

Six Sigma Vision 2020 – Praktische Anwendung für Industrie 4.0

Implementierungsbeispiel aus der Praxis: Selbstlernendes
Online System für präventive und reaktive Fehleranalyse, -
vermeidung und –behebung

Dipl.-Ing. FH Frank Thurner, GE Master Black Belt
mts Consulting & Engineering GmbH

mts Consulting & Engineering in Zahlen

Seit 2006

- Rund 150 Design for Six Sigma - DfSS & 600 Lean Six Sigma Projekte geleitet / gecoacht
- Rund 2.000 Design for Six Sigma & Lean Six Sigma Green & Black Belts ausgebildet
- Projekte weltweit mit Schwerpunkt in Automotive, Kunststoffspritzgießen, Medizintechnik, Pharma, Papier
- Mitarbeiter mit langjähriger Praxis- und Führungserfahrung (ca. 10 plus assoziierte Partner)



Projekte:

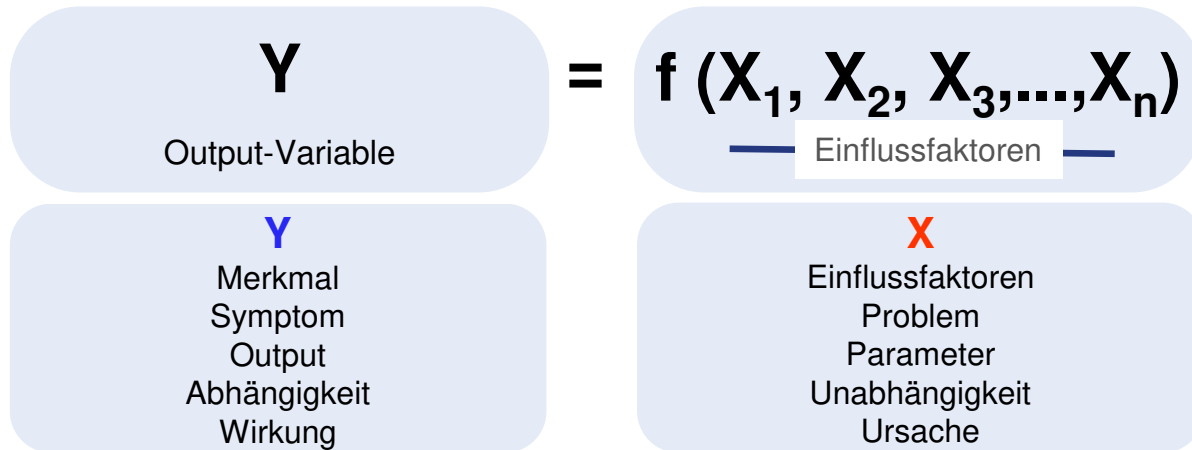
- Robustes Design für Produkte und Prozesse
- Ausbildungskampagnen: Qualität, Entwicklung, Produktion
- Robust Design, Design for Six Sigma & Lean Six Sigma
- Entwicklungsprojekte, Absicherung funktionaler Ketten
- Task Force / Problem-Lösungs-Projekte
- Prozessverbesserungsprojekte in Produktion und Dienstleistung

Branchen:

- Automotive (OEM bis TIER3)
- Kunststoffspritzgießen
- Maschinen- & Anlagenbau
- Medizintechnik
- Feinwerktechnik
- Antriebstechnik, Getriebebau
- Lebensmittel
- IT Services
- Chemie, Pharma
- Elektronik, Elektro, SMD
- Papier, Verpackungen
- Verarbeitenden Industrie:
Kautschuk, TPE,
Thermoplaste, PVC
- Werkzeugmaschinenbau
- Telekommunikation

Transferfunktionen - Der zentrale Punkt im Six Sigma / Robust Design

Ziel aller Six Sigma Projekte: Transferfunktionen ermitteln.



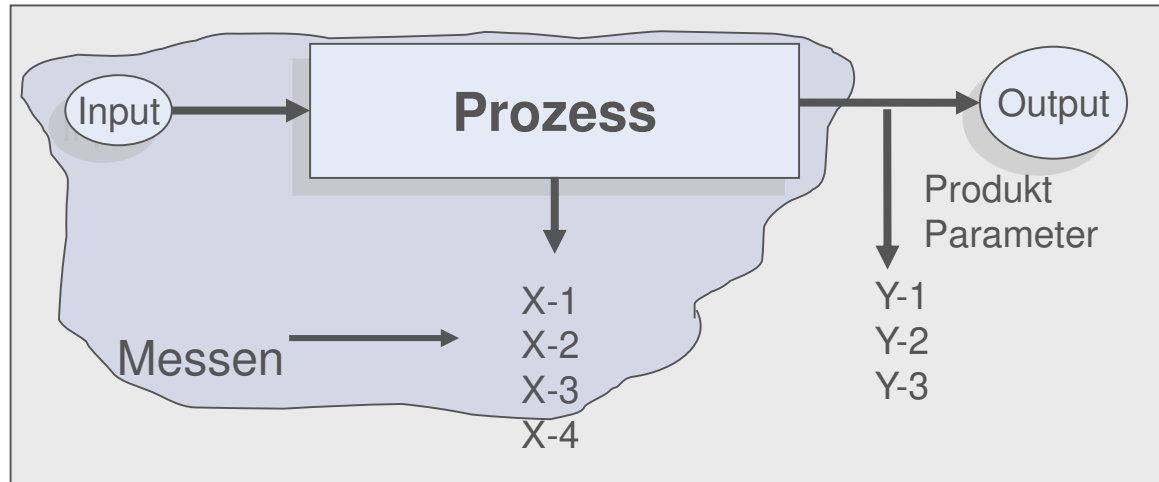
Damit wären die **kausalen Ketten** $Y_n = f(X_i)$ und somit die **Wirkzusammenhänge** und Wirkmechanismen für **reaktive (DMAIC) oder proaktive (DfSS) Problemstellungen** bekannt. **Reaktive oder präventive Maßnahmen / Lösungen** sind, wenn man die Wirkzusammenhänge kennt, leicht zu finden und umzusetzen.

Transferfunktionen im Robust Design / DfSS & Lean Six Sigma

Lean Six Sigma DMAIC

Transferfunktionen über 1 Level mit Merkmalen aus:

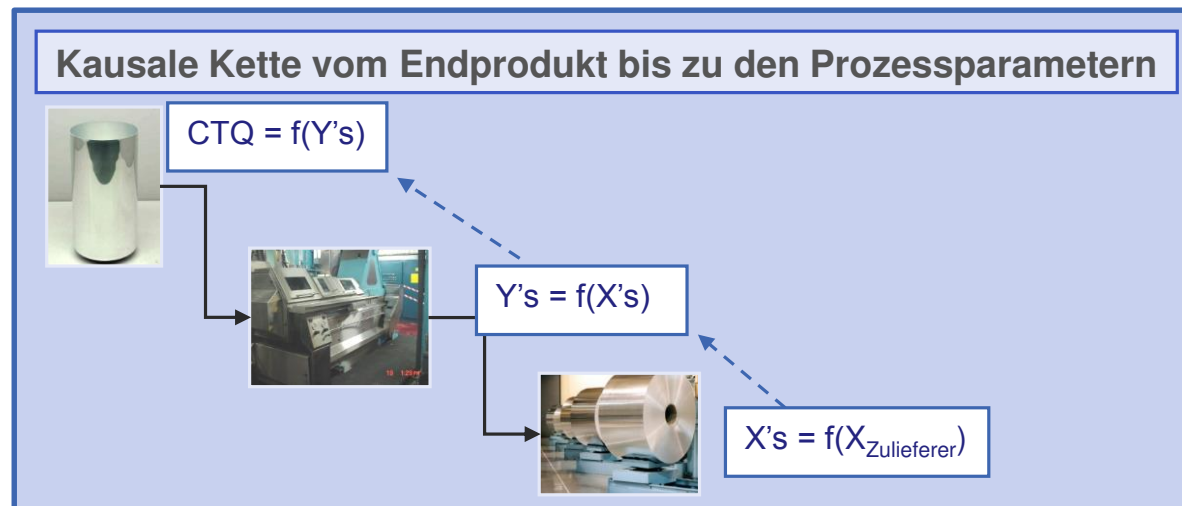
- Prozess-Sensorik
- Fertigungs- / Montage-Prozessen
- Dienstleistungsprozessen



Robust Design / DfSS

Transferfunktionen über n Level mit Merkmalen aus:

- Produktvalidierung / EoL Tester
- Prozess-Sensorik



Das ist meist der Auslöser: Fehlerrate %

Zwei mögliche Ausgangsszenarien für Y:

1. Binäres Y:

iO / niO (besser 0/1) plus Fehlerbild aus

- Einzelereignissen (z.B. Farbechtheit, subjektives Empfinden für ..., etc.)

=> Das Ereignis Y (0/1) plus Fehlerbild ist definiert und wird auch so aufgezeichnet

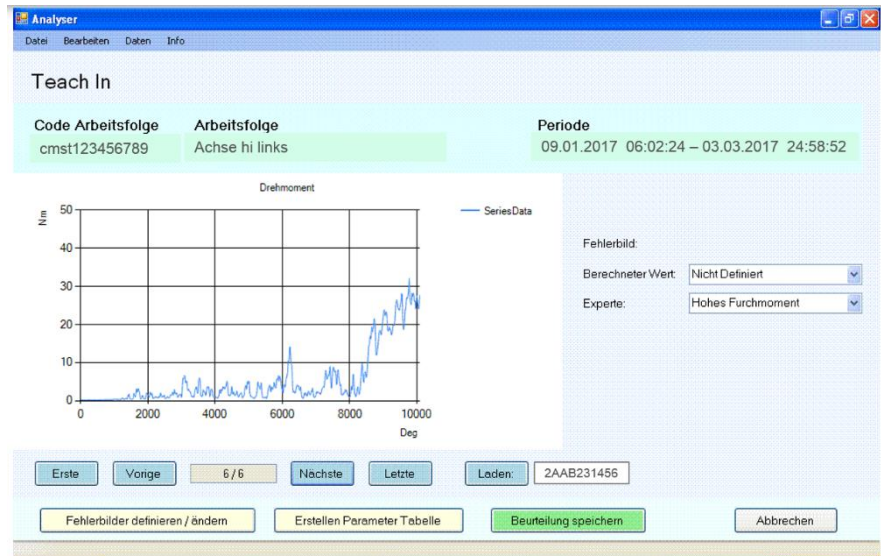
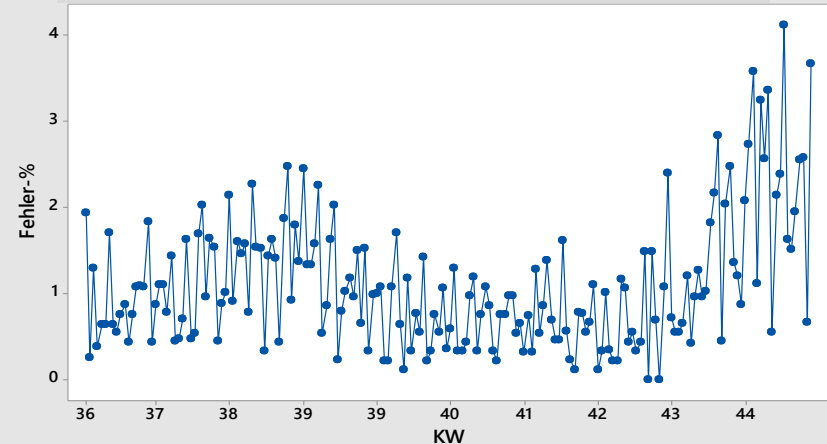
- Kurvendaten (Wertepaare aus Sensordaten von Produkt- oder Prozessmerkmalen)

=> $Y(0/1) = f(\text{Parametern; Kurven-Verlauf})$

wobei:

$Y = 0/1 = f(\text{Parametern})$ und
 $\text{Fehlerbild} = f(\text{Kurven-Verlauf})$

Fehler-% Verlauf eines binären Y (iO / niO)



Das ist meist der Auslöser: Fehlerrate %

2. Stetiges Y: physikalische Messgröße mit Spezifikationsgrenzen (USG; OSG)

⇒ $Y (0/1) = f(Y \text{ [stetig]}) = f(\text{Spezifikationsgrenzen: USG; OSG})$

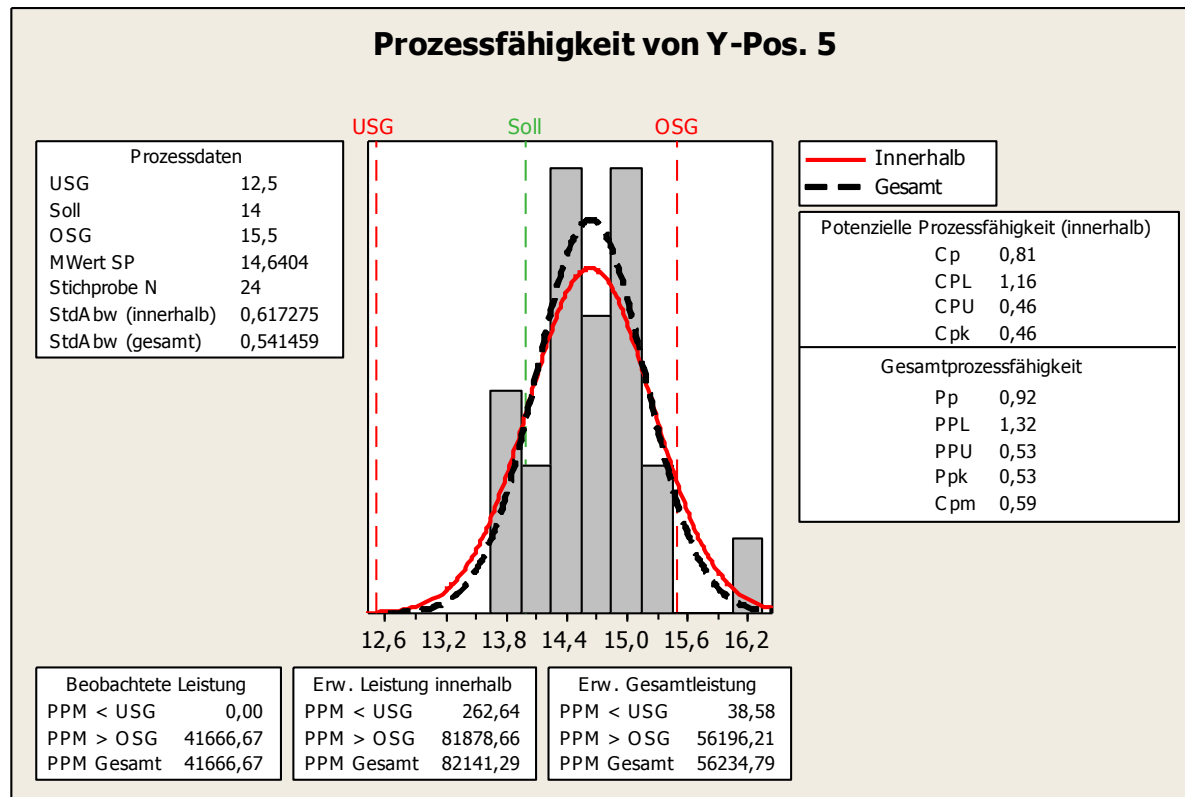


Bild: Prozessfähigkeit und Fähigkeitsindizes Cpk, Ppk für stetiges Y

Praxisbeispiel Verschraubungen: Kurvendaten aus Produktmerkmalen oder Prozessparametern

Praxisbeispiel: Verschraubungen

Die Parameter steuern in den verschiedenen Stufen, in denen der Schraubprozess abläuft, ob die jeweilige Stufe mit iO oder niO absolviert wurde. Erst iOs für alle Stufen ergeben ein iO für den Gesamtprozess und damit für die gerade produzierte Schraubverbindung. Damit ist $Y = 0/1$ bzgl. des Gesamtprozesses eindeutig definiert.

Das funktioniert heute schon 280.000 mal pro Tag, Werk und OEM im Automotive

Kurven-Verlauf einer n.i.O. Verschraubung

SOLL-Moment Fenster

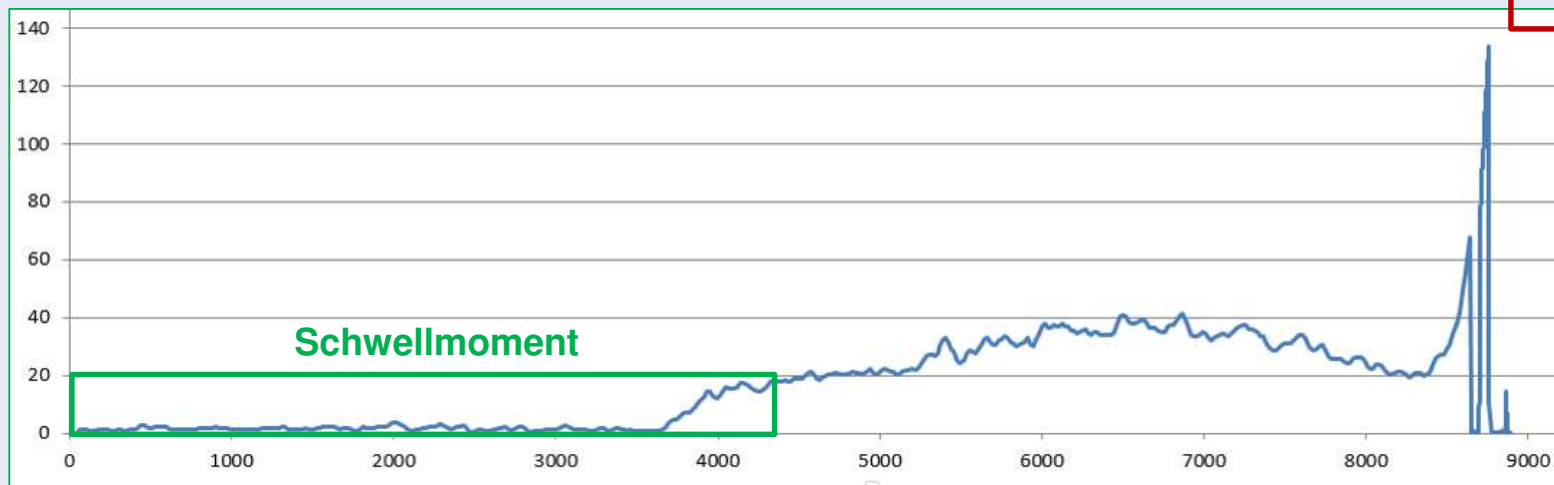


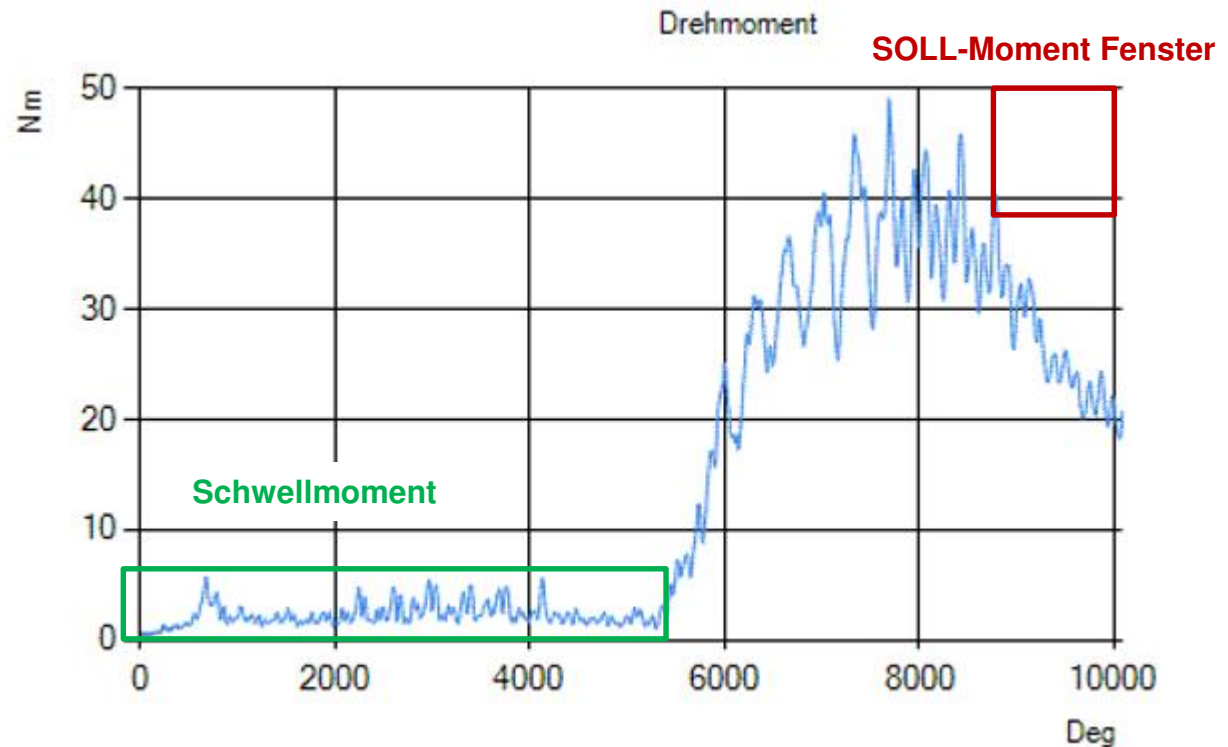
Bild: niO Verschraubung, da das Spezifikationsfenster für das SOLL-Moment nicht erreicht wurde

Praxisbeispiel Verschraubungen: Kurvendaten aus Produktmerkmalen oder Prozessparametern

Fehlt nur noch das Fehlerbild zu den $Y = 1$ (niO-Fällen)

Wenn man die Fehlerbilder durch den Kurven-Verlauf vollautomatisch bestimmen könnte, dann wäre es möglich die Häufungen der Fehlerbilder für die ca. 350 Verschraubungen pro Fahrzeug anhand der aufgezeichneten Schraubkurven zu analysieren und Maßnahmen / Lösungen zu implementieren. Bei einer Fehlerrate von durchschnittlich 2% (Annahme) sind immerhin 5600 niO Kurven mit Fehlerbildern pro Tag und Fabrik, die gesichtet und bestimmen werden müssten.

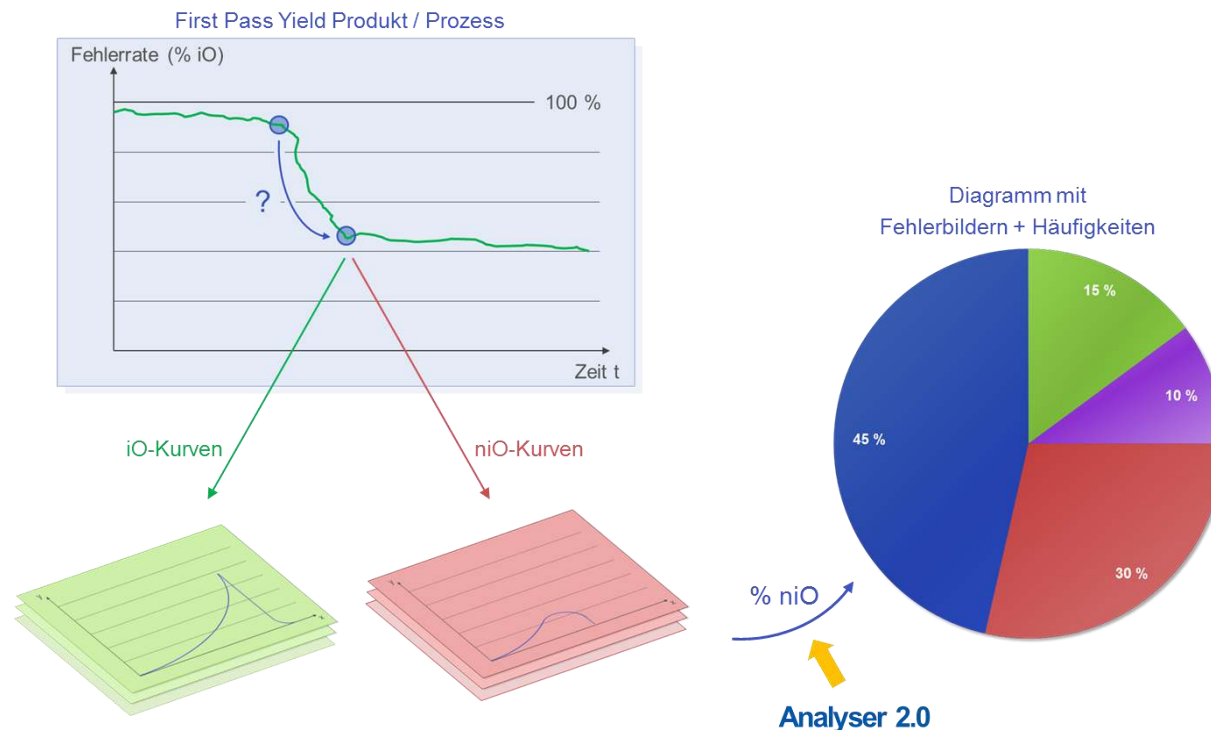
Der Analyser 2.0 erkennt anhand der Kurvenverläufe bei niO Verschraubungen vollautomatisch die Fehlerbilder.



Praxisbeispiel Verschraubungen: Kurvendaten aus Produktmerkmalen oder Prozessparametern

Vollautomatische Erkennung der Fehlerbilder aus Kurvenverläufen von niO Verschraubungen. Das geht nur mit einem selbstlernenden System:

Der Analyser 2.0 kann iO- und niO-Fälle auf Basis der Kurvenverläufe unterscheiden. Des Weiteren erkennt er aus den niO-Prozesskurvenverläufen typische Fehlerbilder und stellt diese mit ihren Häufigkeiten dar (Abbildung 1).



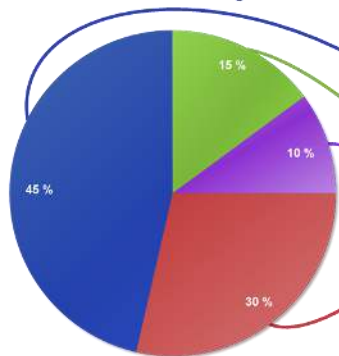
Angewendete Six Sigma Tools:

- Requirement Tree
- VOC-CTQ-Matrix
- Zeitreihendiagramm
- Tortendiagramm
- Pareto-Diagramm
- Statistische Kenngrößen der Kurven-Wertepaare Y vs. X

Praxisbeispiel Verschraubungen: Kurvendaten aus Produktmerkmalen oder Prozessparametern

Über die hinterlegte Wissensbasis ist der Analyser 2.0 in der Lage für die aus den Kurvendaten ermittelten Fehlerbilder die wahrscheinlichsten Grundursachen (Root Causes) zu berechnen und priorisiert darzustellen. Die Ursachen sind wiederum mit den jeweiligen Lösungen und Maßnahmen verknüpft (Abbildung 2).

Diagramm mit Fehlerbildern + Häufigkeiten



Buch des Wissens - Fehlerbilder + Fehlerursachen

Fehlerursachen	Priorisierung	Fehlerursache 1	Fehlerursache 2	Fehlerursache 3	Fehlerursache 4	Fehlerursache 5	...	Fehlerursache n
Fehlerbilder (durch Analyser priorisiert)								
Fehlerbild 1 (45%)	0,45	3	9	3	1	1	...	9
Fehlerbild 2 (30%)	0,30	9	3	3	1	1	...	3
Fehlerbild 3 (15%)	0,15	3	3	9	3	1	...	1
Fehlerbild 4 (10%)	0,10	3	1	9	1	3	...	1
...
Fehlerbild n (... %)	0,...	1	3	3	9	3	...	1
Technische Bedeutung		4,8	5,5	4,5	1,3	1,2	0	5,2

Buch des Wissens - Fehlerursachen und Maßnahmen

Fehlerursachen	Maßnahme 1	Maßnahme 2	Maßnahme 3	Maßnahme 4	Maßnahme 5	...	Maßnahme n
Fehlerursache 1	1	5	2	1	1	...	4
Fehlerursache 2	5	1	2	1	1	...	2
Fehlerursache 3	2	2	1	1	1	...	1
Fehlerursache 4	1	1	1	1	1	...	1
Fehlerursache n	4	2	1	1	1	...	1
Technische Bedeutung	20,2	20,1	15,7	11,8	14,3	0	7,3

Priorisierung der Fehlerursachen

Priorisierte Maßnahmen / Lösungen

Angewendete Six Sigma Tools:

- Tortendiagramm, Pareto-Diagramm
- QFD – Quality Function Deployment
- HoQ – House of Quality
- Technische Bedeutung aus QFD
- $RZ = A \times B$ (Risikozahl mit Auftretenswahrscheinlichkeit und Bedeutung / Schwere

Praxisbeispiel Verschraubungen: Buch des Wissens

Damit bietet der Analyser 2.0 eine systematische Analyse der Fehlerbilder und Ursachen mit passenden Maßnahmen und Lösungen basierend auf dem sogenannten „Buch des Wissens“, einer Technologiedatenbank mit Expertenwissen.

The screenshot displays a software interface for the 'Buch des Wissens' (Book of Knowledge). It features a header with a German flag and a search bar. Below the header is a large table with multiple columns. The columns are color-coded and contain text, likely representing different stages of analysis or data points. The table is organized into rows, each representing a specific entry or error type. The interface also includes a navigation pane on the left and a status bar at the bottom.

Angewendete Six Sigma Tools:

- QFD – Quality Function Deployment
- HoQ – House of Quality
- Technische Bedeutung aus QFD
- $RZ = A \times B$ (Risikozahl mit Auftretenswahrscheinlichkeit und Bedeutung / Schwere)
- Ishikawa-Diagramm

„Buch des Wissens“:

Fehlerbilder -> Ursachen -> Maßnahmen & Lösungen

Praxisbeispiel Verschraubungen: Teach-In Verfahren

In einem einmalig anzuwendenden Teach-In-Verfahren kann ein Experte einen repräsentativen Teil der Kurven beurteilen und so die Fehlerbilder im System hinterlegen (Abbildung 3).

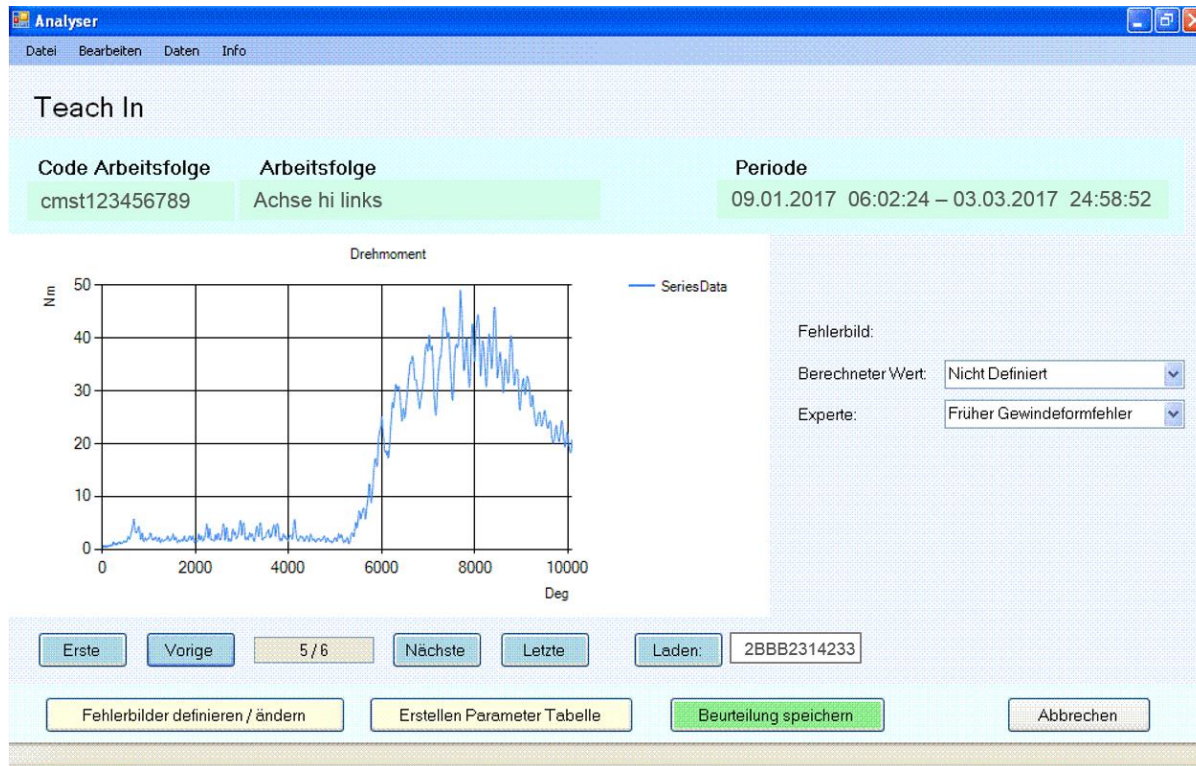


Abbildung 3: User-Interface und Kurvenansicht im Teach-In Modus

Angewendete Six Sigma Tools:

- Statistische Kenngrößen der Kurven-Wertepaare Y vs. X
- Box Plots
- Hypothesentests und Korrelationen nach Cramer`s V
- Binäre Logistische Regression

Praxisbeispiel Verschraubungen: Mögliche Anwendungsfälle (Auszug)

Der Grundgedanke des Analyser 2.0 ist es, Kurveninformationen für die Fehleranalyse zu nutzen. **Alle digital überwachten Produkt- und Prozessmerkmale in Form von Kurvenverläufen können mit Hilfe des Analyser 2.0 analysiert, kontrolliert und optimiert werden.** Der Analyser 2.0 ist dabei präventiv als Online-Tool oder reaktiv für die Produkt- und Prozessoptimierung einsetzbar für:

Digital überwachte Schraubverbindungen, Pressvorgänge (und ähnliche Montageprozesse)

- Drehmomentverlauf [Nm] über Drehwinkel [°] mit Anzugsverfahren in mehreren Stufen
- Kraft [N] über Weg [mm]

Hysterese Schleifen

- Werkstofftechnik: Spannungs-Dehnungs-Diagramme
- Ventile: Kraft [N] über Weg [mm] an bestimmten Wegpunkten und F_{\max} .
- Regelungstechnik, Schaltungen

Akustik und Schwingungsthemen:

- Vibrationen, NVH Themen (Schalldruckpegel [dB] über Drehzahl [U/min])
- Akustik- und Geräuschoptimierung

Kunststoffspritzgießen

- Druck [bar] über Zeit [s] oder Weg [mm]
- Temperatur [°C] über Zeit [s] oder Weg [mm]
- Optimierung der Steuerungs- und Regelungstechnik

und viele mehr...

Praxisbeispiel Verschraubungen: 5 Schritten zum vollautomatischen Ursachen-Analyser



Produktions- und Montageprozesse

Digitale Überwachung und Aufzeichnung von Prozesskenngrößen und deren Kurvenverläufe.

Datenschnittstelle, grafische Darstellung

Flexible Schnittstelle zum Import der Kurvendaten (online oder über Datenbank). Grafische Darstellung der Einzelkurven.

Teach-In-Verfahren

Hinterlegen von kurvenspezifischem Expertenwissen zu Fehlerbildern oder anderen Unregelmäßigkeiten.

Buch des Wissens

Hinterlegte Fehlerursachen, zugehörige Maßnahmen und Lösungsvorschläge zur Fehlerbehebung (optional).

Fehlerursachenanalyse

Automatisierte Analyse der gesamten Eingangsdaten und Auswertung der im Prozessverlauf aufgetretenen Fehler. Grafische Darstellung der Auswertung mit Fehlerhäufigkeiten und priorisierten Ursachen und Maßnahmen / Lösungen (optional über Buch des Wissens).

Six Sigma Vision 2020 – Praktische Anwendung für Industrie 4.0

Fragen?

Kontakt

mts Consulting & Engineering GmbH

Postadresse:

Wernher-von-Braun-Straße 8
D-82256 Fürstenfeldbruck

Büro:

Oskar-von-Miller-Straße 4d
D-82256 Fürstenfeldbruck

Telefon +49.8141.888 403-0

Fax +49.3222.376 25 38

E-Mail info@mts-contech.com

www.mts-contech.de