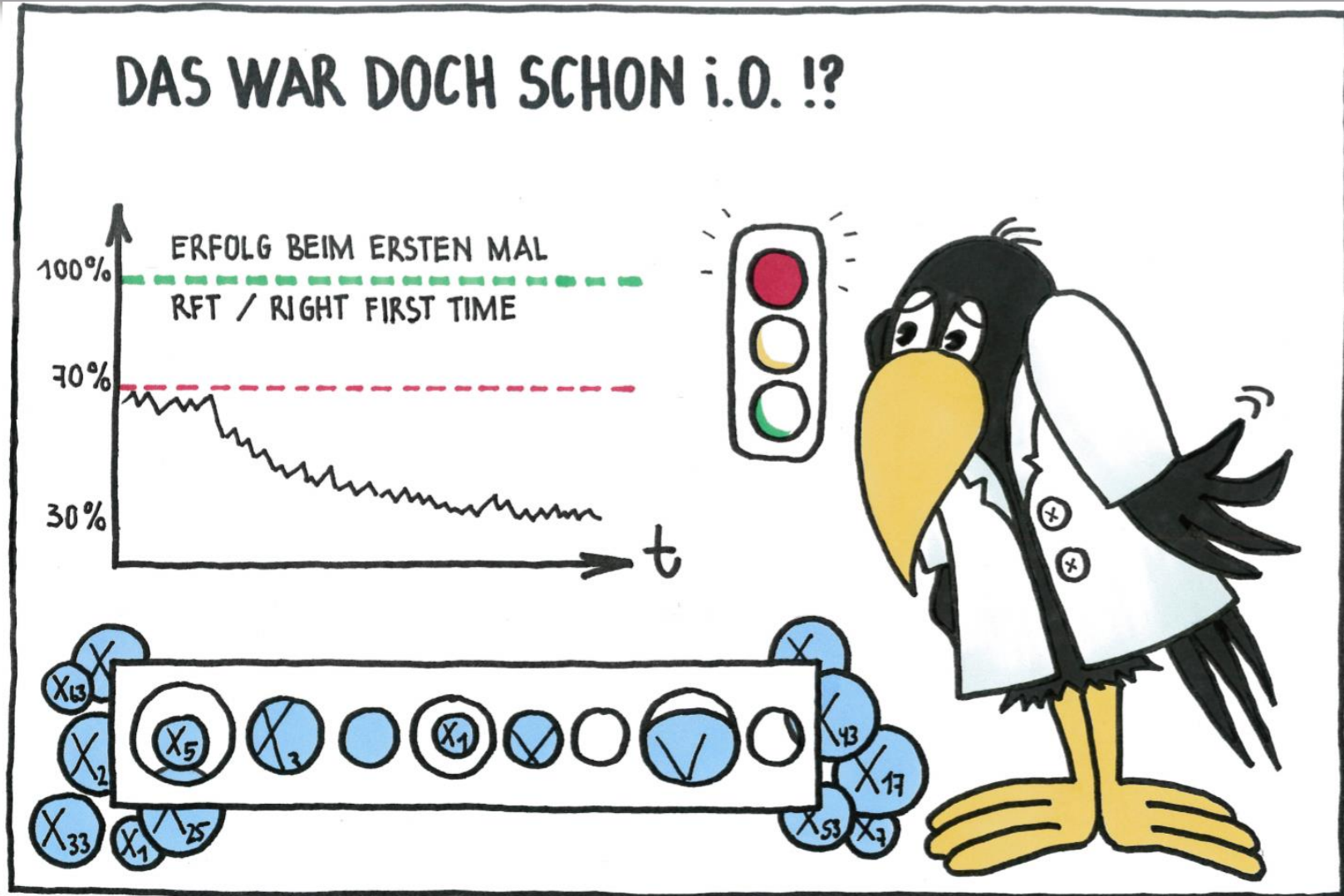


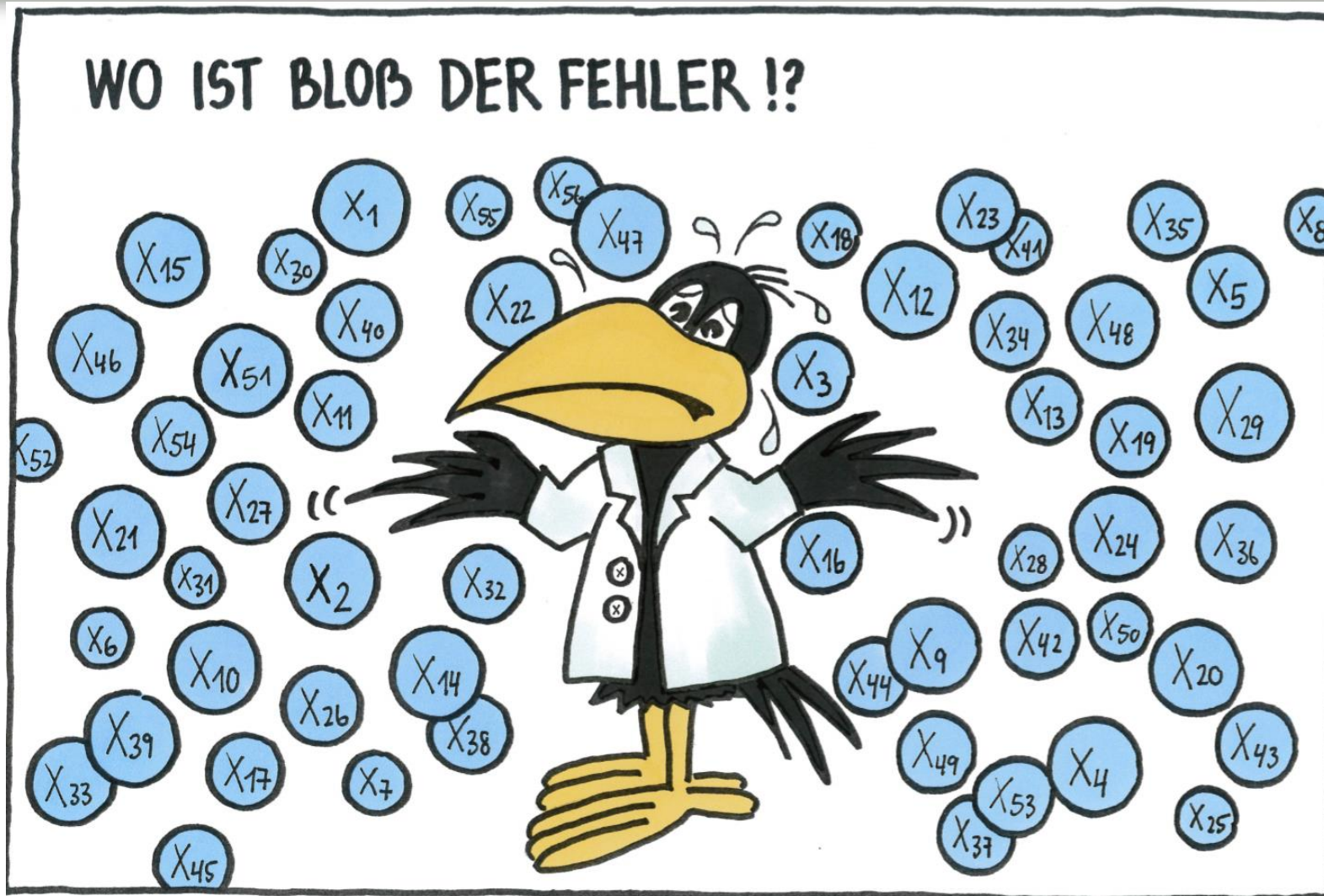
Robust Design

Konzepte für Produkte und Herstellprozesse /
Anlagen entwickeln, bewerten und auswählen

Das Thema

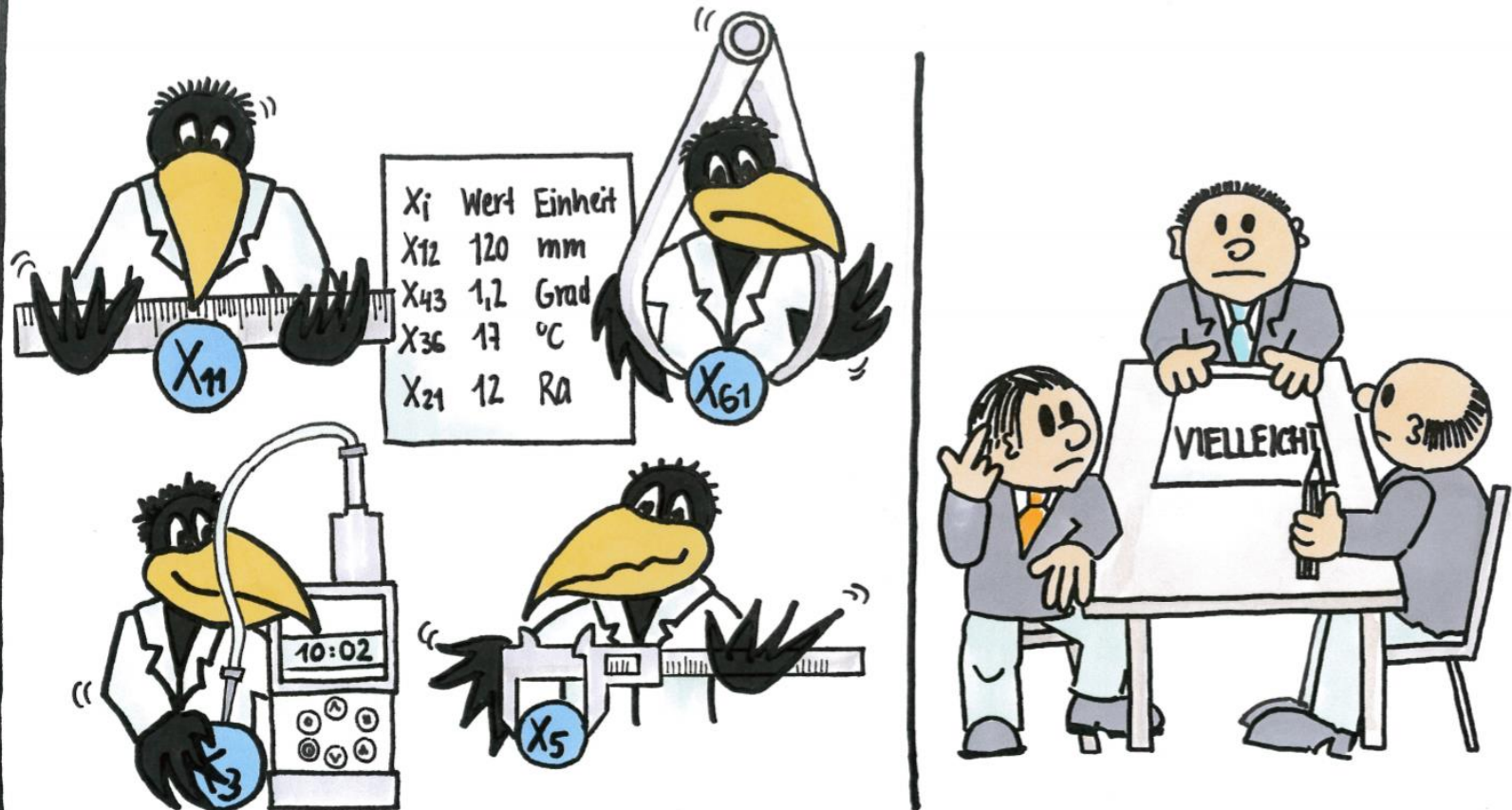


Die Lösungsversuche



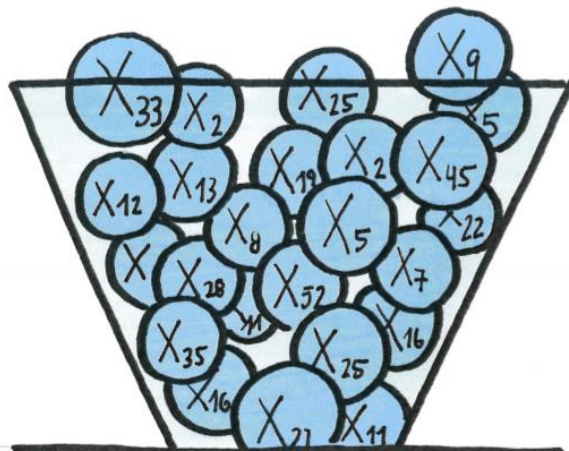
Der Lösungsweg

MESSEN NICHT VERMUTEN !



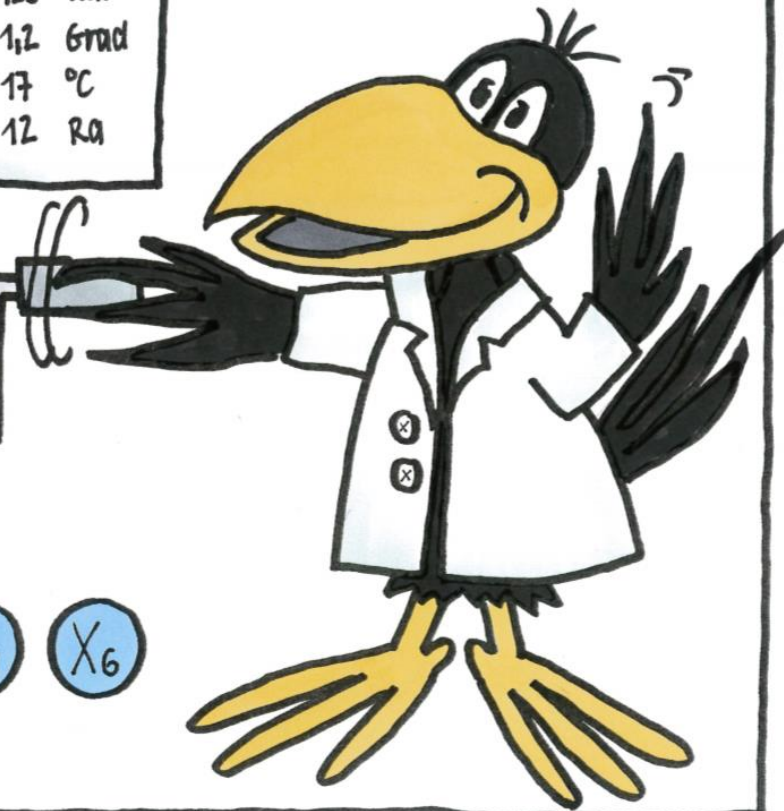
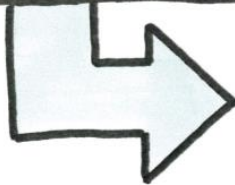
Die Lösungsmethode – Robust Design für Produkte & Prozesse

DIE LÖSUNG: TRANSFERFUNKTIONEN $Y=f(X_i)$



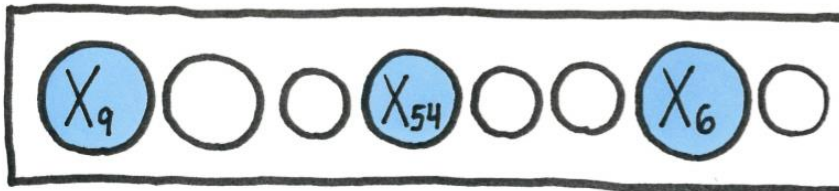
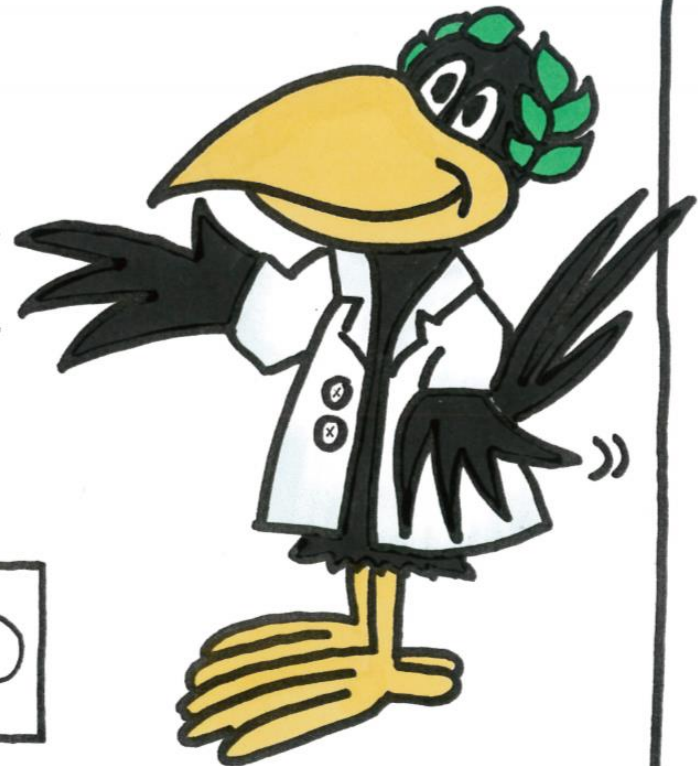
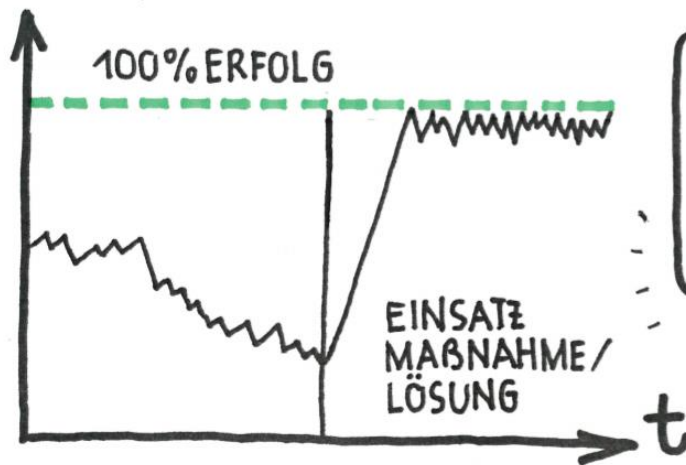
X_i	Wert	Einheit
X_{12}	120	mm
X_{43}	1,2	Grad
X_{36}	17	°C
X_{24}	12	RA

mts Robust Design



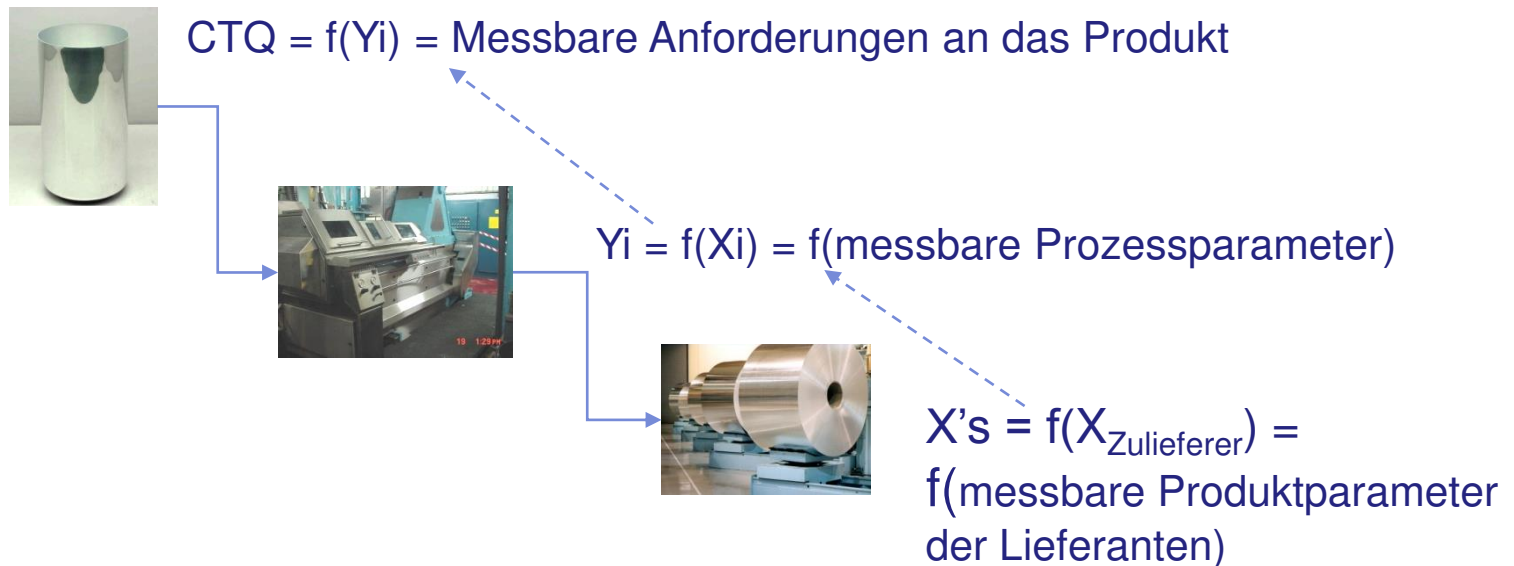
Die Lösung

GESCHAFFT, ES IST i.O.!



Robust Design – Die kausale Kette

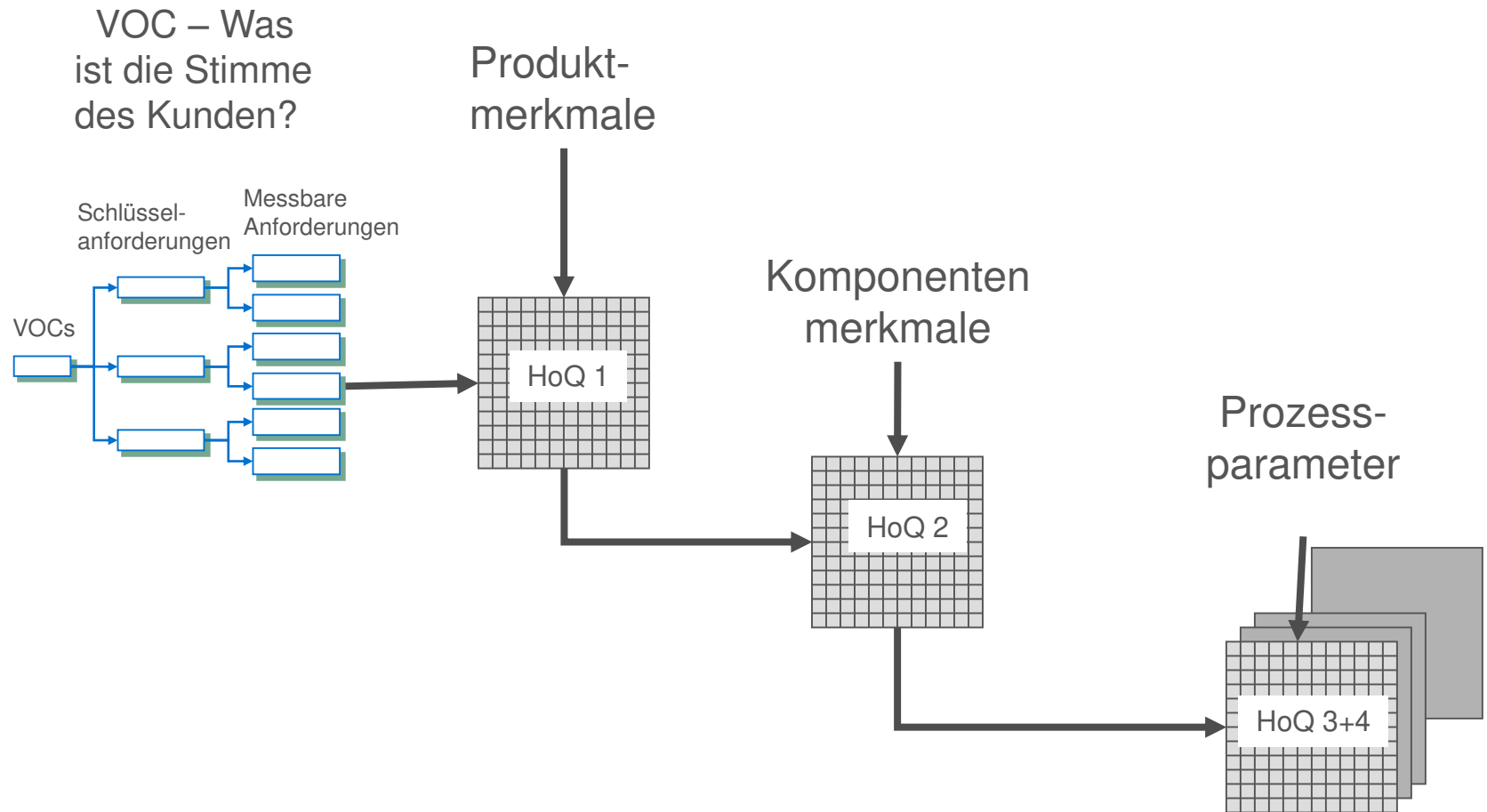
Ziel: Aufbau einer kausalen Kette vom Endprodukt bis hin zu den Prozessparametern



Nutzen:

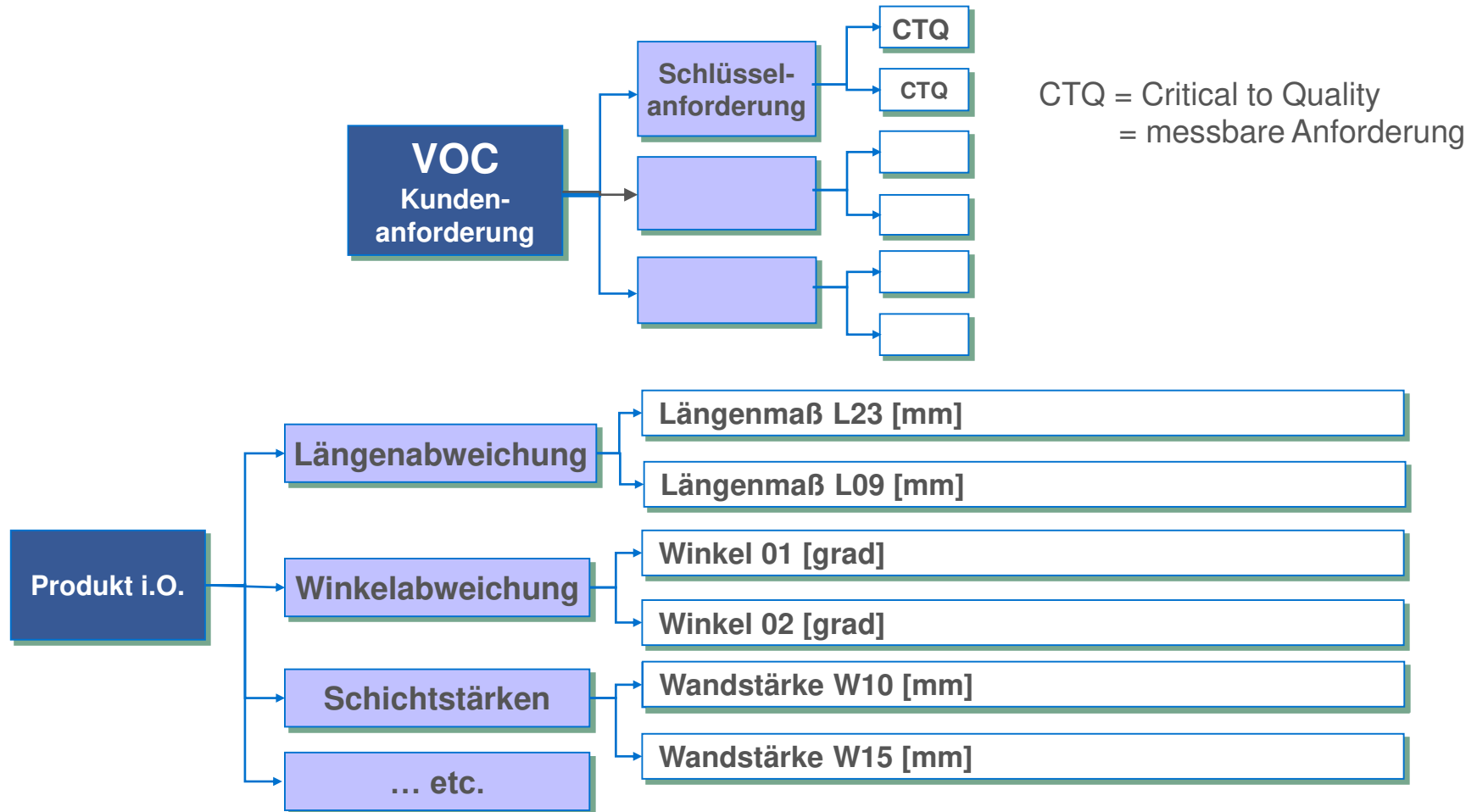
- Kennen der Transferfunktionen $Y_i = f(X_i)$ für Produkte & Prozesse
- Kostensenkungen durch optimierte Parametrierung und Tolerierung
- Kennen der Risiken (Produkt & Prozesse)

Robust Design – Der Weg zum robusten Produkt



Robust Design – 1. Anforderungsmanagement

Anforderungen in messbare Größen übersetzen



Robust Design – 2. Funktionen ableiten mittels Blockschaltdiagramm und Funktionsanalyse

Anforderungen → Funktionen → Produktmerkmale

Critical to Quality

- Farbhelligkeit
- Maßhaltigkeit
- Keine sichtbaren Fehler wie Risse, Fugen, etc.
- Farbton
- Haftung
-



Neues, zu
entwickelndes
Produkt

Messbare Produktmerkmale

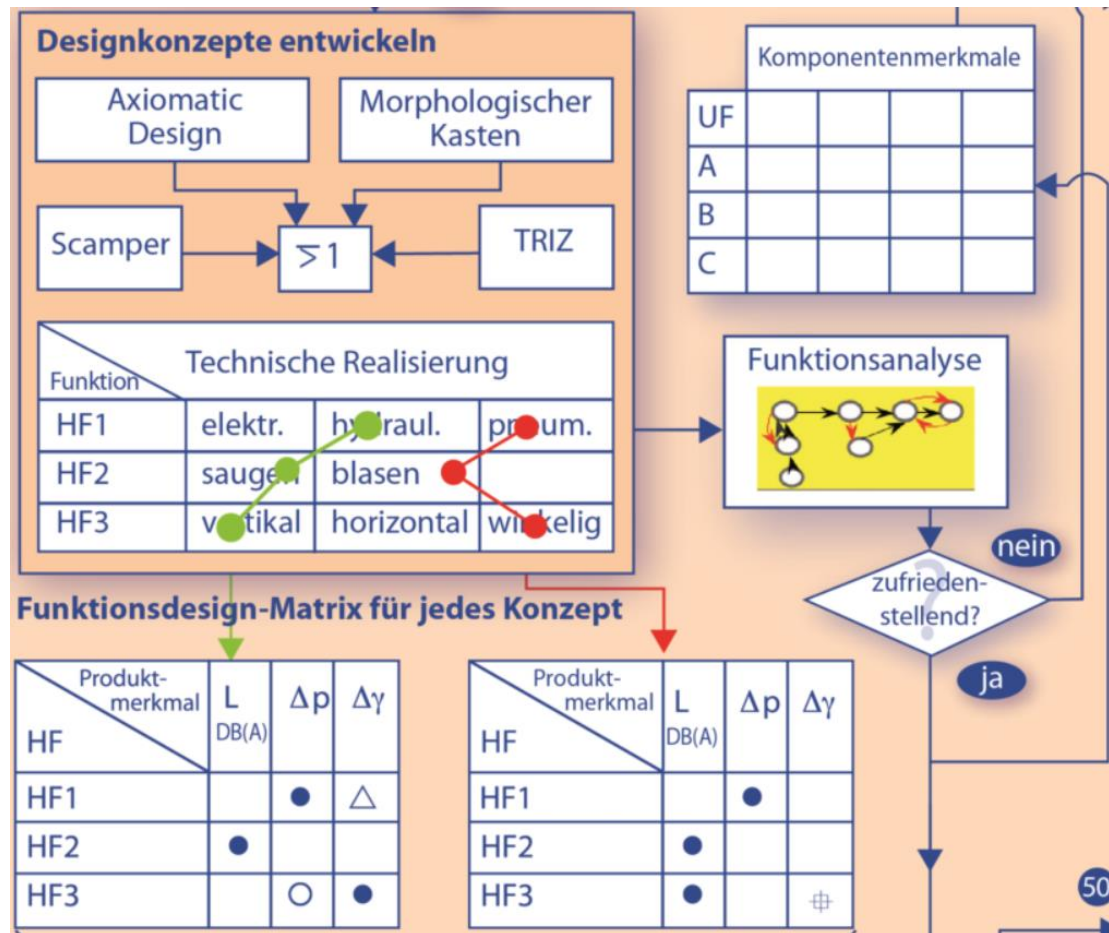
- Spaltmaß [mm]
- Länge [mm]
- Helligkeit
- Welligkeit
- Abzugskraft [N/mm²]
-

Kernfrage: Welche **Funktionen** muss das künftige Produkt erbringen, damit die messbaren Anforderungen CTQ's erfüllt werden ?

Unabhängig von der Technologie !

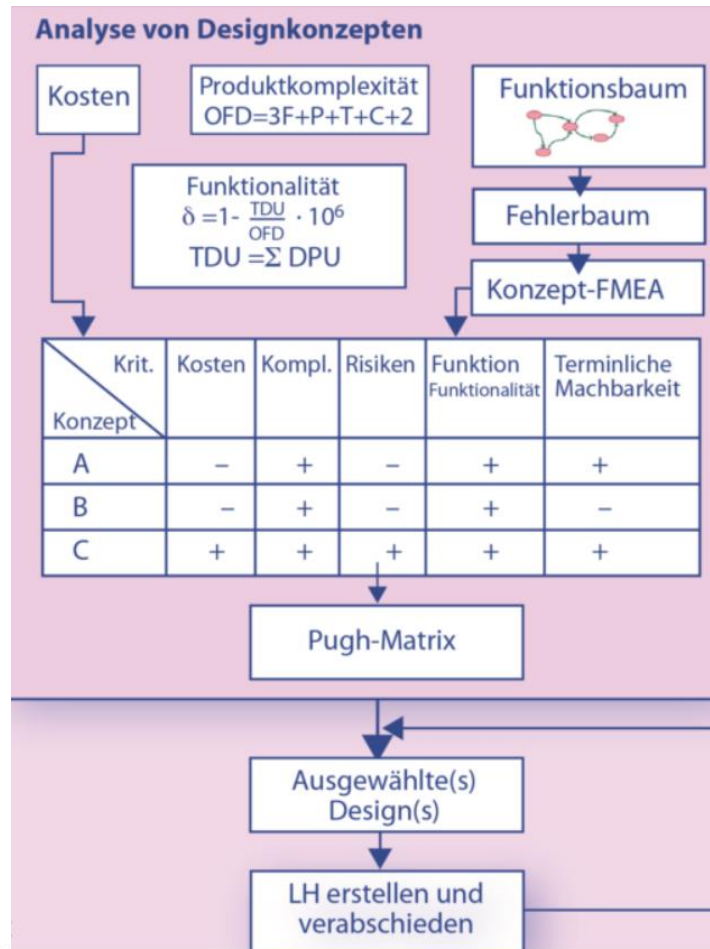
Robust Design – 3. Auf Basis Funktionen Konzepte entwickeln

Mittels Kreativtechniken, Morphologischem Kasten, Scamper, TRIZ und Axiomatic Design werden möglichst viele gute und taugliche Konzepte entwickelt.



Robust Design – 4. Konzepte analysieren und bewerten

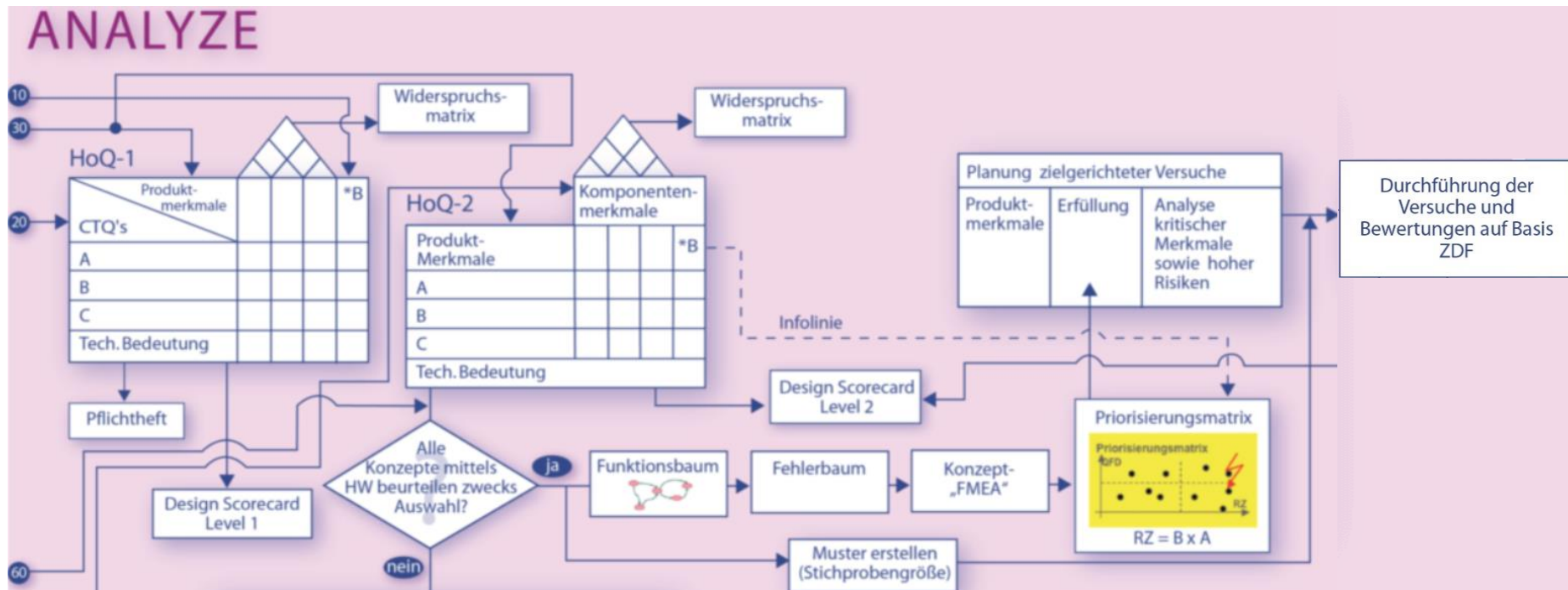
Die tauglichen Konzepte werden nach Funktionalität, Risiko, Komplexität, Kosten und terminlicher Machbarkeit bewertet und untereinander in einer Pugh-Matrix verglichen.



Es kommt sowohl die FMEA – Fehlermöglichkeits- und Einfluss-Analyse als auch die FTA – Fault Tree Analysis (Fehlerbaumanalyse) zum Einsatz.

Robust Design – 5. Konzepte aufbauen & messen

Die oder das ausgewählte Konzept wird als Muster oder Kleinserie gebaut bzw. gefertigt. Statistische Analysen auf Basis der Messdaten ermitteln die Wirkzusammenhänge der kausalen Kette,



Robust Design – 6. Mögliche Wirkzusammenhänge dokumentieren

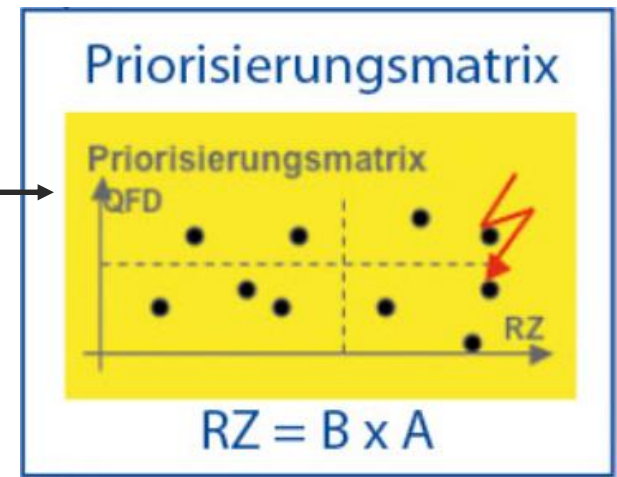
Das HoQ – House of Quality dokumentiert die möglichen Wirkzusammenhänge und damit die möglichen kausalen Ketten für Produkt und Prozesse

Produktmerkmal / Prozessparameter Critical to Quality / Zielgrößen Gesamtsystem	Priorität	Gießen	Formendruckverlauf [bar] 1 DS/2 DS/DM	Werkzeugtemperatur [°C]	Komponententemperatur ISO [°C]	Komponententemperatur POLY [°C]	Entlüftungszeit [s]	Geschlossene Zeit [s]	Mischungsverhältnis POLY:ISO	Schusszeit [s]	Teilehandling	Trennmittelentzug aufs Bauteil [y/n]	Materialalterung POLY [n]	Materialalterung
Farbhelligkeit	0,6		3	9	3	9	3	3	9	3	3	3	9	3
Farbton vor PUR	4,7		1	3	3	1	9	9	3	9	3	3	3	3
Gleichmäßigkeit der Farbe	1,8		3	9	1	3	1	9	9	9	1	1	9	1
Sichtbare Fehler (Risse, Fugen, Leimdurchschlag, Beizränder) vor PUR	8,8		9	9	9	1	9	9	9	1	9	9	9	9
"Sperrgrund" Blasen [cm²]	8,8		9	9	9	9	9	1	9	9	9	9	9	9
Farbton nach PUR	6,5		3	3	3	1	3	3	3	3	3	3	3	3
Sichtbare Fehler (Risse, Fugen, Leimdurchschlag, Beizränder, Einschlüsse, Blasen (Schaumränder)) nach Oberflächenaufbauhaftung	9,4		9	3	1	9	3	1	3	3	1	1	3	1
Störung: Wölbung/Lackblasen	10,0		3	3	1	3	1	3	3	3	1	3	3	3
Technische Bedeutung			425	332	215	345	262	267	332	286	215	235	332	235

Robust Design – 7. Einflussgrößen priorisieren

Produktmerkmal / Prozessparameter Critical to Quality / Zielgrößen Gesamtsystem	Priorität	Gießen	Formbindendruckverlauf [bar] 1 DS/2 DS/3 DM	Werkzeugtemperatur [°C]	Komponententemperatur ISO [°C]	Komponententemperatur POLY [°C]	Entlötungszeit [s]	Geschlossene
Farbhelligkeit	0,6		3	9	3	9	3	3
Farbton vor PUR	4,7		1	3	3	1	9	9
Gleichmäßigkeit der Farbe	1,8		3	9	1	3	1	9
Sichtbare Fehler (Risse, Fugen, Leimdurchschlag, Beizränder) vor PUR	8,8		9	9	9	1	9	9
"Sperrgrund" Blasen [cm²]	8,8		9	9	9	9	9	1
Farbton nach PUR	6,5		3	3	3	1	3	3
Sichtbare Fehler (Risse, Fugen, Leimdurchschlag, Beizränder, Einschlüsse, Blasen (Schaumränder)) nach	9,4		9	3	1	9	3	1
Oberflächenauflaufhaftung Störung: Wölbung/Lackblasen	10,0		3	3	1	3	1	3
Technische Bedeutung			425	332	215	345	262	267

QFD: Technische Bedeutung aus
HoQ 1, 2 oder 2+4
RZ: aus Produkt Design FMEA
und/oder Prozess FMEA



Robust Design – 8. Versuche zur Ermittlung der Produkt- / Prozesstransferfunktionen planen

Versuchsplanung zur Ermittlung der Produkttransferfunktion(en)							
Produkt-merkmal	Daten-art	Komp. Merkmal	Daten-art	Hypo- these	beabsicht. Einstellung	n	Tool
L [dB(A)]	stetig	ra - HR	stetig	je rauher HR, umso lauter	6 μ , 8 μ , 10 μ ...	15	Regression

Für Daten aus der laufenden Produktion bzw. Vorserie / Nullserie

Für Versuche / DoE – Design of Experiments während der Entwicklung / des PEP

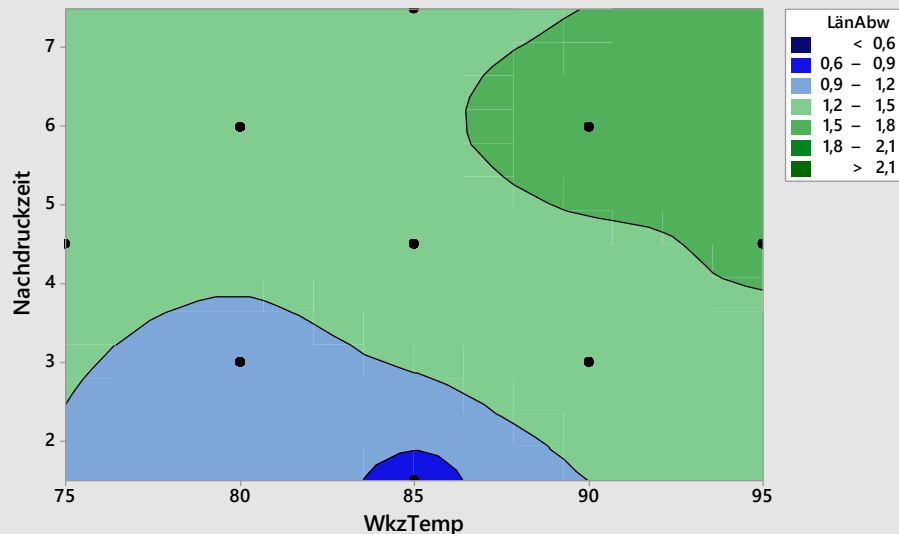
Komponentenmerkmal [X]	Importance	TB	Bemerkung/ Messverfahren	Stufe1	Stufe2	Hypothese
Deckfurnier Qualität	9	263	Vergleichsmuster	quer	längs	
Klebefilmtyp	9	219	Messung nach GS 2015	Lieferant A	Lieferant B	
Deckfurnier Dicke (Rohfurnier vor Kaschieren)	9	173	Plattentaster / Dickenschwankungen	0,4	0,7	je dünner desto besser; je gleichmäßiger desto besser
Holzkitz Typ	9	156	Messung gemäß GS xxxx	Typ 1	Typ 2	Typ 2 ist besser als Typ 1
Vlies - Typ	9	144	Messung gemäß GS yyyy	VC 1	VC 2	VC 1 ist besser als VC 2
Vlies-Grammatur	9	144	Messung gemäß GS uuuu			je dicker desto welliger ;

Robust Design – 9. Statistische Analyse und Ergebnisse in die Praxis transformieren

Das Ergebnis der Versuche und / oder Messung von Produktionslosen sind die Wirkzusammenhänge, die in den **Transferfunktionen $Y = f(X_i)$** dokumentiert werden.

Das Produkt bzw. den Prozess unter Kenntnis der Wirkzusammenhänge optimieren

Längenabweichung = $f(\text{Nachdruckzeit; WkzTemp})$



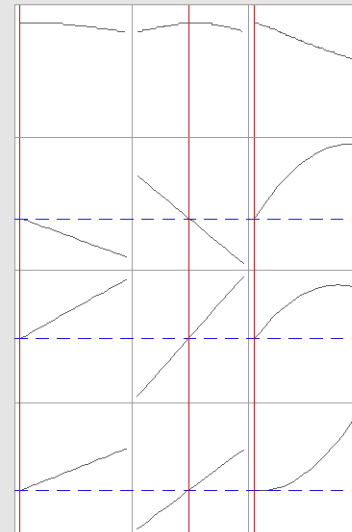
Optimal	Hoch	Nachdruc	ND Zeit	WkzTemp
D: 0,9049	Akt	525,0	7,50	95,0
	Progn.	[225,0]	[4,4091]	[75,0]
	Tief	225,0	1,50	75,0

Zusammengesetzt
Erwünschtheit
D: 0,9049

Fuge
Minimum
 $y = 0,6026$
 $d = 0,75630$

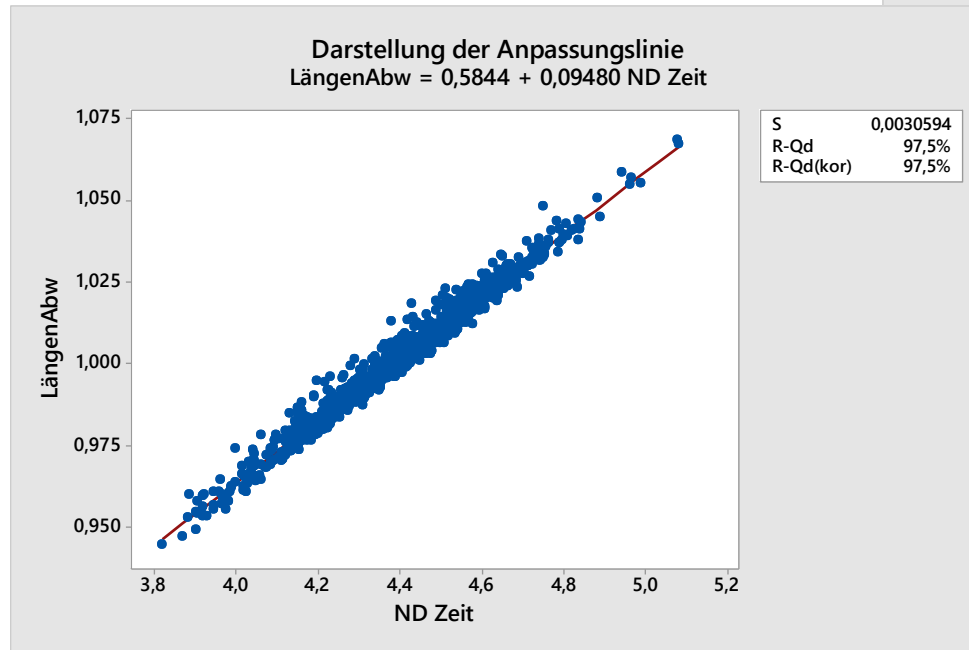
WinkelAb
Minimum
 $y = 0,2782$
 $d = 1,0000$

LängenAb
Minimum
 $y = 1,0242$
 $d = 0,97982$

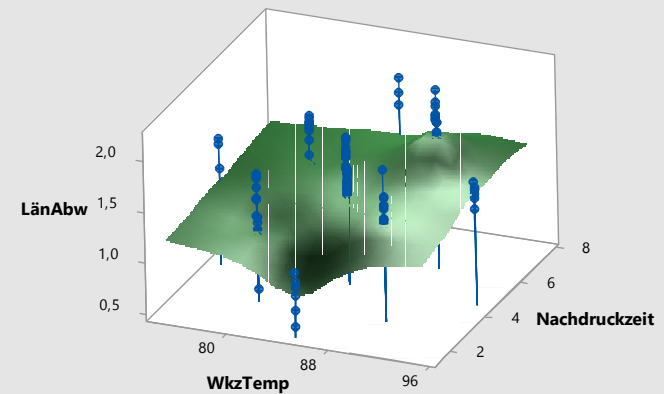


Robust Design – 9. Statistische Analyse und Ergebnisse in die Praxis transformieren

Das Ergebnis der Versuche und / oder Messung von Produktionslosen sind die Wirkzusammenhänge, die in den **Transferfunktionen $Y = f(X_i)$** dokumentiert werden.

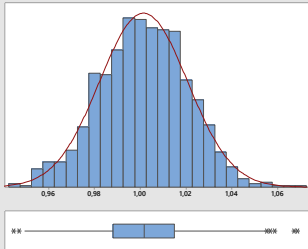


Längenabweichung = $f(\text{Nachdruckzeit; WkzTemp})$



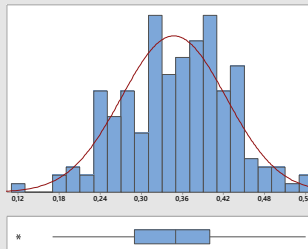
Robust Design - 10. Parametrierung und statistische Tolerierung der Einflussgrößen

Zusammenfassung für LängenAbw



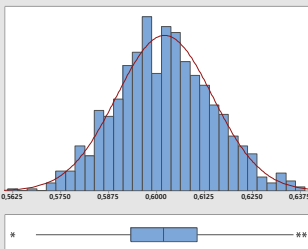
Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,40
p-Wert	0,366
Mittelwert	1,0014
StdAbw	0,0192
Varianz	0,0004
Schiefte	-0,0407861
Kurtosis	0,082876
N	1001
Minimum	0,9448
Erstes Quartil	0,9881
Median	1,0017
Drittes Quartil	1,0148
Maximum	1,0653
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	
	1,0002 1,0026
95%-Konfidenzintervall für Median	
	1,0003 1,0032
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	
	0,0184 0,0201

Zusammenfassung für WinkelAbw



Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,48
p-Wert	0,230
Mittelwert	0,34713
StdAbw	0,07642
Varianz	0,00584
Schiefte	-0,125147
Kurtosis	-0,159220
N	178
Minimum	0,12000
Erstes Quartil	0,29000
Median	0,35000
Drittes Quartil	0,40000
Maximum	0,54000
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	
	0,33583 0,35844
95%-Konfidenzintervall für Median	
	0,33462 0,37000
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	
	0,06922 0,08530

Zusammenfassung für Fuge



Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,43
p-Wert	0,303
Mittelwert	0,60210
StdAbw	0,01257
Varianz	0,00016
Schiefte	0,118636
Kurtosis	-0,213771
N	1001
Minimum	0,56252
Erstes Quartil	0,59335
Median	0,60185
Drittes Quartil	0,61064
Maximum	0,63859
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	
	0,60132 0,60287
95%-Konfidenzintervall für Median	
	0,60092 0,60282
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	
	0,01204 0,01314

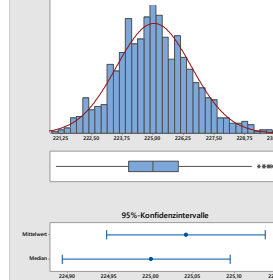
95%-Konfidenzintervalle



Vermeiden von Over Engineering durch statistisch abgesicherte Parametrierung und statistische Tolerierung von Produktmerkmalen und Prozessparametern

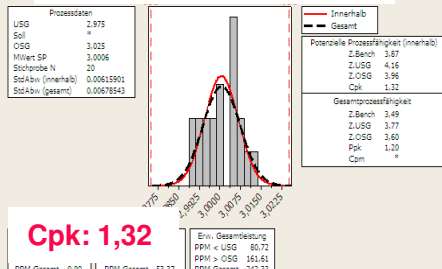
= f (

Nachdruck



Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,70
p-Wert	0,003
Mittelwert	223,04
StdAbw	1,51
Varianz	2,34
Schiefte	0,21867
Kurtosis	0,64075
N	8001
Minimum	220,04
Erstes Quartil	224,01
Median	225,00
Drittes Quartil	226,03
Maximum	228,00
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	
	224,95 225,14
95%-Konfidenzintervall für Median	
	224,89 225,09
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	
	1,47 1,60

Granulatbestandteil xy %

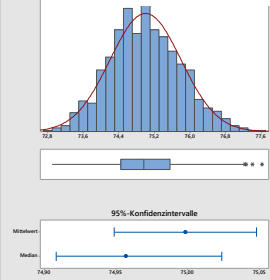


Prozessdaten	
USG	2,975
Sol	3,025
OSG	3,005
Mittel SP	3,0006
Stichprobe N	20
StdAbw (innerhalb)	0,00619901
StdAbw (gesamt)	0,00678543
Potenzielle Prozessfähigkeit (innerhalb)	
Z.Bench	3,87
Z.USG	4,16
Z.OSG	3,96
Cpk	1,32
Gesamtprozessfähigkeit	
Z.Bench	3,49
Z.USG	3,77
Z.OSG	3,60
Ppk	1,20
Cpm	1

Cpk: 1,32

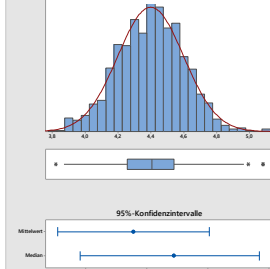
PPM Gesamt	0,00
PPM Gesamt	53,37
Erw. Gesamtsetzung	PPM < USG 80,72
	PPM > OSG 161,61
	PPM Gesamt 242,33

Werkzeugtemp.



Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,97
p-Wert	0,015
Mittelwert	74,998
StdAbw	0,800
Varianz	0,639
Schiefte	0,20303
Kurtosis	-0,15528
N	1001
Minimum	72,898
Erstes Quartil	74,447
Median	74,857
Drittes Quartil	75,550
Maximum	77,619
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	
	74,949 75,048
95%-Konfidenzintervall für Median	
	74,908 75,024
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	
	0,766 0,856

Nachdruckzeit



Anderson-Darling-Test auf Normalverteilung	
A-Quadrat	0,183
p-Wert	0,183
Mittelwert	4,3978
StdAbw	0,0001
Varianz	0,0000
Schiefte	-0,049987
Kurtosis	-0,037009
N	1001
Minimum	4,3899
Erstes Quartil	4,3954
Median	4,4045
Drittes Quartil	4,4140
Maximum	4,4202
95%-Konfidenzintervall für Mittelwert	
	4,3854 4,4002
95%-Konfidenzintervall für Median	
	4,3801 4,4054
95%-Konfidenzintervall für StdAbw	
	0,0197 0,0203

95%-Konfidenzintervalle



Schlüsselprojekte

Kunststoff und Spritzguss (Auswahl)

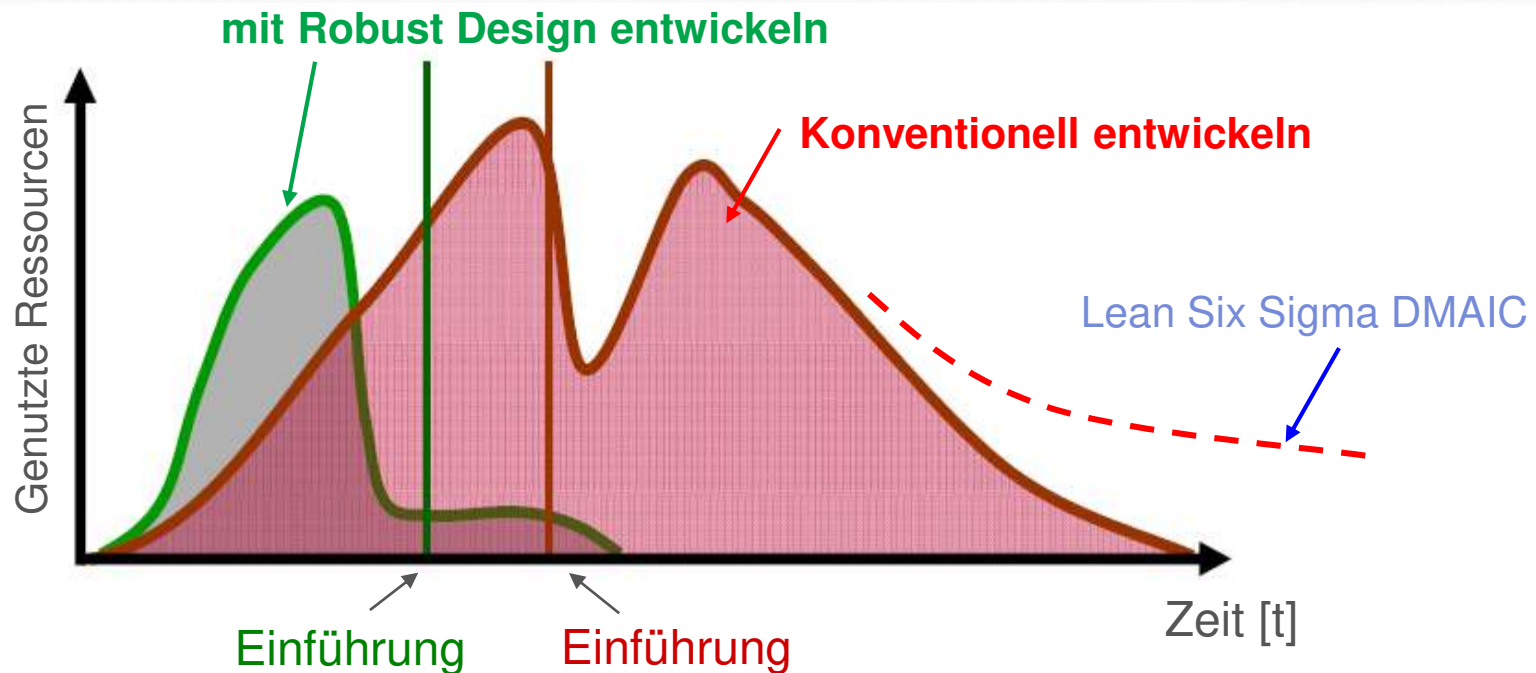
- Ausschussreduzierung im Spritzguss und in der Profilextrusion
- OEE (Overall Equipment Effectiveness) / Steigerung der Fertigungsleistung
- Kunststoff-Hybrid-Bauteile: Serienanlauf und Reduzierung Ausschussrate bei sicherheitsrelevanten elektrischen Lenksystemen
- Umspritzte Bauteile: RFT für Bestückung und vollautomatische Montage
- Laserschweißen von Kunststoffteilen: Prozessoptimierung
- Fzg.-Türinnenverkleidungen: Serienanlauf und Optimierung Kunststoffspritzguss
- Fzg.-Innenarmaturen: Serienanlauf und Optimierung Kunststoffspritzgussanlage
- Fzg. I-Tafel: Serienanlauf und robustes Produktdesign
- TPE- und PVC- Extrusion
- Spritzgussprozess (Kontaktsysteme): Reduzierung Fehleranteil und Zeitversatz

Schlüsselprojekte

Extrusion: Gummi und Kautschuk (Auswahl)

- Aufbau und Inbetriebnahme einer Fabrik zur Herstellung von Hydraulikschläuchen
- Fertigung von Reifenkomponenten, Schlauchfertigung
- Kontinuierliche Vulkanisation via Mikrowelle und Salzbad
- Dimensionierung und Layout von Kautschuk-Extrudern, und -Extruderschnecken
- Kalandr- und Rollerheadprozesse: Inbetriebnahme der weltgrößten Rollerhead-Anlage zur Transportbandherstellung
- Layout und Inbetriebnahme einer Douplex-Rollerhead-Anlage
- Walzenbeschichtung
- Layout und Konzeption einer neuen Generation von Warmfütterextrudern
- Kontinuierliches Compounding von Kautschuk auf Zweischneckenextrudern
- Compounding auf Zweischneckenextrudern: Recycling von Gummi

Robust Design - Ressourcenbedarf



Was ist neu an der Entwicklung mit Robust Design?

- Pro-aktiver, verlässlicher und vorhersagbarer Entwicklungsprozess
- Kundenwünsche umfassender betrachten, Risiken erarbeiten
- Kritische Designparameter identifizieren und Wirkzusammenhänge verstehen
- Verstehen der kausalen Kette → Robustes Design für Produkt & Prozesse

Kontakt

mts Consulting & Engineering GmbH

Wernher-von-Braun-Str. 8

D-82256 Fürstenfeldbruck

Tel.: 08141-888403-0

Mail: info@mts-contech.com

www.mts-contech.com