

Engineering-KI statt Try-and-Error

Rezyklat-Prozesse sicher parametrieren und Qualität live steuern

Mit Methode und dem Engineering-KI System Analyser®

Ressourcen-/ Energieeffizienz & Qualität nachhaltig steigern und dabei Kosten senken



Dipl. Ing. Frank Thurner

Fachpack 2025, Nürnberg



Preisträger
Bayerischer
Ressourcen-
Effizienz-
Preis 2021

Kennen Sie das?

Rezyklate schwanken
– damit auch Ihre
Qualität

Künftige Regulatorik:
kunststoffarme &
recyclefähige
Verpackung zeitnah
erfüllen

Qualitätsprobleme
treiben Kosten,
Rework,
Anlaufinstabilität

Validierungsschleifen
verschwenden Energie
& Ressourcen

Time-to-Market: vom
Design zur Serie zu
lang, zu teuer

Video

Werkzeugbau und Anlauf bei Recyklat-Kunststoffen

Was wäre, wenn Sie mit Methode und Engineering-KI...



Produktdesign:

...neue Produktfunktionalität nachhaltig absichern

- **Methodisch von Anfang an:** DfSS, MBSE + KI
- **Design for Manufacturing:** Frühzeitig prüfbare Machbarkeit & Fertigungstauglichkeit
- **Bis zu 30 % weniger Anlaufkosten**



Industrialisierung:

...sicher und schnell vom Prototyp zur Serie

- **Time-to-Series halbieren**
- **Zuverlässigkeit & Lebensdauer vorhersagen** – statt auf Erfahrungswerte vertrauen
- **Werkzeugverschleiß minimieren**



Serienproduktion:

...Probleme nachhaltig lösen und 24/7 optimieren

- **50 % weniger Ausschuss** durch automatische Ursachenanalyse im Live-Betrieb
- **Yield, Verfügbarkeit und OEE steigern** durch kontinuierliche Optimierung
- **Qualität aktiv steuern und regeln** – mit klaren Handlungsempfehlungen in Echtzeit



Verpackungvalidierung & Werkzeugbau:

...frühzeitig Probleme und Risiken erkennen

- Bis zu **60 % geringere Werkzeug- & Anlaufkosten** durch nur 2 statt 5 Validierungsschleifen
- **Herstellkosten um 10–30 % senken** durch Toleranzoptimierung
- **Expertenwissen automatisiert nutzen**



Wartung:

...Maschinen und Anlagen präventiv warten

- **Predictive statt reaktiver Instandhaltung:** Verschleißdaten & Ausfallrisiken zuverlässig vorhersagen
- **Condition Monitoring mit Vorhersagemodellen statt fixen Grenzen** durch integrierte Root-Cause-Analyse
- **Stillstände reduzieren, Wartungsintervalle optimieren** – für höheren OEE bei geringeren Kosten

Wie gelingt es wirklich in der Praxis?



Engineering First

Engineering mit KI-Unterstützung



Smart Data statt Big Data

wenige Anlernstichproben reichen

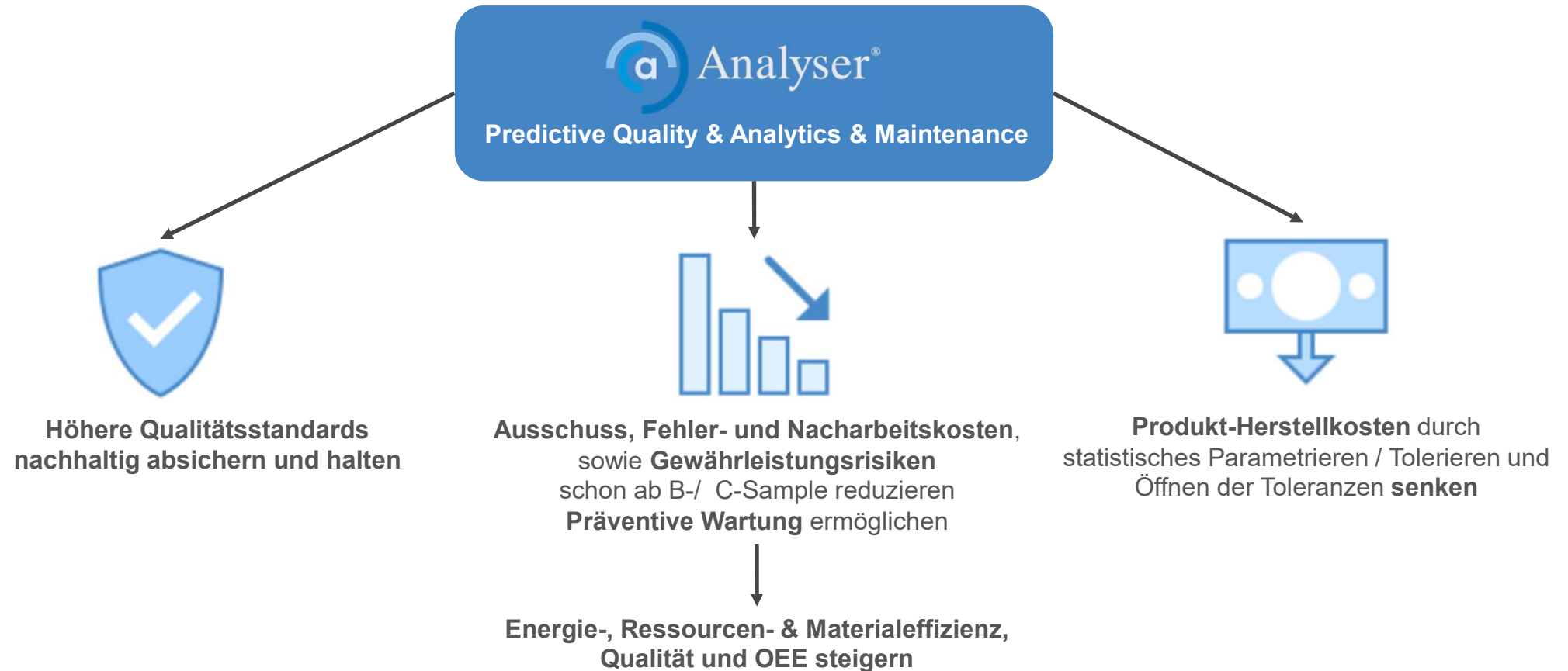


Systematisch erfolgreich

durch die Methode Robust Design

→ **Robuste Produkte und stabile Prozesse mit der Engineering-KI Analyser®**

Ressourcen- & Energieeffizienz, Qualitätssteigerung & Kostenreduzierung



Praxisbeispiele mit Rezyklat Kunststoffen

Neuprodukt & Werkzeugbau - Neuanlauf bis zur Serie

Ziel: Werkzeug- und Anlauf-Kosten sparen

Optimale Einstellung der Produktionsparameter & Einflussgrößen, um 25 messbare **Anforderungen & Q-Merkmale** nachhaltig in die Spezifikationen zu bekommen

- **Produkt-Design** nachhaltig absichern
- **Yield & OEE** nachhaltig verbessern und stabil halten
- **Kosten, Werkzeugkosten** und **Erprobungsschleifen** reduzieren

Ergebnis mit Engineering-KI Analyser®:

- **Best Setting** der Prozessparameter und Einflussgrößen für 25 messbare Anforderungen und Q-Merkmale
- Aussage, ob mit den eingesetzten **Werkzeugen** alle Q-Merkmale erfüllt werden können
- **Nachhaltig Qualität steuern** und regeln



Yoghurtbecher
mit Rezyklat



Yoghurtbecher
Original

Neuprodukt & Werkzeugbau - Neuanlauf bis zur Serie

Ziel: Werkzeug- und Anlauf-Kosten sparen

Optimale Einstellung der Produktionsparameter & Einflussgrößen, um **20** messbare **Anforderungen & Q-Merkmale** nachhaltig in die Spezifikationen zu bekommen

- **Produkt-Design** nachhaltig absichern
- **Yield & OEE** nachhaltig verbessern und stabil halten
- **Kosten, Werkzeugkosten** und **Erprobungsschleifen** reduzieren

Ergebnis mit Engineering-KI Analyser®:

- **Best Setting** der Prozessparameter und Einflussgrößen für 20 messbare Anforderungen und Q-Merkmale
- Aussage, ob mit den eingesetzten **Werkzeugen** alle Q-Merkmale erfüllt werden können
- **Nachhaltig Qualität steuern** und regeln



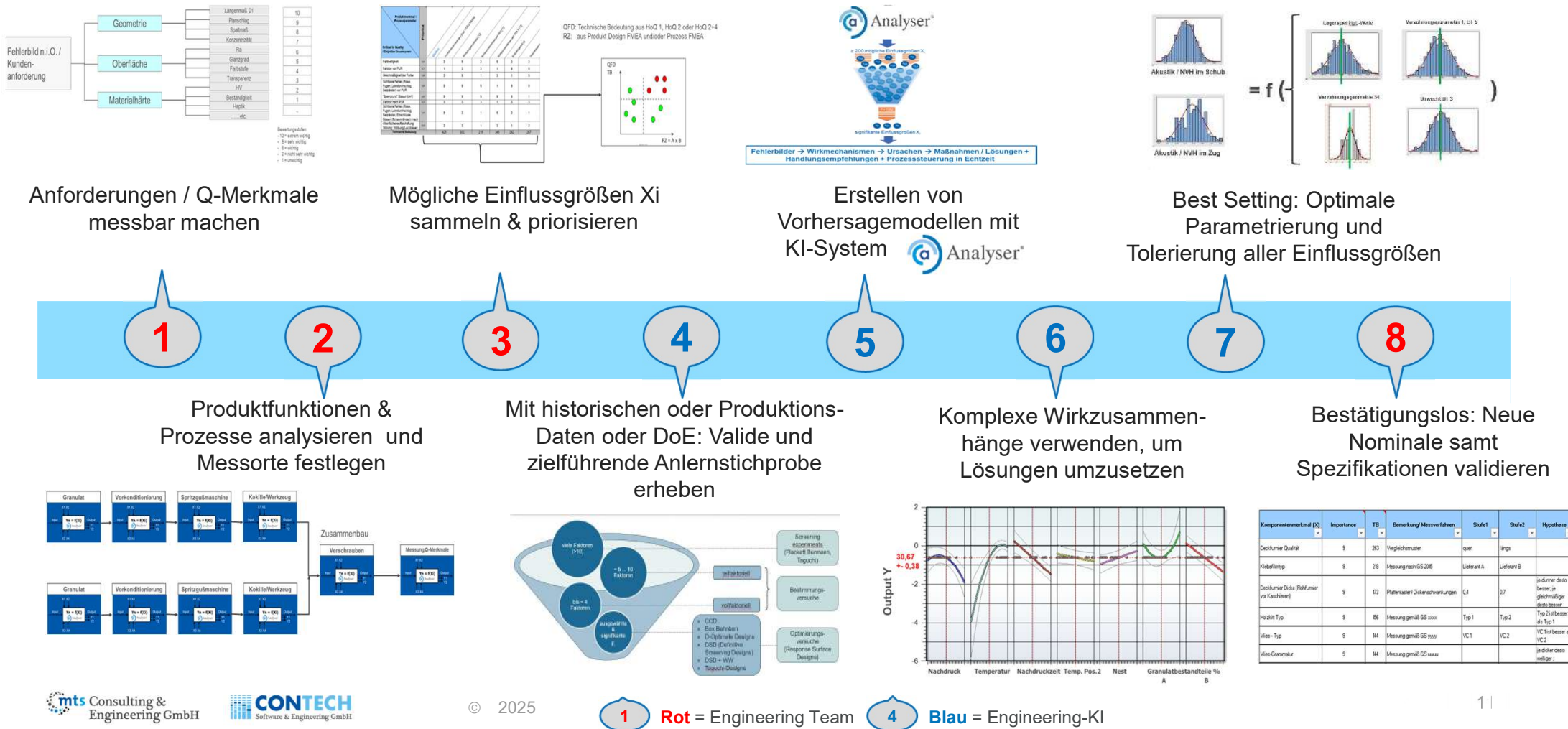
Blasfolie mit Rezyklat



Blasfolie Original

Wie machen wir das?

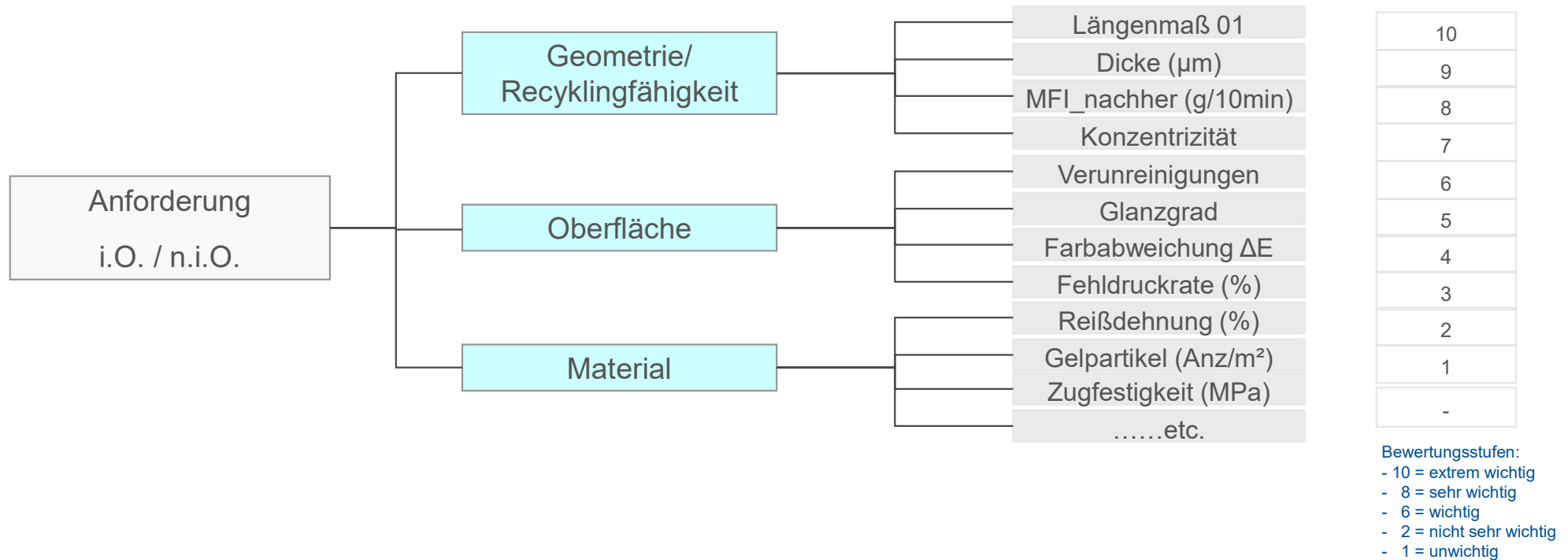
Robust Design & Engineering-KI Analyser® in 8 Schritten zu robusten Produkten und stabilen Prozessen



Robust Design # 1 – Anforderungen / Q-Merkmale messbar machen

Anforderungen i.O. / n.i.O oder **gut / schlecht vermeiden** und immer auflösen in:

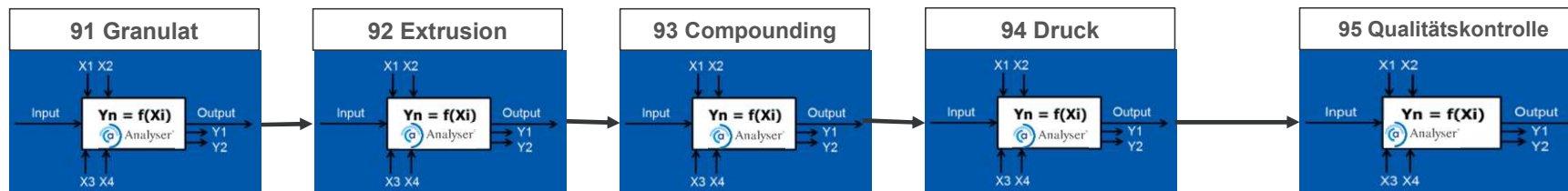
- Stetige Merkmale / Messwerte** wie z.B. 10,17 mm plus deren Spezifikationsgrenzen, die zu i.O. / n.i.O führen
- Notfalls **ordinalen Datentyp** wie z.B. subjektive Bewertung von **0**-glatt, **1**-leicht wellig, **2**-wellig, **3**-stark wellig



Robust Design # 2 – Produktfunktionen & Prozesse analysieren und Messorte festlegen

Für alle Teilprozesse / Arbeitsfolgen / -schritte folgendes brainstormen und dokumentieren:

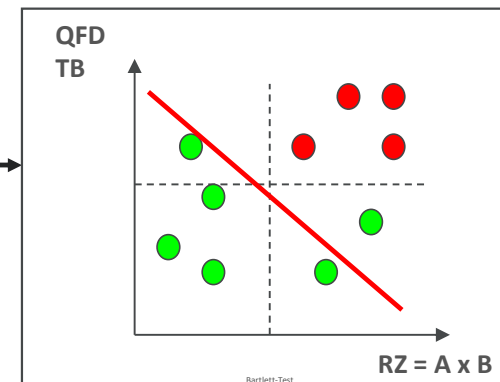
- Messbare Anforderungen Y_n , sofern möglich und sinnvoll auch Zwischenergebnisse Y_m
- Mögliche Einflussgrößen X_i und Störgrößen X_j je Arbeitsfolge (91 bis 94)



Robust Design # 3 – Mögliche Einflussgrößen Xi sammeln & priorisieren

Produktmerkmal / Prozessparameter	Priorität	Gießen	Formendruckverlauf [bar] 1 DS/2 DS/DM	Werkzeugtemperatur [°C]	Komponententemperatur ISO [°C]	Komponententemperatur PQ.Y [°C]	Entlüftungszeit [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 Oberflächenaufbauhaftung	9,4	9	3	1	9	3	1	
Störung: Wölbung/Lackblasen	10,0	3	3	1	3	1	3	
Technische Bedeutung		425	332	215	345	262	267	

QFD TB - Quality Function Deployment **Technische Bedeutung**
aus den Houses of Quality HoQ 1, HoQ 2 oder HoQ 2+4
RZ - Risikozahl aus Produkt Design FMEA und/oder Prozess FMEA

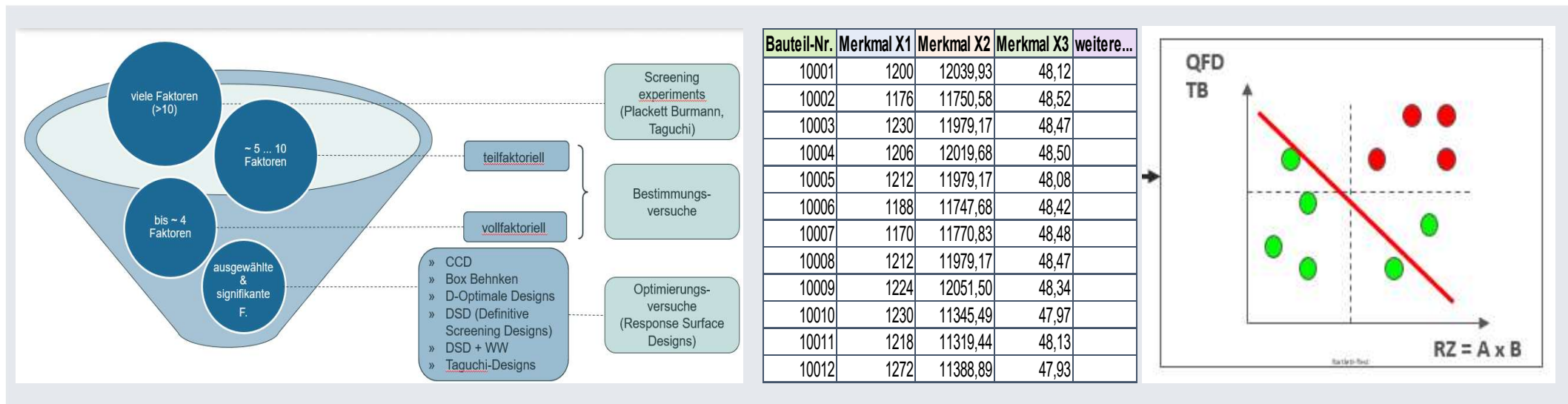


Abgleich der priorisierten möglichen zu den aktuell gemessenen Einflussgrößen Xi ist jetzt möglich.

Robust Design # 4.1 – Digitalisierung plus DoE oder aus der Produktion: Valide und zielführende Anlernstichprobe erheben

Die richtigen (ggf. historischen) Daten und Messwerte verwenden / erfassen:

- gelabelte Daten & Messwerte erfassen für Anlernstichprobe: Anforderungen, Einfluss- & Störgrößen $Y_n = f(X_i; X_j)$
- Arbeitsfenster für Daten der Anforderungen Y_n der zu erwartenden Realität angepasst verwenden / erfassen
- repräsentative Stichprobengröße und –strategie für Anforderungen Y_n wählen!
- Störgrößen X_j nicht vergessen.

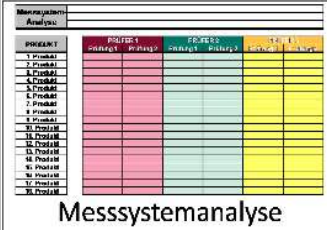


Robust Design # 4.2 – MSA Typ II: Valide und zielführende Anlernstichprobe erheben

Messsystemfähigkeit validieren für:

- alle priorisierten, messbaren **Anforderungen Yn** und Zwischenergebnisse Ym
- alle priorisierten und schwer/labil zu messenden **Einflussgrößen Xi**
- Repräsentative Arbeitsfenster** für **Anforderungen Yn** und priorisierte, mögliche Einflussgrößen Xi wählen.
- MSA Typ II** mit mindestens 2 Prüfern x 10 Teile x 2 Durchgänge je Prüfer; besser 3 x 10 x 2

Messsystemanalyse (MSA)



- Genauigkeit
- Wiederholbarkeit
- Reproduzierbarkeit
- Beständigkeit
- Linearität

Messsystemanalyse:

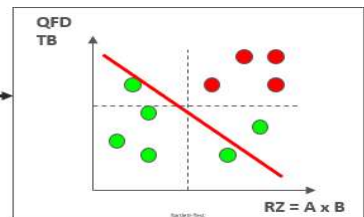
Beurteilung der Gesamtstreuung (R&R)

Toleranz / Toleranzwerte für stetige Daten

Anteil R&R	≤	10%	i.O.
Anteil R&R	=	10% - 30%	verbessern, bedingt annehmbar
Anteil R&R	>	30%	Nicht annehmbar

Robust Design # 5 – 8 – Erhebung valider Anlernstichproben und Erstellung präziser Vorhersagemodelle mit Engineering-KI

Input: Einzelwerte & Kurven, Kategorien, Segmentierungsfaktoren aus Sensordaten



Bauteil-Nr.	Merkmal X1	Merkmal X2	Merkmal X3	weitere...
10001	1200	12039,93	48,12	
10002	1176	11750,58	48,52	
10003	1230	11979,17	48,47	
10004	1206	12019,68	48,50	
10005	1212	11979,17	48,08	
10006	1188	11747,68	48,42	
10007	1170	11770,83	48,48	
10008	1212	11979,17	48,47	
10009	1224	12051,50	48,34	
10010	1230	11345,49	47,97	
10011	1218	11319,44	48,13	
10012	1272	11388,89	47,93	

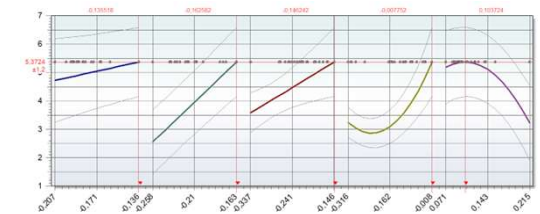


5 + 6



Predictive Quality & Maintenance

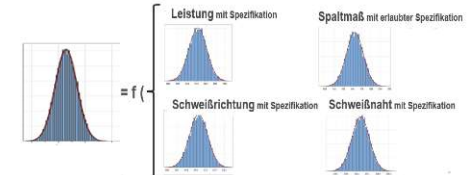
Best Setting für komplexe Wirkmechanismen $Y_n = f(X_i)$



7



Neue Nominale / Soll-Werte inkl. Toleranzen & Spezifikationen für Produkt- und Prozessparameter



8 +



Monitoring & Qualität steuern und regeln in Echtzeit



Analyser[®] Client LIVE

**Anlernstichprobe, Vorhersagemodelle,
Parametrierung & Tolerierung,
Bestätigungslos**

Erstellen von Vorhersagemodellen mit Engineering-KI Analyser®

Anlernstichprobe mit n=50 und Arbeitsfolgen:

- 91 Rohware (gebucht beim WE)
- 92 Extrusion
- 93 Compounding
- 94 Druck
- 95 Kontrolle (Qualität, messbare Anforderungen)

Analysier - Transferfunktion - Artikel und Arbeitsfolgen

The screenshot displays the 'Analysier - Transferfunktion - Artikel und Arbeitsfolgen' interface. On the left, a list of articles is shown, including G60BBG, K165540, LegoBricks, MiKo GWS, Modine Fixture, MuPla_Carbon_DSC, PP-EXT-0001 (selected), and S5Hex_2_4_Paket2. The right panel shows the details for PP-EXT-0001 (Polypropylen). It includes a 'Beispiel Rezyklate' table with columns for Paketname, Erstellt, Geändert, and Bemerkung. Below this is the 'Arbeitsfolgen' section, which has a toggle for 'Arbeitsfolgen verketteten' set to 'Ein'. A table lists the work sequences (Arbeitsfolgen) with columns for Arbeitsfolgencode and Arbeitsfolgenbezeichnung. Each row includes a link icon and three action icons (edit, delete, and a third icon).

Paketname	Erstellt	Geändert	Bemerkung
Beispiel Rezyklate	17.09.2025 09:39:39	17.09.2025 09:39:39	

Arbeitsfolgencode	Arbeitsfolgenbezeichnung
91	Rohware
92	Extrusion
93	Compounding
94	Druck
95	Kontrolle

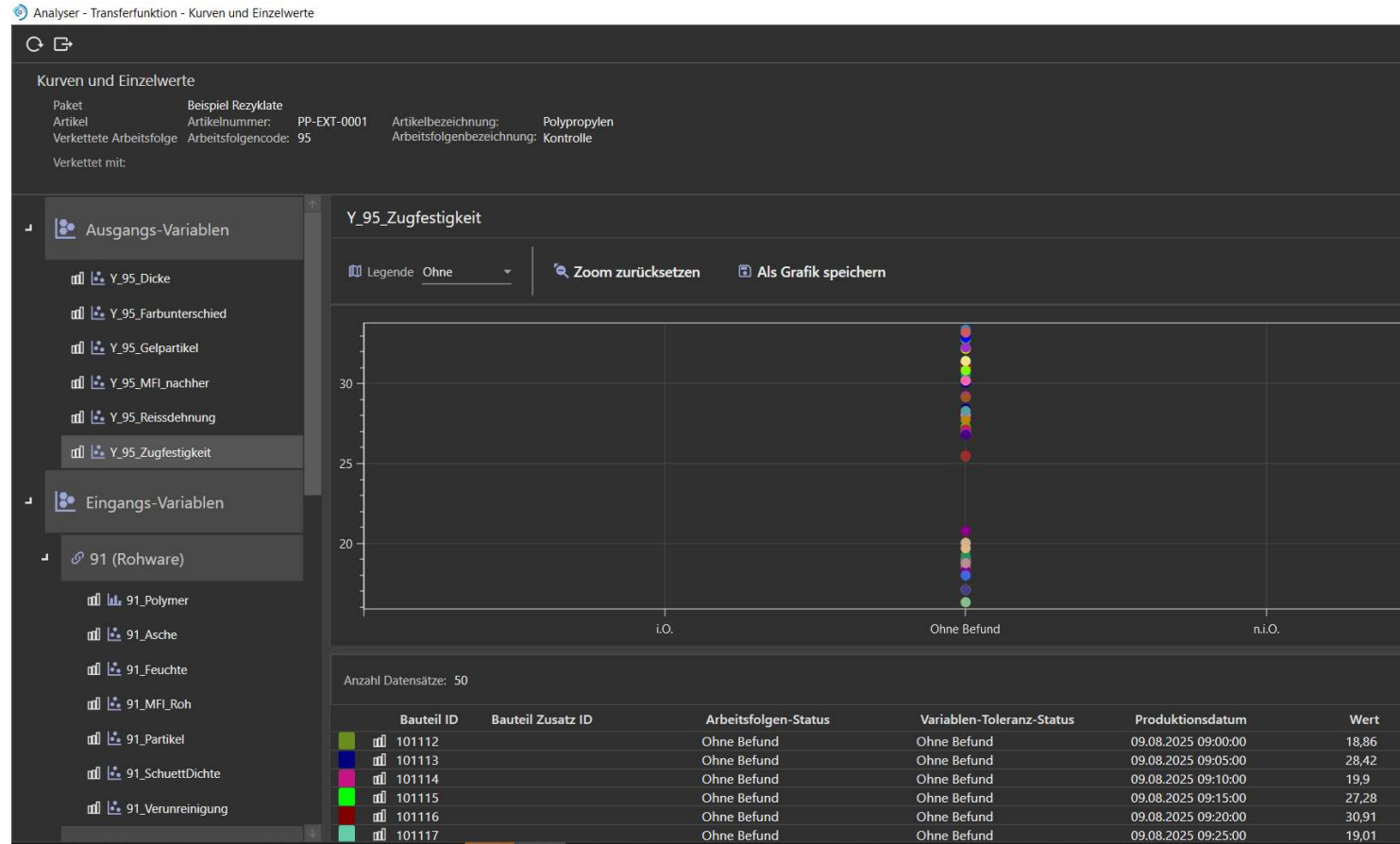
Erstellen von Vorhersagemodellen mit Engineering-KI Analyser[®]

Anlernstichprobe mit AFOs,
messbaren Anforderungen Y_n wie:

- Zugfestigkeit
- Reissdehnung
- Farbunterschied
- etc.

und möglichen Einflussgrößen X_i wie

- Polymertyp
- MFI der Rohware
- Schüttdichte
- Druck
- Verweilzeit
- etc.



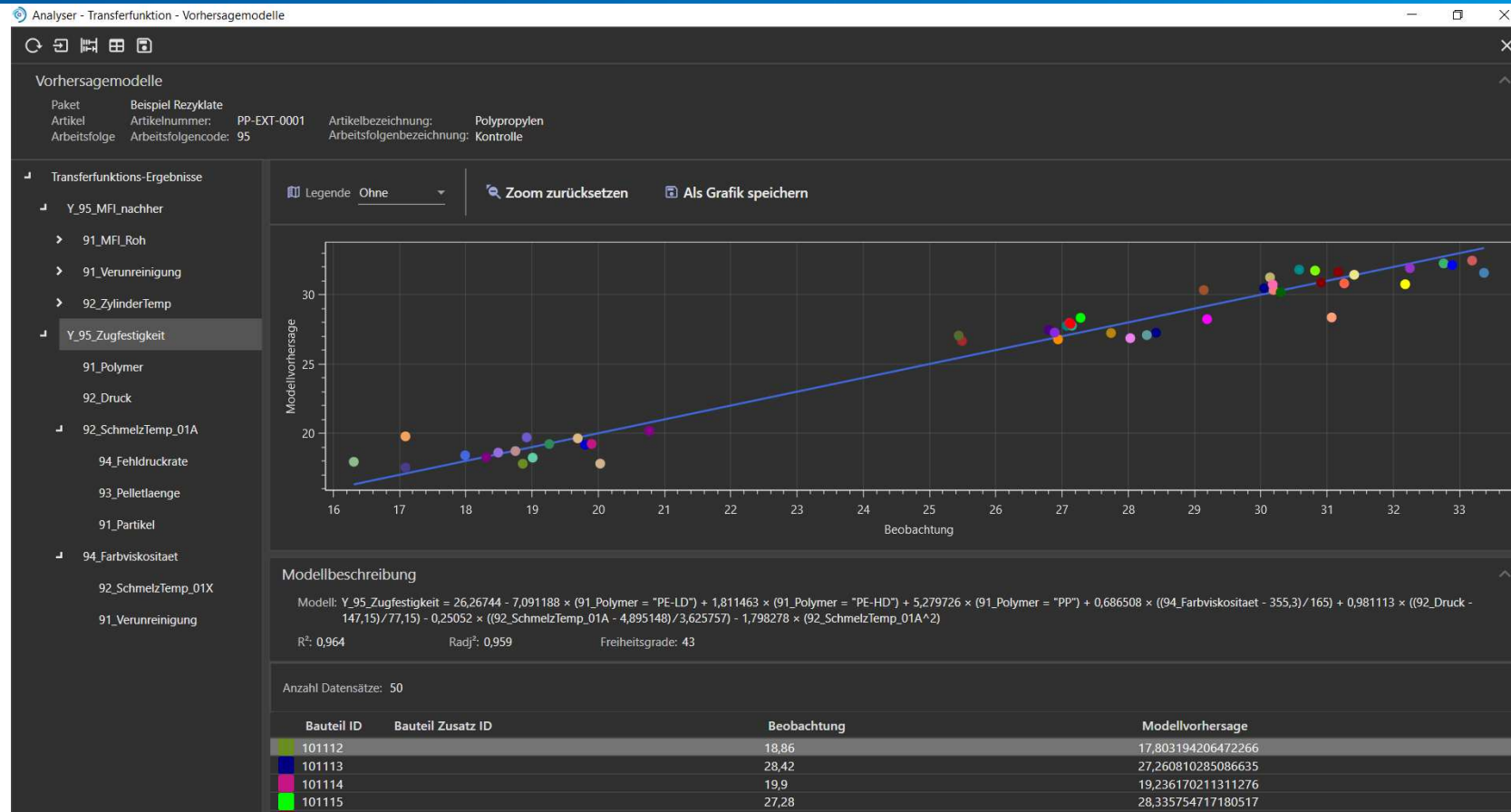
Komplexe Wirkzusammenhänge verwenden, um Lösungen umzusetzen

Beispiel:

Vorhersagemodelle für Yn

Zugfestigkeit

MFI nachher (Fertigprodukt)



Robust Design # 7 - Best Setting: Optimale Parametrierung und Tolerierung aller Einflussgrößen

Festlegen der neuen Sollwerte und Spezifikationen für:

Yn – messbare Anforderungen

Xi – Einflussgrößen Level 1

Xi – Einflussgrößen Level 2

Analysen - Best Setting Tabelle

⏏ Bearbeitung abbrechen ⚙ Einstellungen speichern 📄 Variablen exportieren

Yn	UTG	Soll	OTG	Level 1	UTG	Soll	OTG	Eingestellter Wert	Level 2	UTG	Soll	OTG	B. S. Level 2	Durchschnitt	Differenz
Y_95_MFI_nachher	4	6		91_MFI_Roh	2	3	1,39		94_Fehlbruckrate				0,24513264317061972	0,21986136502057327	0,0252712781
Y_95_MFI_nachher	4	6		91_MFI_Roh	2	3	1,39		92_ZylinderTemp	175	185		175,61395595301147	175,61395595301147	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		91_Verunreinigung	0,06	0,15	0,06		94_Farbviskosität				403,0573232630795	403,0573232630795	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		91_Verunreinigung	0,06	0,15	0,06		92_SchmelzTemp_01I				129783,94933404008	129783,94933404008	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		91_Verunreinigung	0,06	0,15	0,06		92_SchmelzTemp_01M				216,30626792341818	216,30626792341818	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		91_Verunreinigung	0,06	0,15	0,06		92_SchmelzTemp_01E				216,41661476678874	216,41661476678874	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		91_Verunreinigung	0,06	0,15	0,06		92_SchmelzTemp_01S				130000,06702197429	130000,06702197429	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		91_Verunreinigung	0,06	0,15	0,06		91_Feuchte				0,05021663126929323	0,05021663126929323	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		92_ZylinderTemp	175	185	174,0615		94_Fehlbruckrate				0,24688252831091406	0,21986136502057327	0,0270211632
Y_95_MFI_nachher	4	6		92_ZylinderTemp	175	185	174,0615		92_Schnecke				134,05039789188493	134,05039789188493	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		92_ZylinderTemp	175	185	174,0615		91_Schuettdichte				441,13250983026	441,13250983026	0
Y_95_MFI_nachher	4	6		92_ZylinderTemp	175	185	174,0615		91_MFI_Roh	2	3		3,851304376527292	3,851304376527292	0
Y_95_Zugfestigkeit	28	30		91_Polymer				PP							
Y_95_Zugfestigkeit	28	30		92_Druck	210	225	224,3								
Y_95_Zugfestigkeit	28	30		92_SchmelzTemp_01A			4,64472		94_Fehlbruckrate				0,16756892358018594	0,21986136502057327	0,0522924414
Y_95_Zugfestigkeit	28	30		92_SchmelzTemp_01A			4,64472		93_Pelletlaenge				2,7293713920390417	2,7293713920390417	0
Y_95_Zugfestigkeit	28	30		92_SchmelzTemp_01A			4,64472		91_Partikel				7,363647728589045	7,363647728589045	0
Y_95_Zugfestigkeit	28	30		94_Farbviskosität			520,3		92_SchmelzTemp_01X				220,57621426781085	220,57621426781085	0
Y_95_Zugfestigkeit	28	30		94_Farbviskosität			520,3		91_Verunreinigung	0,06	0,15		0,45825784458091534	0,45825784458091534	0

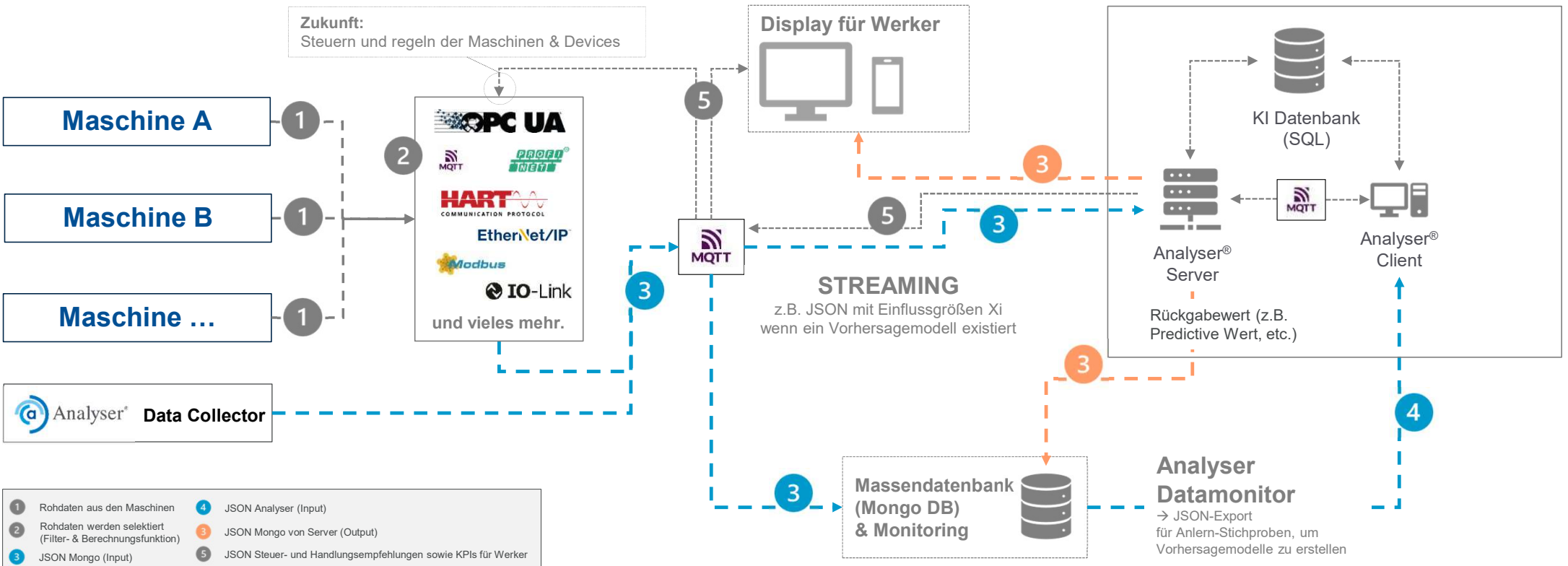
Engineering-KI Analyser® mit vollständiger Digitalisierung in Industrie 4.0

Phase 5 – Qualität automatisch steuern und regeln mit Vorhersagemodellen

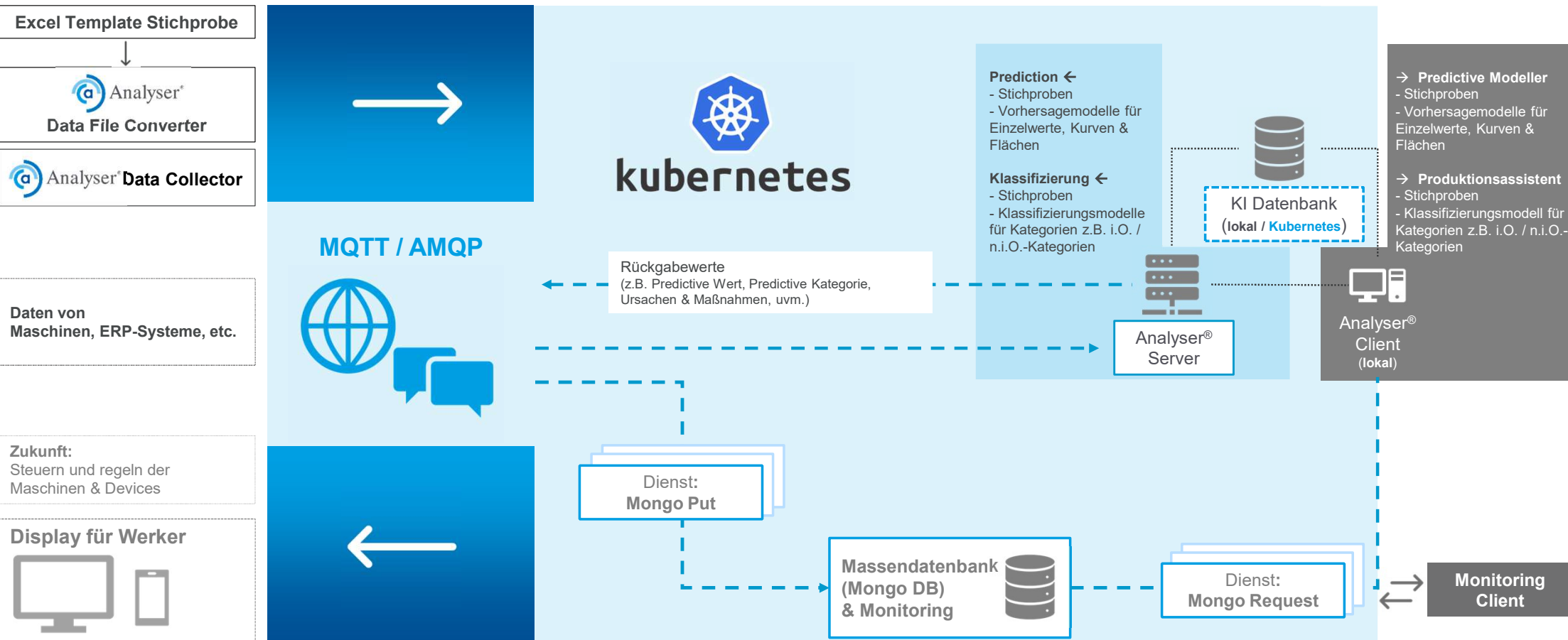
Maschinen / Devices
(Fabrik / Produktion)

IoT-Partner

KI-System  **Analyser®**



Systemarchitektur Analyser®



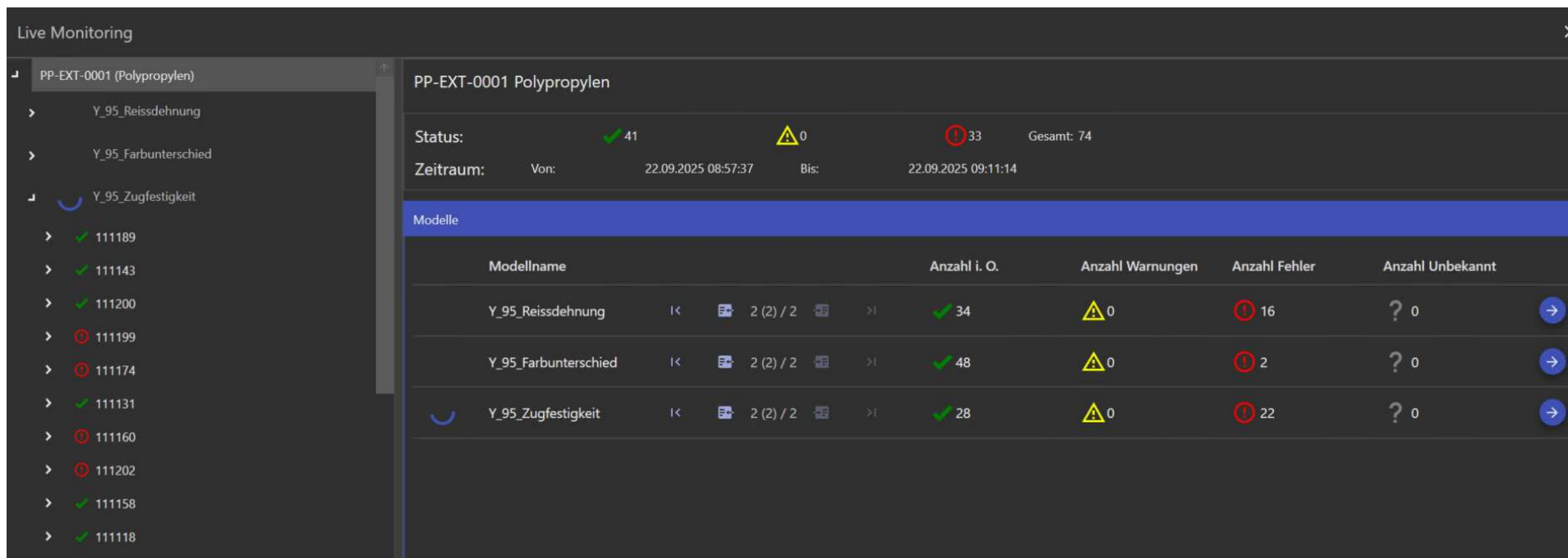
Analyser[®] LIVE

Steuern und regeln der Qualität in Echtzeit

Monitoring + Steuern und regeln der Qualität in Echtzeit

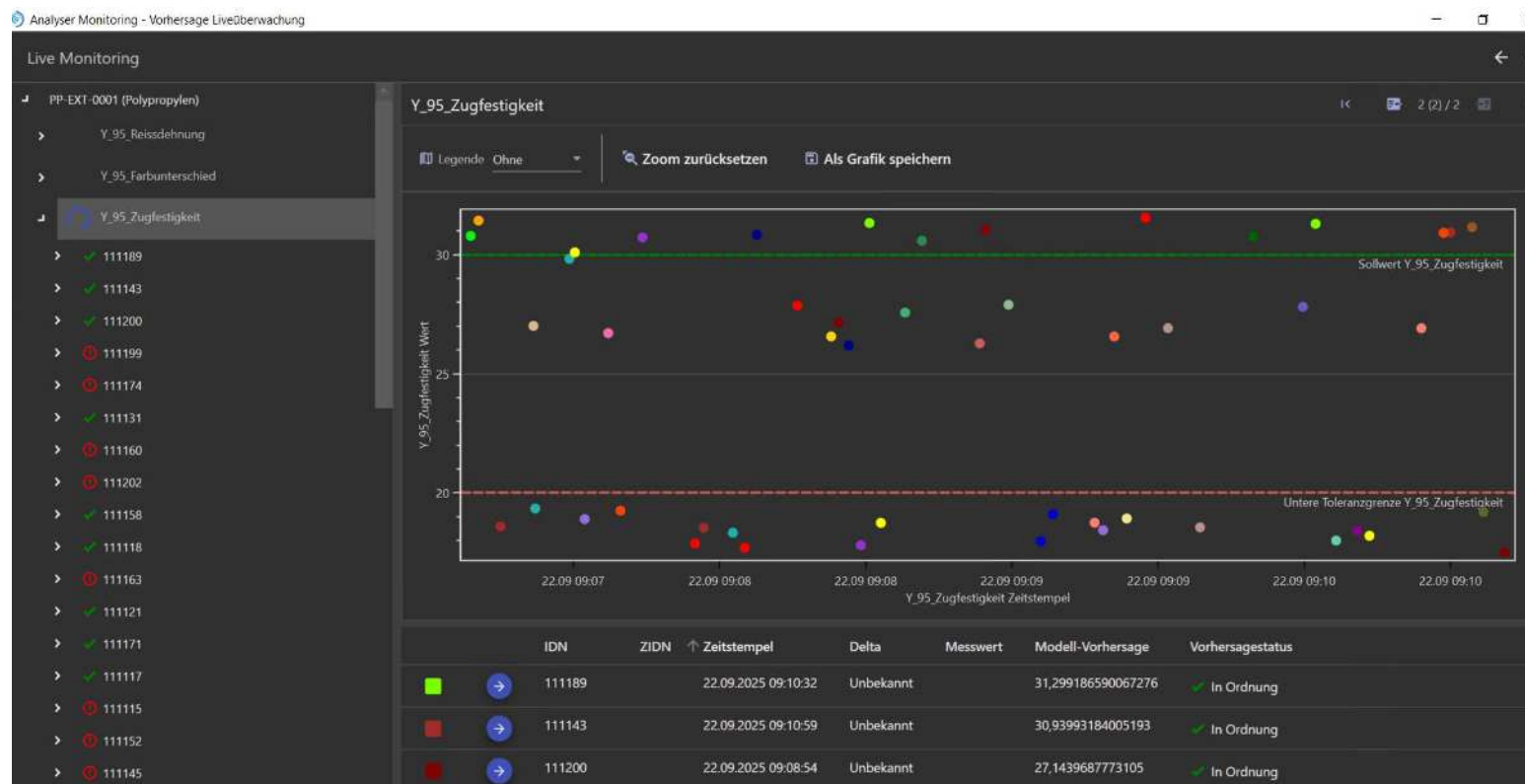
Auf Articlebene werden die messbaren Anforderungen / Qualitätsmerkmale in der gewählten **Zeitperiode** über alle IDNs/ Bauteile durch die Engineering-KI validiert mit:

Darstellung der **Fehlerhäufigkeiten auf Artikel-, Bauteil- und Qualitätsmerkmals-Ebene**



Monitoring + Steuern und regeln der Qualität in Echtzeit

Verlaufdiagramm für den **Artikel je Qualitätsmerkmal** über die gewählte Zeitperiode mit allen IDNs / Bauteilen



Monitoring + Steuern und regeln der Qualität in Echtzeit

Validierung im Detail auf Bauteil-Ebene je Qualitätsmerkmal

Analysen Monitoring - Vorhersage Liveüberwachung

Live Monitoring

PP-EXT-0001 (Polypropylen)

- Y_95_Reissdehnung
- Y_95_Farbunterschied
- Y_95_Zugfestigkeit
 - 111189
 - 111143
 - 111200
 - 111199
 - 111174
 - 111131
 - 111160
 - 111202
 - 111158
 - 111118
 - 111163
 - 111121
 - 111171
 - 111117
 - 111115
 - 111152

111199

Daten des Bauteils

Zeitstempel: 22.09.2025 09:08:35

Vorhergesagter Wert: 17,69093757269219

Gemessener Wert

Validierung

Ergebnis	Ergebnis der Validierung	Beschreibung
❌	Der Wert '17,69093757269219' befindet sich nicht innerhalb der Toleranzgrenzen [20 ; Unbekannt].	Überprüft, ob der vorhergesagte Wert innerhalb der Toleranzgrenzen liegt.

Einflussgrößen von 111199

Name	Messwert	Vorhersagestatus
91_Polymer	PE-LD	✅ Ok
94_Farbviskosität	316,827139351985	✅ Ok
92_Druck	131,432	✅ Ok
92_SchmelzTemp_01A	1,7632567843399314	✅ Ok

Sie wollen mit uns nächste Schritte zur Energie- & Ressourceneffizienz gehen? Unser Angebot, auf Ihren Business Case zugeschnitten:



Analyser® Info

Sie wollen erfahren, wie auch Ihr Unternehmen vom Analyser® profitieren kann?

Vereinbaren Sie jetzt einen kostenfreien Beratungstermin.



Analyser® Workshop mit Ihren Business Cases

Wir analysieren mit Ihnen gemeinsam Ihre Business Cases, skizzieren erste Lösungen und zeigen Umsetzungsmöglichkeiten mit dem Analyser® auf.



a) Analyser® Engineering-Pilot-Projekt zur Energie- & Ressourceneffizienz

Im Rahmen eines Pilot-Projekts setzen wir anschließend die Lösungen und Maßnahmen rund um Ihre Business Cases um.

b) Implementierung des Engineering-KI Komplett-Systems Analyser® zur Energie- & Ressourceneffizienz

Die Implementierung des Systems begleiten wir von Anfang an und stehen mit unserem Ingenieur-Know-How für die Bearbeitung der weiteren Projekte und Business Cases zur Seite.

Kontakt

Sie haben Fragen? Wenden Sie sich an



Sophie Christiansen



+49 (0)8141 888 403-12



sophie.christiansen@mts-contech.com



CONTECH
Software & Engineering GmbH

www.contech-analyser.de

mts Consulting &
Engineering GmbH

www.mts-contech.de