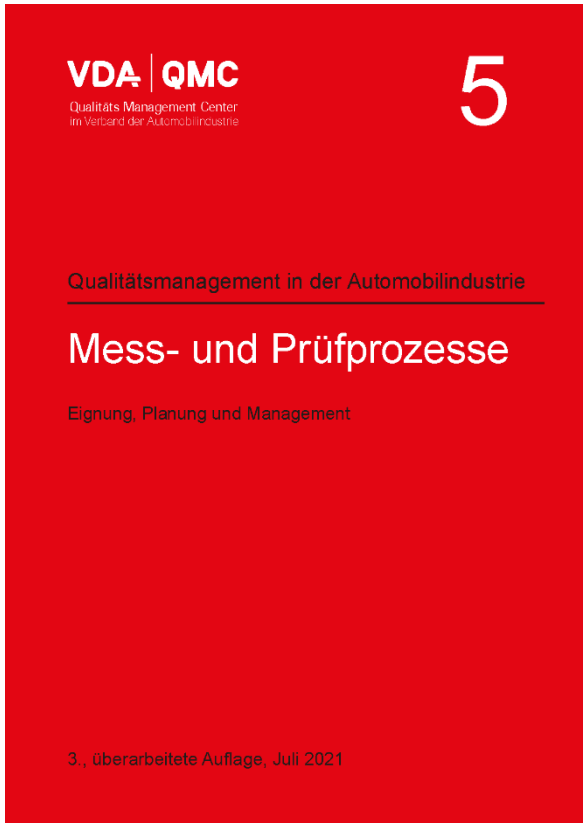
This calibration certificate may not be reproduced other than in full except with the permission of the issuing laboratory. Calibration certificates without signature and seal are not valid.
Dieser Kalibrierschein darf nur vollständig weiterverbreitet werden. Auszüge oder Änderungen bedürfen der Genehmigung des ausstellenden Kalibrierlaboratoriums. Kalibrierscheine ohne Unterschrift und Stempel haben keine Gültigkeit.

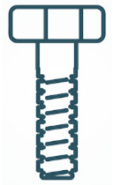
Seal Stempel — Supervisor Fachverantwortlicher: Mario Meister — Technician Bearbeiter: Janneck Martens

Testo Industrial Services GmbH · Gewerbestraße 3 · 79199 Kirchzarten · Tel +49 7661 90901-8000 · Fax --- · www.testotis.de · info@testotis.de · Page 1/2

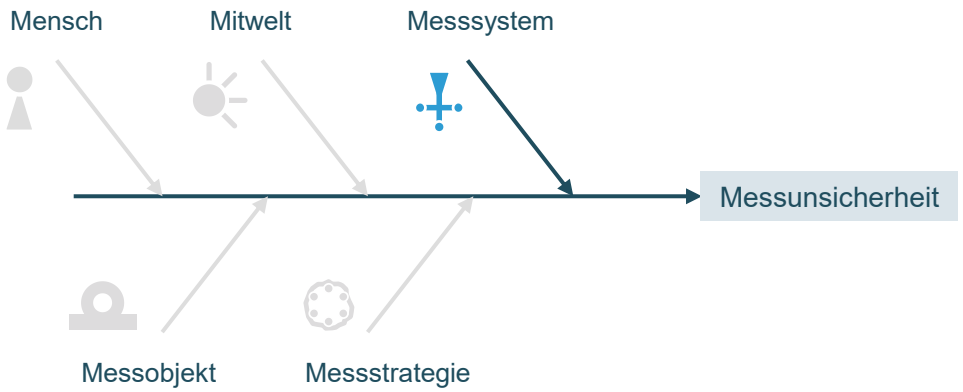
Eignung von optischen Sensoren und Bildverarbeitungssystemen nach VDA 5.3

Be sure. testo



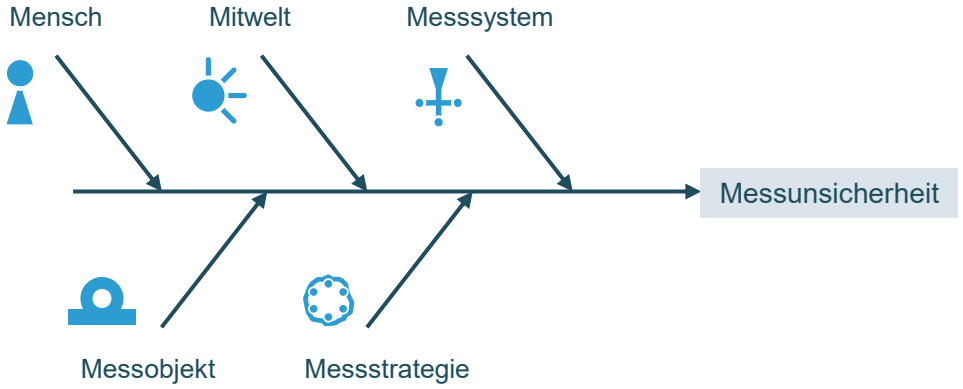


2-stufige Messsystemanalyse (Eignungsnachweis)



Messsystemeignung Q_{MS}

30x



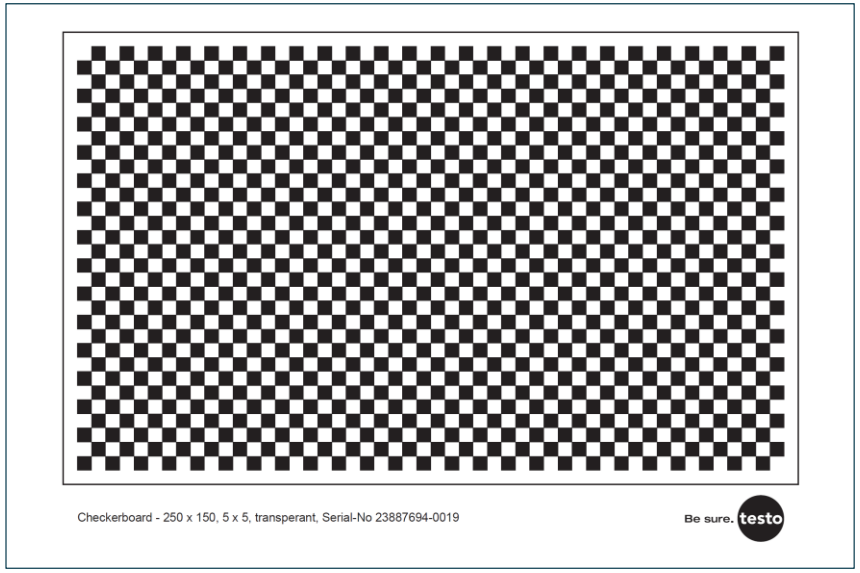
Messprozesseignung Q_{MP}

25 „Abschnitte“

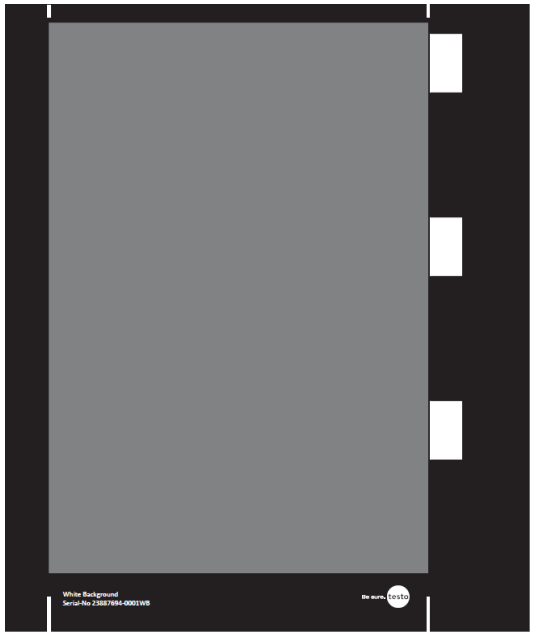
2 mal

∑50x

Typ 1 Studie – Verwendung von Machine Vision Referenzen



Kalibrierfolie



Individuelle Referenz

Kalibrierschein / Calibration Certificate

erstellt durch das Kalibrierlaboratorium
issued by the calibration laboratory

Testo Industrial Services GmbH
Gewerbestraße 3
79199 Kirchzarten

Kalibrierzeichen
Calibration mark

MUSTER

D-K-15079-01-01

2020-04

Gegenstand / Object	Bügelmessschraube
Hersteller / Manufacturer	Mitutoyo Deutschland GmbH
Typ / Type	293-667 N Quick 25 - 55 mm
Fabrikat/Serien Nr. / Serial number	-----
Equipment Nr. / Equipment number	12345678
Prüfmittel Nr. / Test equipment no.	12301230
Auftraggeber / Customer	Mustermann 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	☒ Messwert(e) innerhalb der zulässigen Abweichung / Measured value(s) within the allowed deviation
Detaillierte Informationen auf Seite 4 / Detailed information see page 4	☐ Messwert(e) ausserhalb der zulässigen Abweichung / Measured value(s) outside the allowed deviation

Dieser Kalibrierschein dokumentiert die metrologische Rückführbarkeit auf nationale Normale zur Darstellung der Einheiten in Übereinstimmung mit dem Internationalen Einheitensystem (SI). Die DAkkS ist Unterzeichner der multilateralen Übereinkommen der European co-operation for Accreditation (EA) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) zur gegenseitigen Anerkennung der Kalibrierscheine. Für die Einhaltung einer angemessenen Frist zur Wiederholung der Kalibrierung ist der Benutzer verantwortlich.

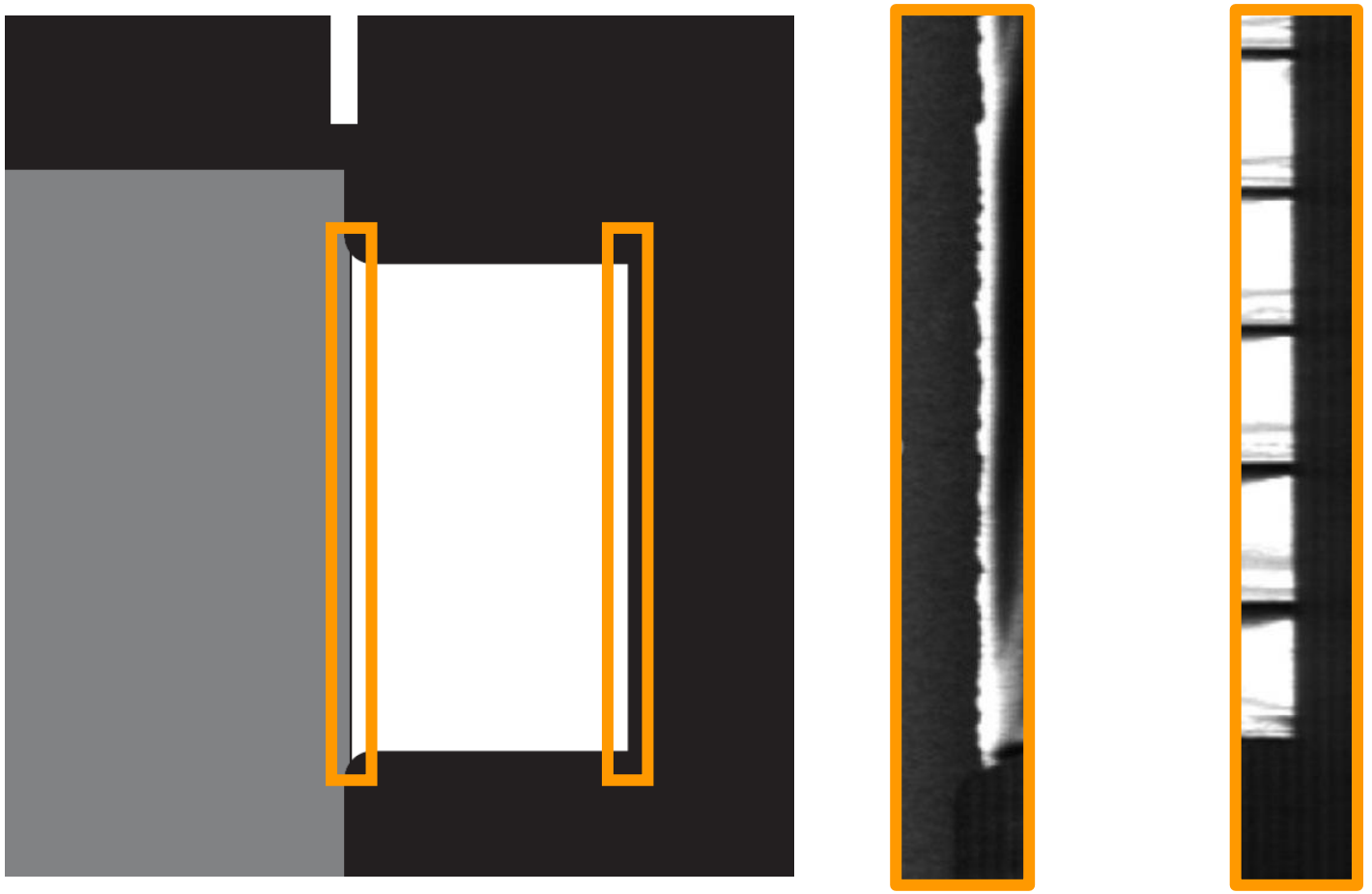
This calibration certificate documents the metrological traceability to national standards, which realize the units of measurement according to the International System of Units (SI). The DAkkS is signatory to the multilateral agreements of the European co-operation for Accreditation (EA) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) for the mutual recognition of calibration certificates. The user is obliged to have the object recalibrated at appropriate intervals.

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.

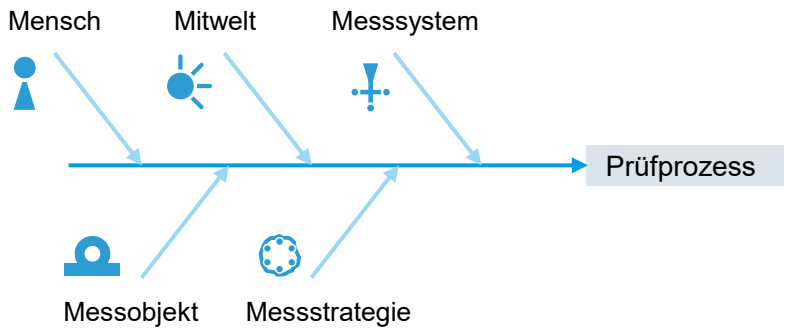
Datum / Date	Leiter des Kalibrierlaboratoriums / Head of the calibration laboratory	Freigabe des Kalibrierscheins durch / Approval of the certificate of calibration by
01.04.2020	Max Mustermann	Martina Musterfrau

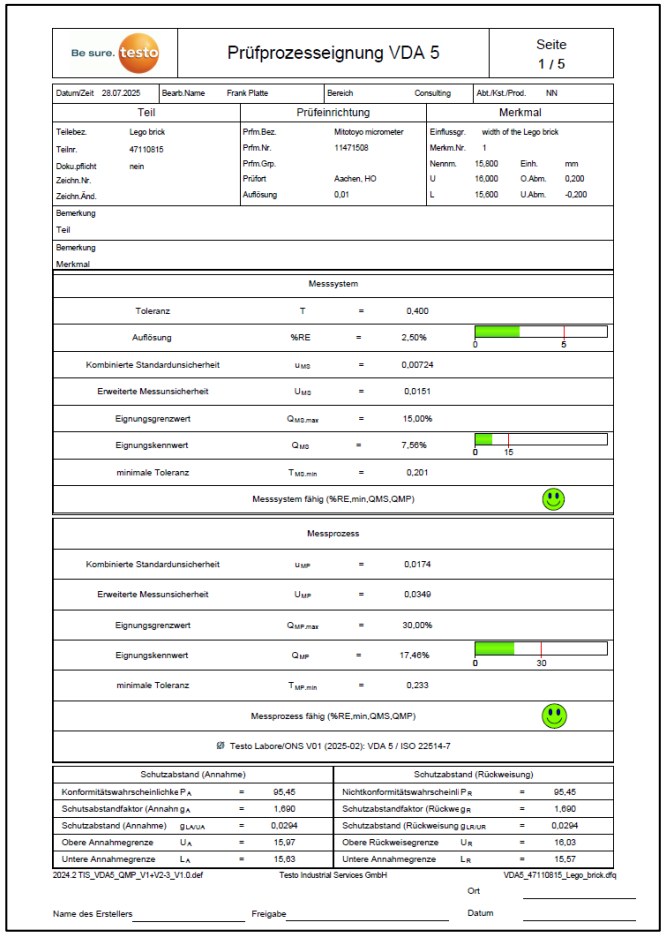
Testo Industrial Services GmbH — Gewerbestraße 3, 79199 Kirchzarten — Tel +49 7661 90901-0000 — Fax +49 7661 90901-8010 — www.testotis.de — info@testotis.de — 1/4

Typ 3 Studie – Einfluss des Prüfobjekts



Nachweis der Messprozesseignung





Prüfprozesseignung VDA 5

Seite 1 / 5

Datum/Zeit	28.07.2025	Bearb.Name	Frank Platte
Bereich	Consulting	Abt./Kst./Prod.	NN

Teil		Prüfeinrichtung		Merkmal			
Teilebez.	Lego brick	Prfm.Bez.	Mitotoyo micrometer	Einflussgr.	width of the Lego brick		
Teilnr.	47110815	Prfm.Nr.	11471508	Merkm.Nr.	1		
Doku.pflicht	nein	Prfm.Grp.		Nennm.	15,800	Einh.	mm
Zeichn.Nr.		Prüfort	Aachen, HO	U	16,000	O.Abm.	0,200
Zeichn.Änd.		Auflösung	0,01	L	15,600	U.Abm.	-0,200

Bemerkung Teil

Bemerkung Merkmal

Messsystem			
Toleranz	T	=	0,400
Auflösung	%RE	=	2,50%
Kombinierte Standardunsicherheit	u_{MS}	=	0,00724
Erweiterte Messunsicherheit	U_{MS}	=	0,0151
Eignungsgrenzwert	$Q_{MS,max}$	=	15,00%
Eignungskennwert	Q_{MS}	=	7,56%
minimale Toleranz	$T_{MS,min}$	=	0,201
Messsystem fähig (%RE,min,QMS,QMP)			

Messprozess			
Kombinierte Standardunsicherheit	u_{MP}	=	0,0174
Erweiterte Messunsicherheit	U_{MP}	=	0,0349
Eignungsgrenzwert	$Q_{MP,max}$	=	30,00%
Eignungskennwert	Q_{MP}	=	17,46%
minimale Toleranz	$T_{MP,min}$	=	0,233
Messprozess fähig (%RE,min,QMS,QMP)			

Ø Testo Labore/ONS V01 (2025-02): VDA 5 / ISO 22514-7

Schutzabstand (Annahme)				Schutzabstand (Rückweisung)			
Konformitätswahrscheinlichke	P_A	=	95,45	Nichtkonformitätswahrscheinli	P_R	=	95,45
Schutsabstandfaktor (Annahn	g_A	=	1,690	Schutzabstandfaktor (Rückwe	g_R	=	1,690
Schutzabstand (Annahme)	$g_{LA/UA}$	=	0,0294	Schutzabstand (Rückweisung	$g_{LR/UR}$	=	0,0294
Obere Annahmegrenze	U_A	=	15,97	Obere Rückweisegrenze	U_R	=	16,03
Untere Annahmegrenze	L_A	=	15,83	Untere Annahmegrenze	L_R	=	15,57

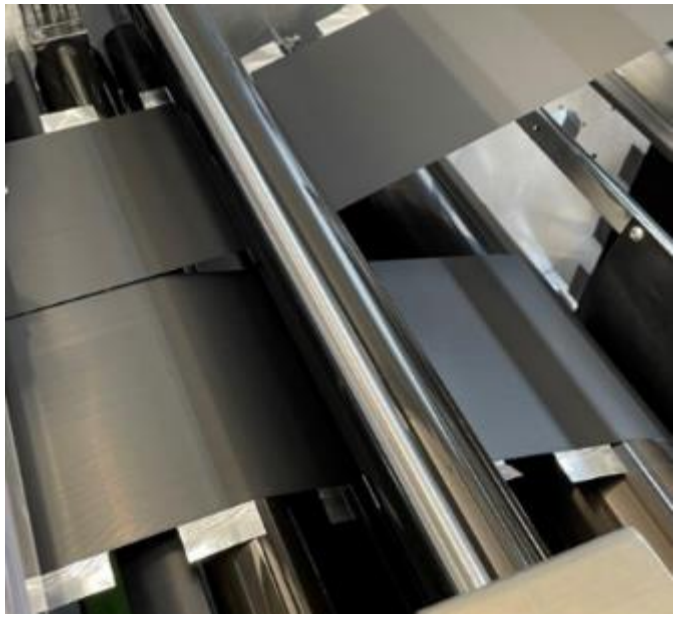
2024.2 TIS_VDA5_QMP_V1+V2-3_V1.0.def Testo Industrial Services GmbH VDA5_47110815_Lego_brick.dfq

Ort

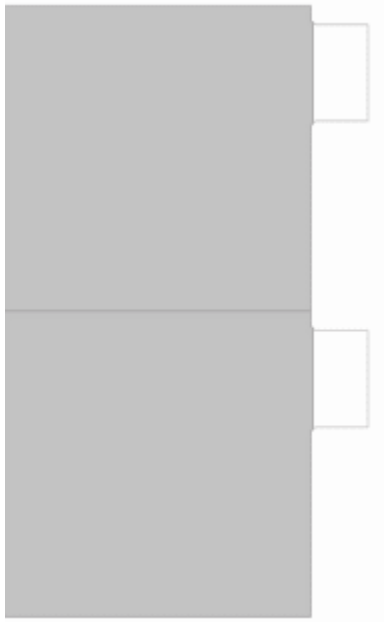
Name des Erstellers Freigabe Datum

Ableiten qualitätsrelevanter Merkmale

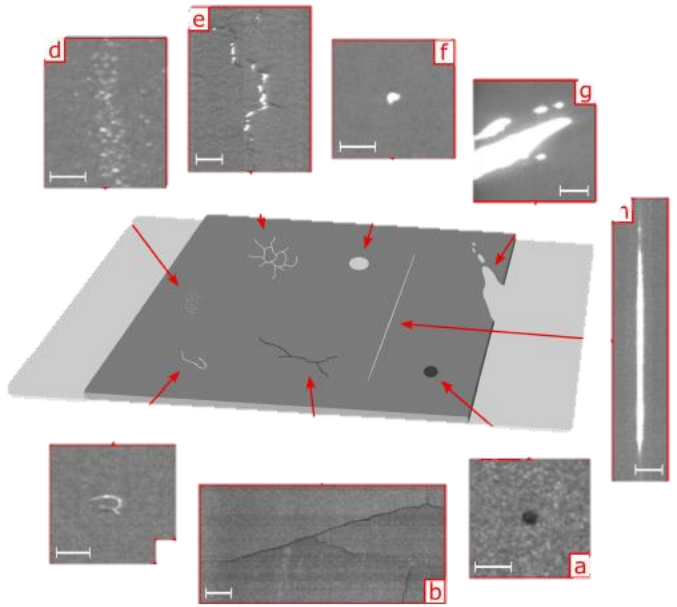
Herstellungsprozess –
Slitten und Tab freistellen



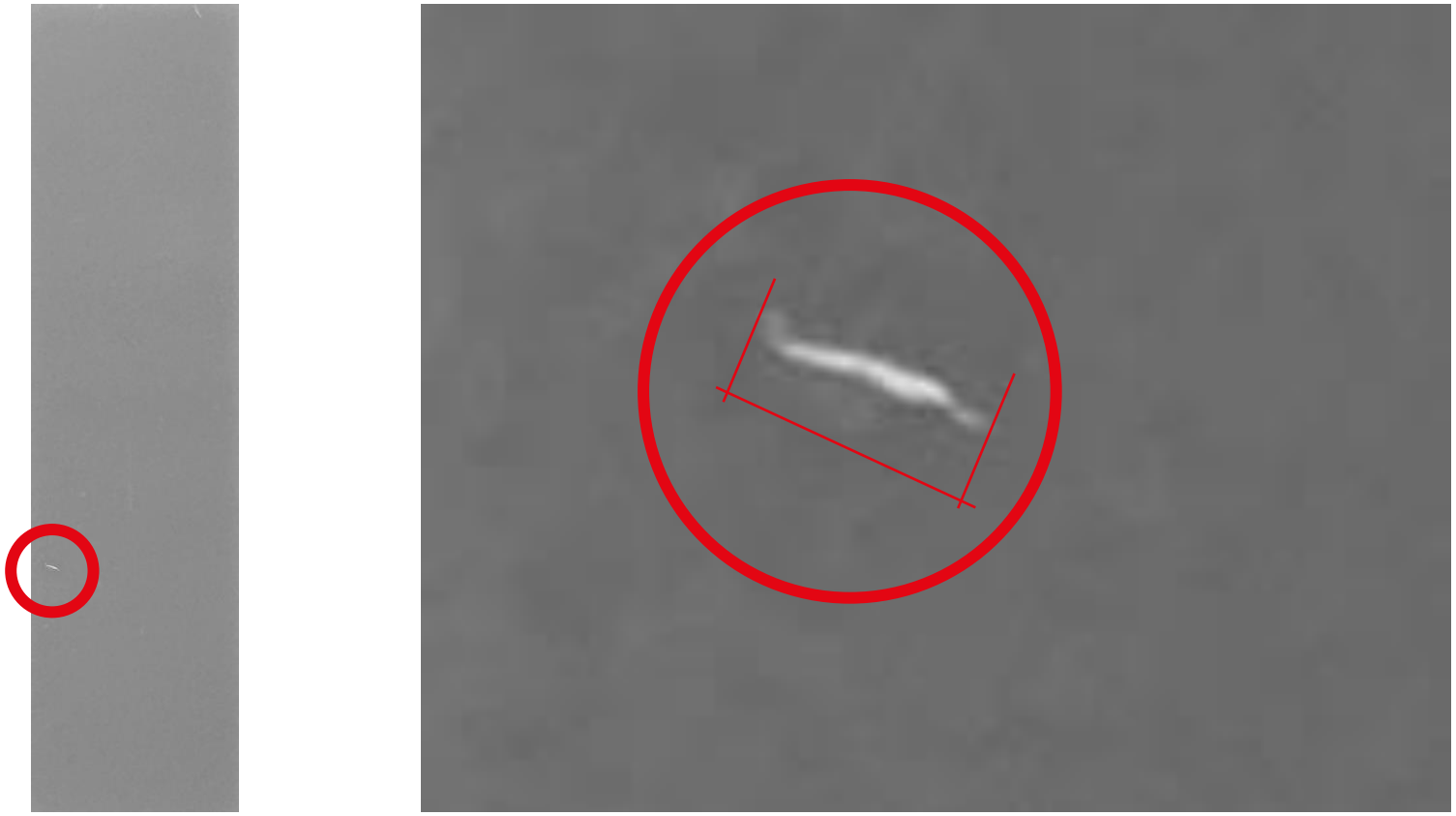
Messung der
Geometrie



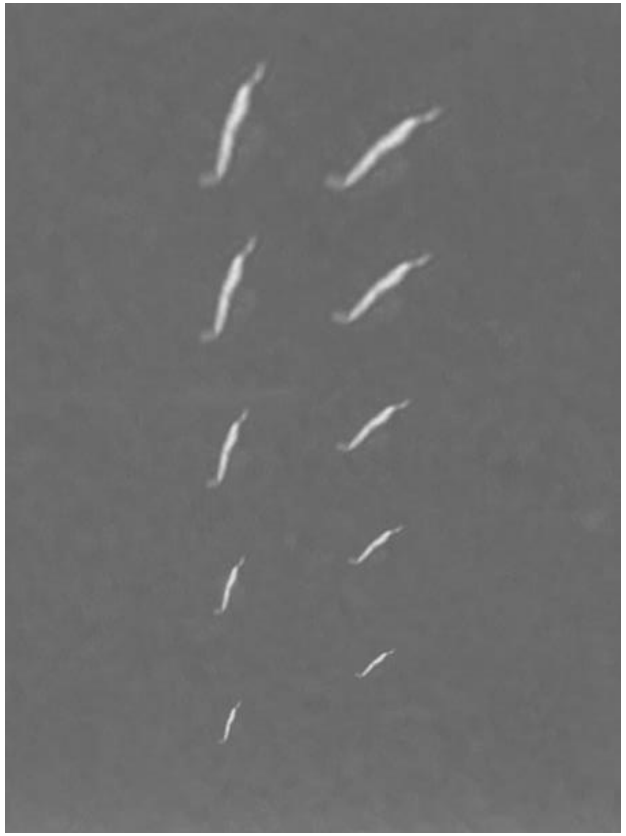
Detektion von
Defekten



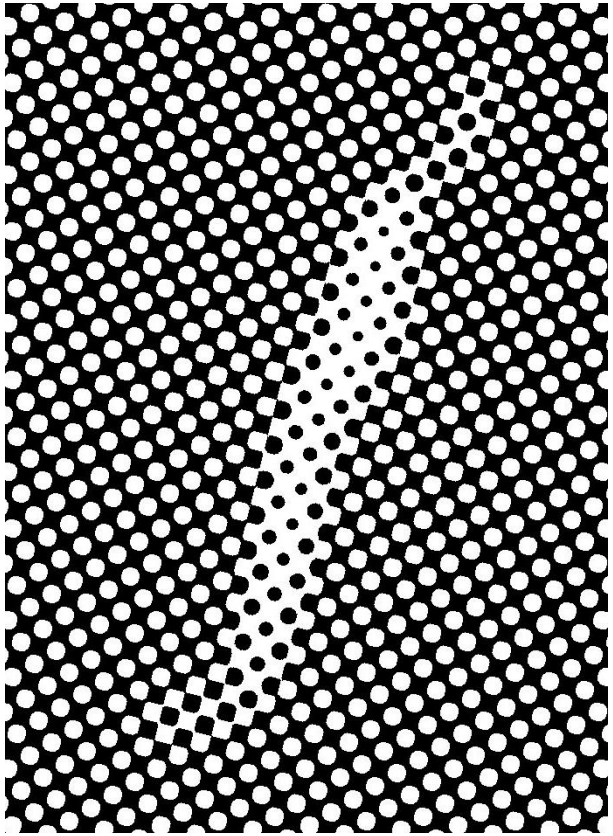
Eignungsnachweis bei Fehlerdetektion
Beispiel Beschichtungsfehler



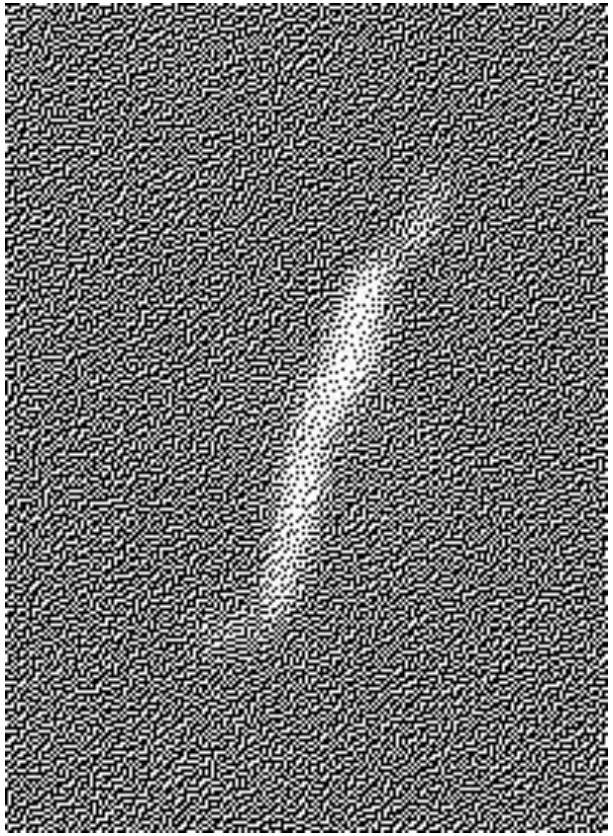
Simulation von Defekten (digital und gedruckt)



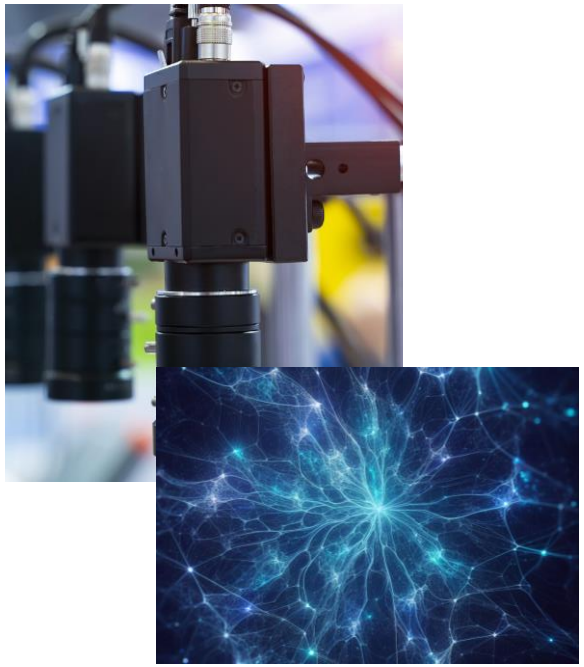
Amplitudenmoduliertes Raster

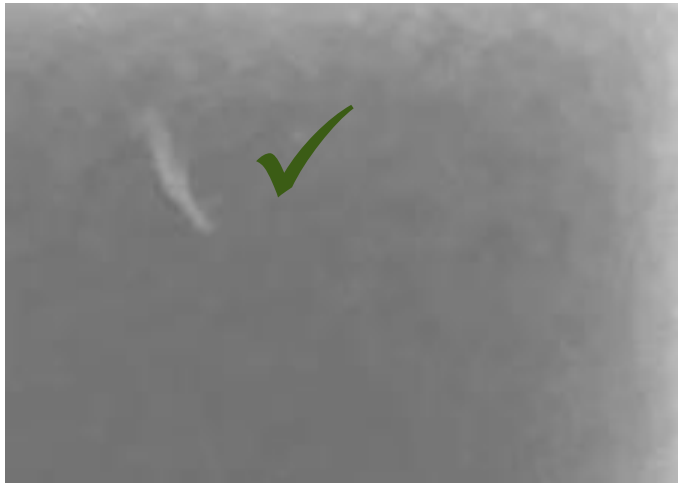


Frequenzmoduliertes Raster



Nachweis der Eignung bei Verwendung von Machine Learning Algorithmen





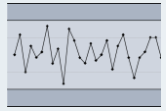
Der Nachweis der Prüfprozesseignung muss für einen definierten „Lernstand“ des Algorithmus durchgeführt werden.

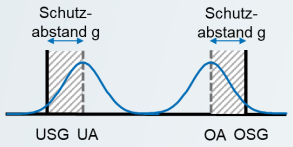
SPC als Bestandteil der Automotive Core Tools

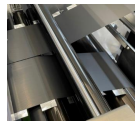
Be sure. testo

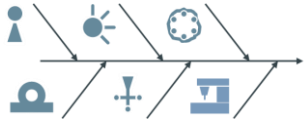
APQP

Advanced Product Quality Planning

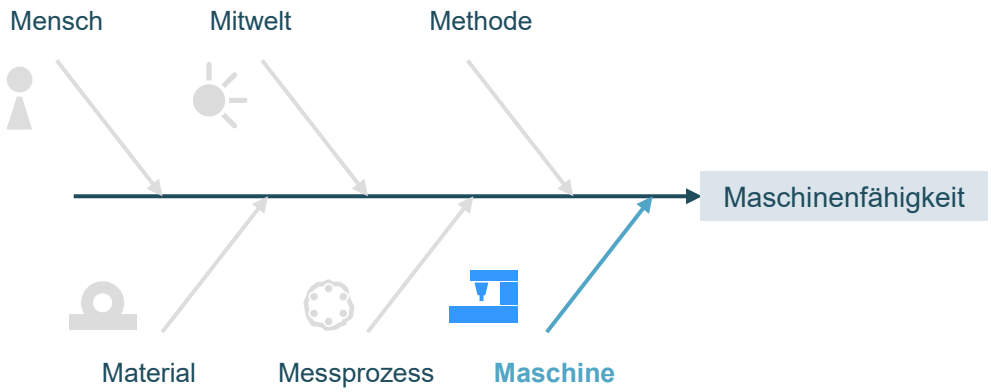






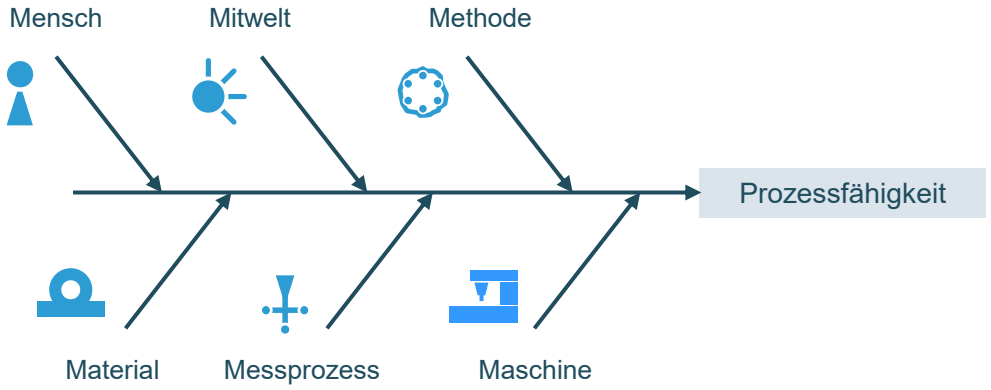


Maschinenfähigkeitsuntersuchung MFU & Prozessfähigkeitsuntersuchung PFU



Maschinenfähigkeitsuntersuchung MFU

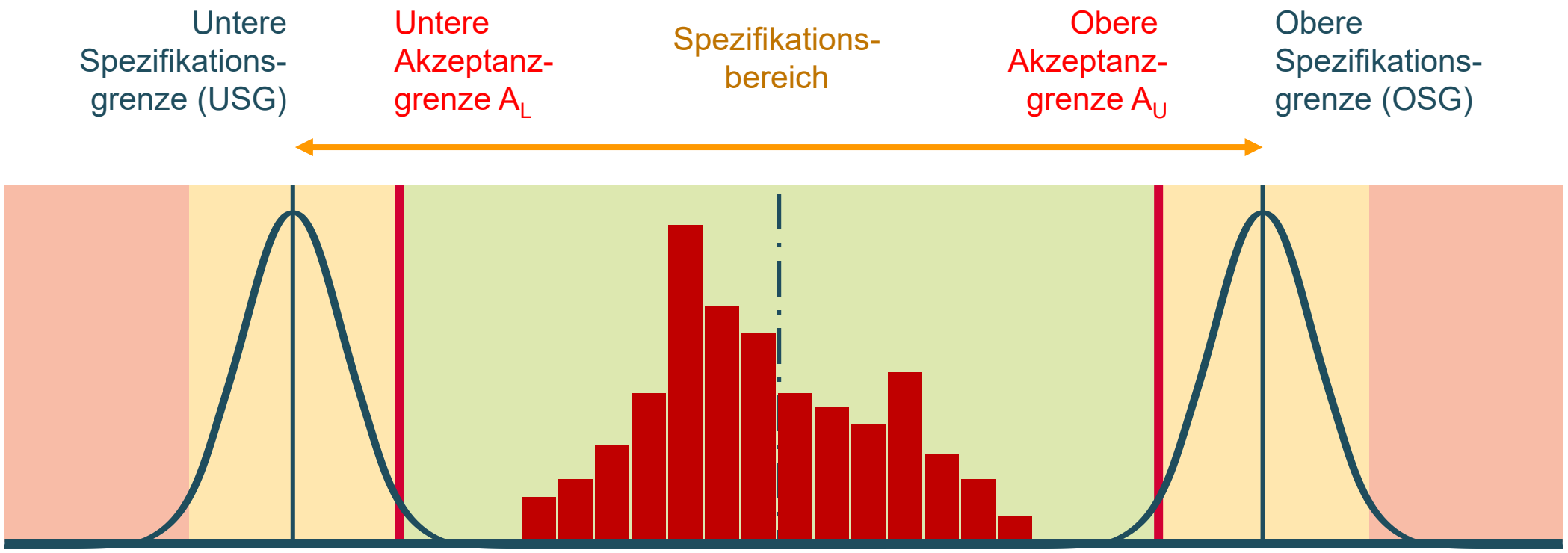
25x



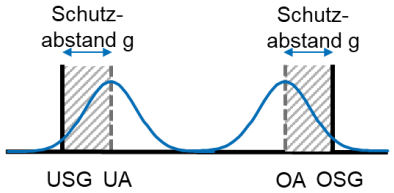
Prozessfähigkeitsuntersuchung PFU

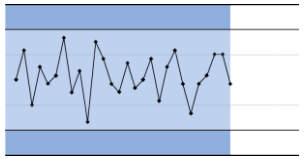
∑125x

Einfluss der Messunsicherheit auf die Fertigung



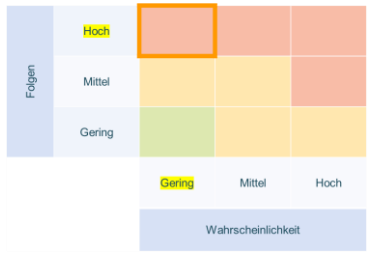
Ergebnis Produktionslenkungsplan / Prüfplan





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	KA1234	PR1234	hoch	EN1234	4,7 mm	4,783 mm	5,218 mm	5,3 mm	100%	4,95 mm	5,12 mm	RE1234

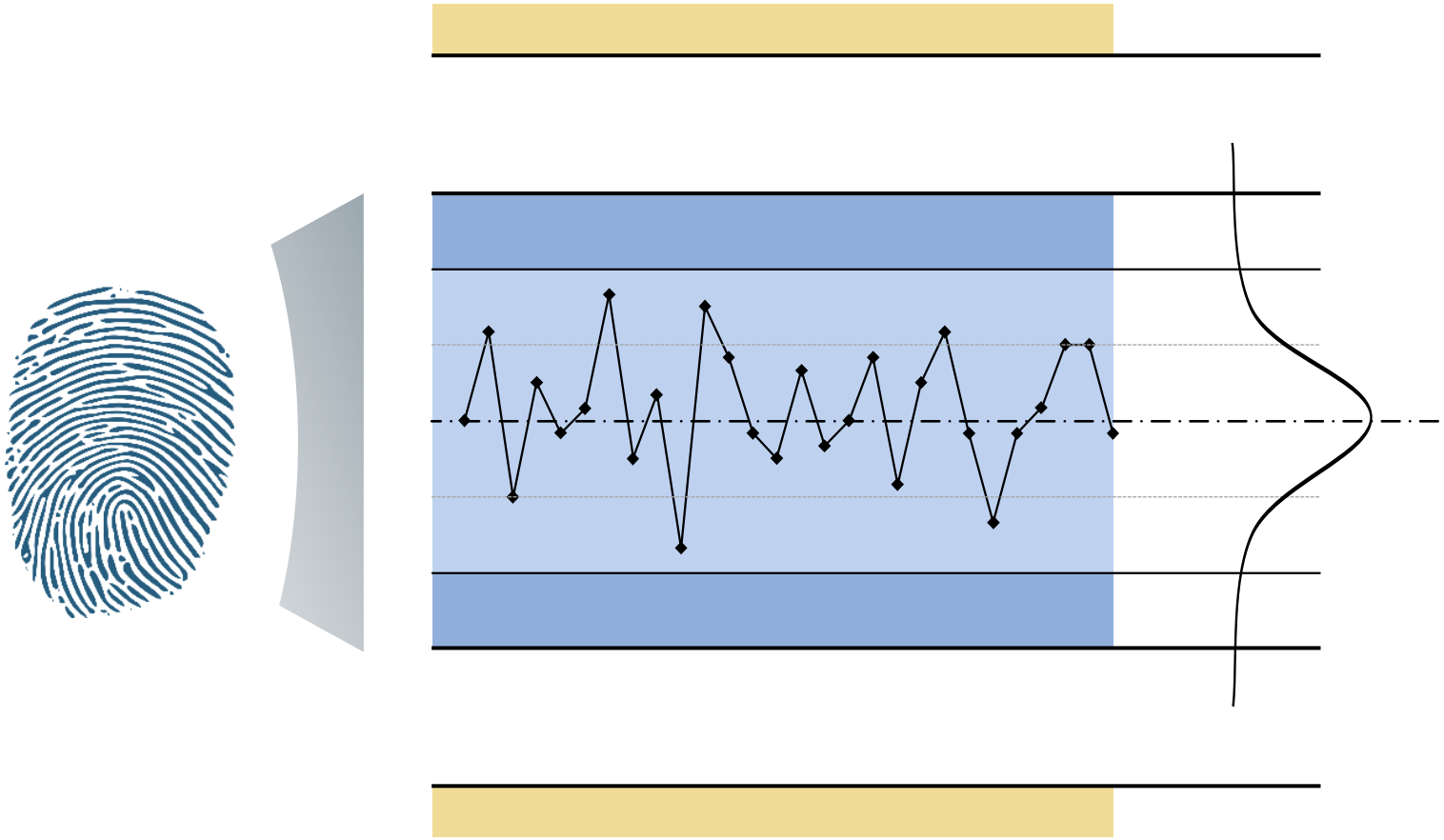
Kalibrierschein / Calibration Certificate



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
Wiederholunsicherheit	u_{EVR}	$u_{EVR} = \sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(\Delta x_i - \overline{\Delta x})^2}$	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}	$Q_{MS} = \frac{2 \cdot 2 \cdot u_{MS}}{OSG - USG}$	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

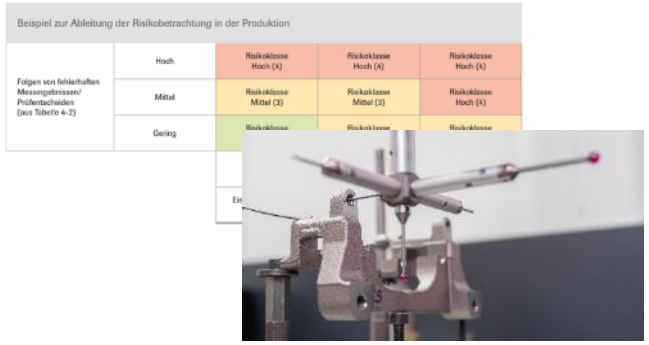
www.testotis.de

Schulung und Beratung

Be sure. testo

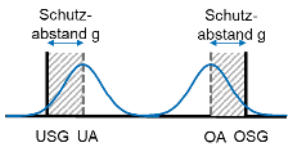
1 Schulungen

2 Pilotprojekte



3 Coaching

先生



Prüfmittel-management	Automotive Core Tools	Weitere
Der Prüfmittel-beauftragte (TÜV)	APQP – FMEA, MSA, SPC und PPAP	Six Sigma
Sicher durch das Audit	Statistische Prozess-lenkung (SPC)	ISO/IEC 17025
Das Kalibrier-zertifikat	Messsystemanalyse/Eignungsnachweise (MSA/VDA 5)	ISO 10012

IHR DIREKTER KONTAKT ZU UNS

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

LinkedIn:
Philipp Jatzkowski

Philipp Jatzkowski
Senior Consulting Quality Assurance

Tel.: +49 7661 90901 9027
E-Mail: PJatzkowski@testotis.de

LinkedIn:
Testo Industrial Services