

# Output Accepted Process

Materialbasierte Optimierung der Prozessbeherrschung in der keramischen Industrie

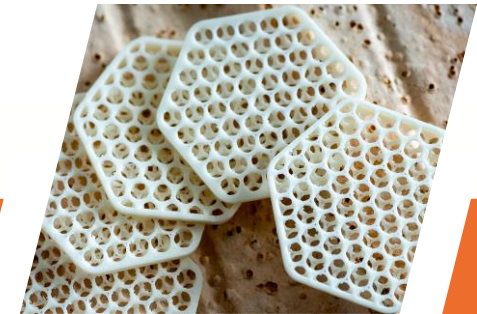
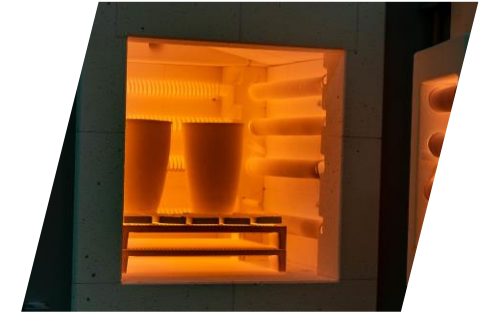
Marcel Engels

1. Westerwälder Industriekolloquium

19./20. November 2024, Ransbach-Baumbach

FGK

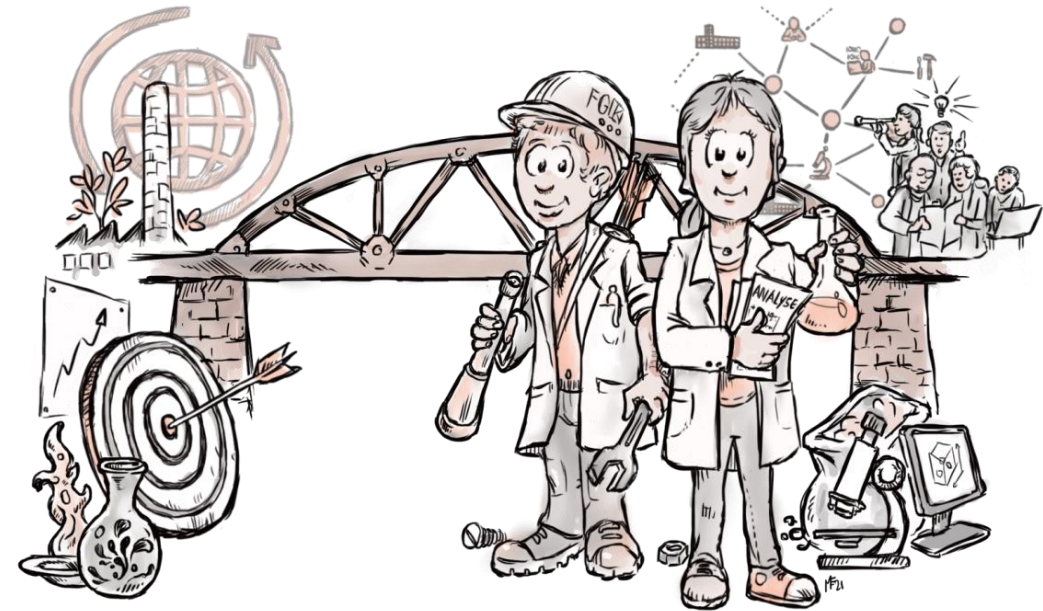
Forschungsinstitut für Glas und Keramik  
[www.fgk-keramik.de](http://www.fgk-keramik.de)



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan
- Ein vom FGK entwickeltes **Baukastensystem** mit Werkzeugen zur Verbesserung von Produktion und Produkten durch **Prozessbeherrschung**
- OAP-Werkzeuge: Bestandsaufnahme, Bestimmung der **Prüfmittelfähigkeit** und Ermittlung der **Prozessfähigkeit**

*“Das hängt von so vielen Parametern ab...”*

*„Das eine Mal funktioniert es, das andere Mal nicht: das ist Keramistik!“*



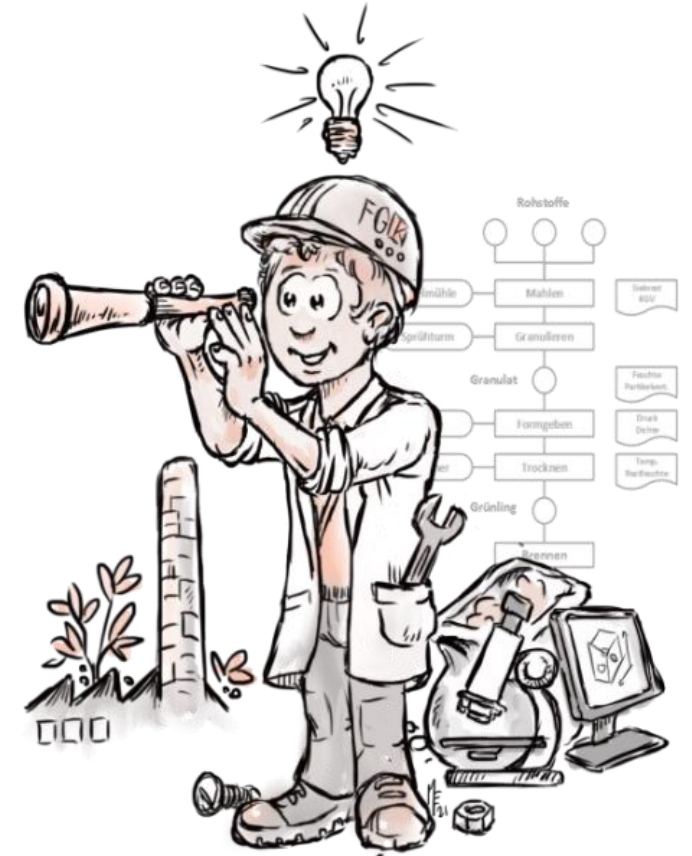
- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

Mit OAP bzw. den einzelnen Bausteinen können schnell Verbesserungen am Produkt und in der Produktion erzielt werden:

- Reduzierung der **Prüfkosten**
- Reduzierung der **Ausschussquote**
- **Qualitätssteigerung** bei Produkten und Dienstleistungen

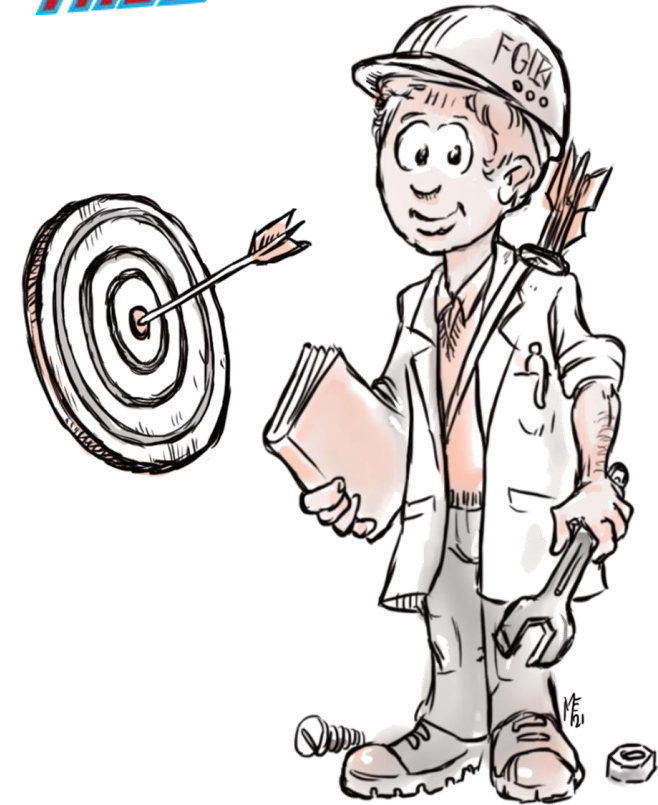
durch

- Identifizierung von **Prozessabhängigkeiten**
- Einführung prozessübergreifender keramischer **Regelkreise**
- Optimierte **Datenübertragung /Prozess-Kommunikation**
- Optimierte **Vertrauensbasis zwischen Kunde und Lieferant**



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan
- OAP-Umsetzung:
  - Qualitätssicherungsvereinbarungen QSV:  
QS Vereinbarungen Lieferant – Verarbeiter
  - Statistisch basierte Prozessbeherrschung  
Regelkreise, Eingriffsgrenzen
  - Voraussetzung für **Datamining, Datenfusion und den Einsatz von KI!**

**BACK  
TO  
THE FUTURE™**





- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

Prüfmittelfähigkeit als wesentliche Voraussetzung für Datamining, Datenfusion und den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Industrie:

### 1. Datenqualität und Zuverlässigkeit:

- **Genauigkeit und Präzision:** zuverlässige Daten für Entscheidungen und Vorhersagen
- **Kalibrierung und Wartung** der Prüfmittel um Verfälschungen durch systematische Fehler zu beheben

*“Das hängt davon ab, wer die Proben gezogen hat...”*



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

Prüfmittelfähigkeit als wesentliche Voraussetzung für Datamining, Datenfusion und den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Industrie:

## 2. Reproduzierbarkeit und Konsistenz:

- **Konsistente Daten** zur Identifizierung zuverlässiger Muster und Trends für robuste Modelle in der KI
- **Vergleichbarkeit von Daten** über verschiedene Zeiträume und Messsysteme für die Datenfusion aus unterschiedlichen Quellen

*“Wir können das nicht mit unserer WEP der Rohstoffe korrelieren.”*

*“Das haben wir früher schon probiert, funktioniert aber nicht...”*



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

Prüfmittelfähigkeit als wesentliche Voraussetzung für Datamining, Datenfusion und den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Industrie:

### 3. Fehlererkennung und -behebung

- Valide Identifikation von **Anomalien**
- Frühzeitige Identifikation von **Fehlerquellen bei der Messung**

*“Wir greifen direkt ein, wenn ein Grenzwert überschritten wird...”*

*„Unsere Leute sind Tag und Nacht am Optimieren!“*



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

Prüfmittelfähigkeit als wesentliche Voraussetzung für Datamining, Datenfusion und den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Industrie:

#### 4. Vertrauen in Analysen und Entscheidungen

- **Gesicherte Datenqualität** für durch Datamining und KI gewonnene Erkenntnisse und vertrauenswürdig Vorhersagen für die Entscheidungsprozesse in der Industrie
- **Compliance und Normen** mit regulatorischen Anforderungen an die Prüfmittelfähigkeit, um rechtliche und qualitätsbezogene Standards zu erfüllen





- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

Prüfmittelfähigkeit als wesentliche Voraussetzung für Datamining, Datenfusion und den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) in der Industrie:

## 5. Effizienz und Kostenersparnis

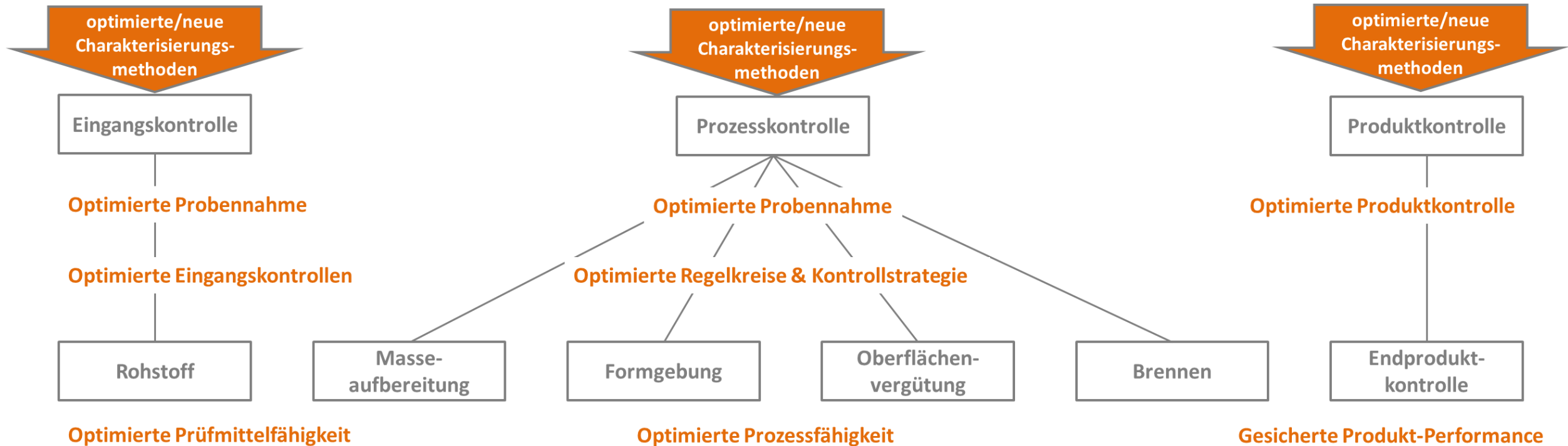
- **Reduktion von Nacharbeit und Ausschuss:**  
Fehler frühzeitig erkennen und vermeiden,  
Reduzieren von Nacharbeit und Ausschuss
- **Optimierung von Produktionsprozessen** und den effizienten Einsatz von Ressourcen durch präzise Analysen und Vorhersagen



*“Es dauert immer eine Weile, bis wir nach einem Produktwechsel wieder voll produzieren können...”*

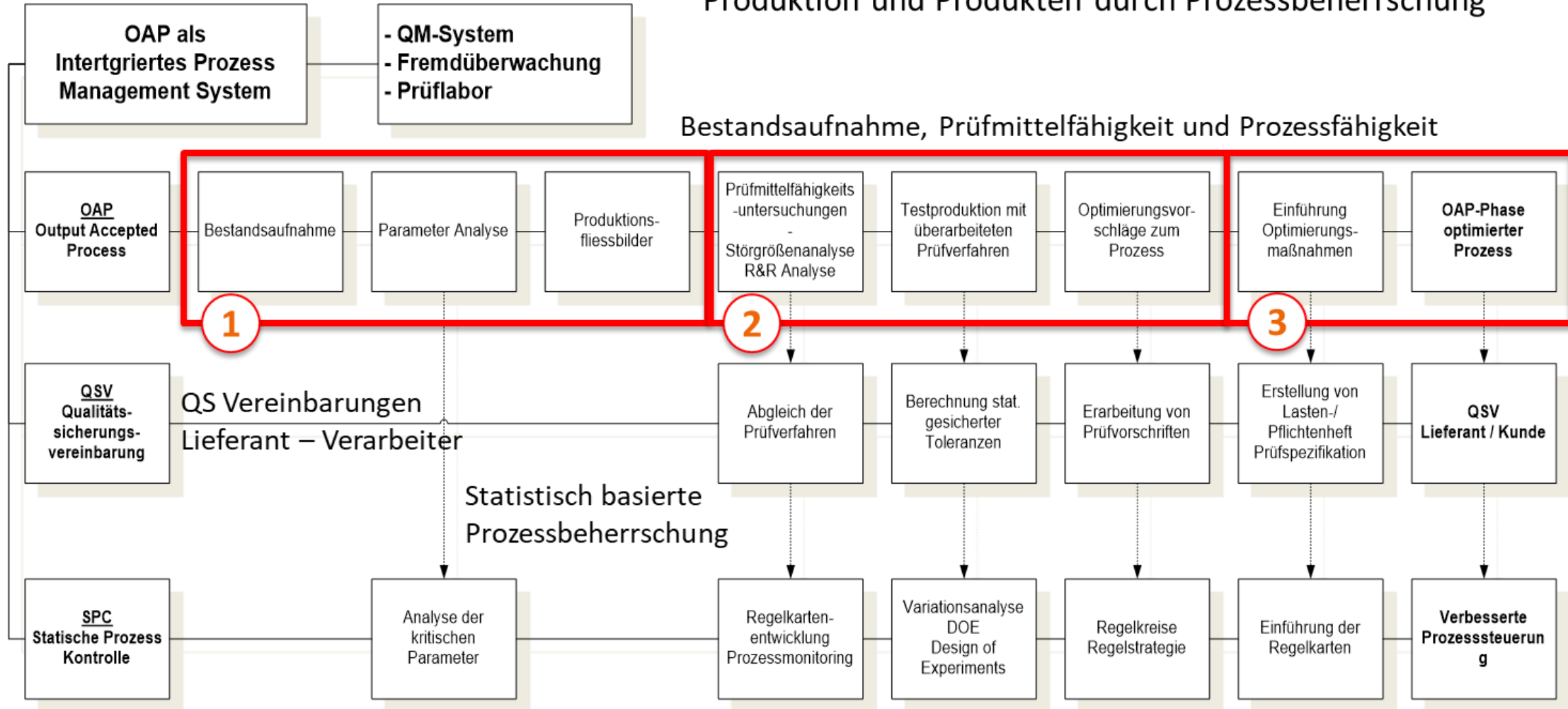
- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

OAP basiert auf einen **prozesskettenübergreifenden Ansatz**, kann aber auch für Teilbereiche eingesetzt werden:



## FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

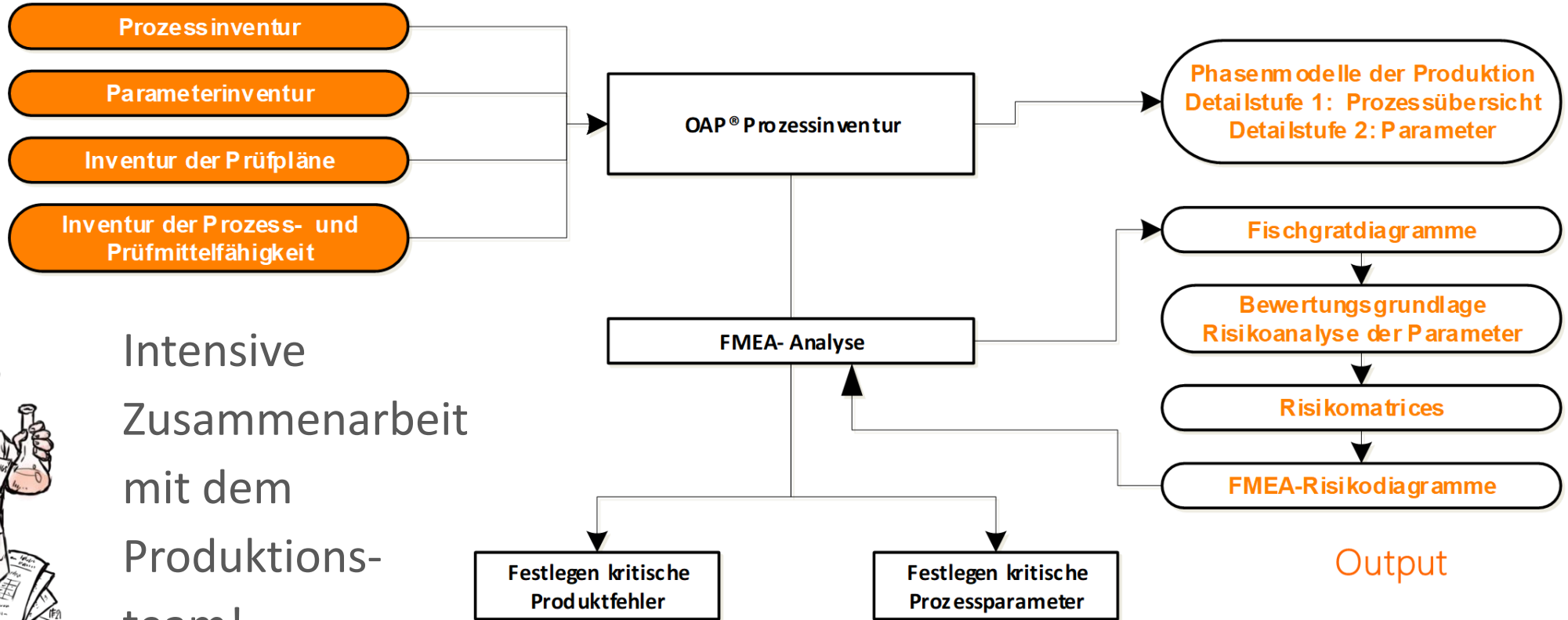
Baukastensystem mit Werkzeugen zur Verbesserung von Produktion und Produkten durch Prozessbeherrschung



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

## Schritt 1 : Bestandsaufnahme, Parameteranalyse und Prüfmittelfähigkeit

Vorgehensweise:



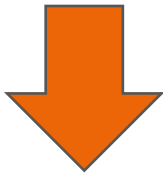
Intensive  
Zusammenarbeit  
mit dem  
Produktions-  
team!



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

## Schritt 1 : **Bestandsaufnahme**, Parameteranalyse und Prüfmittelfähigkeit

### Datensammlung und Vorbereitung der Bestandsaufnahme vor Ort (Soll-Zustand) – OAP Quicksan Checkliste

- Produktionsfließbilder
  - Rohstoff- und Produktparameter, Verfahrenseinstellungen, Randbedingungen, Störgrößen)
  - Prüfmittel und Messmethoden (Messgenauigkeiten, Arbeitsvorschriften, Datenblätter)
  - Fehlerbilder und mögliche Fehlerursachen (Overall und prozessschrittbezogen), Häufigkeiten und Verteilungen
- 
- **Prüfmittelfähigkeiten**, Variationsanalyse, Toleranzen, Eingriffsgrenzen, Regelkreise.
  - **Bewertung der Parameter** nach Häufigkeit des Auftretens, Einfluss auf Ausschuss, Möglichkeit des Erkennens und mögliche Behebung (FMEA).



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

## Schritt 1 : Bestandsaufnahme, Parameteranalyse und Prüfmittelfähigkeit

Bestandsaufnahme vor Ort zur Analyse der relevanten Produktionsbereiche mittels Interviews und Besichtigungen anhand von bereitgestellten technischen Unterlagen:

- Abgleich der (ausgewählten) Produktionsschritte mit den Sollvorgaben.
- Batchweise Verfolgung der Produktion und kritischer Bereiche in Anlehnung an das Phasenmodell der Produktion (PMP)
- Initiierung direkt umsetzbarer Optimierungsmaßnahmen vor Ort (Verbesserung der chemisch-physikalischen Homogenität des Produktflusses oder Stabilisierung von Prozessschritten)
- Bestimmung der Prüfmittelfähigkeit der verschiedenen Prüf- und Messverfahren in der Produktion bzw. im Betriebslabor (Zielmessungen, Vergleichsmessungen und R&R-Analysen)

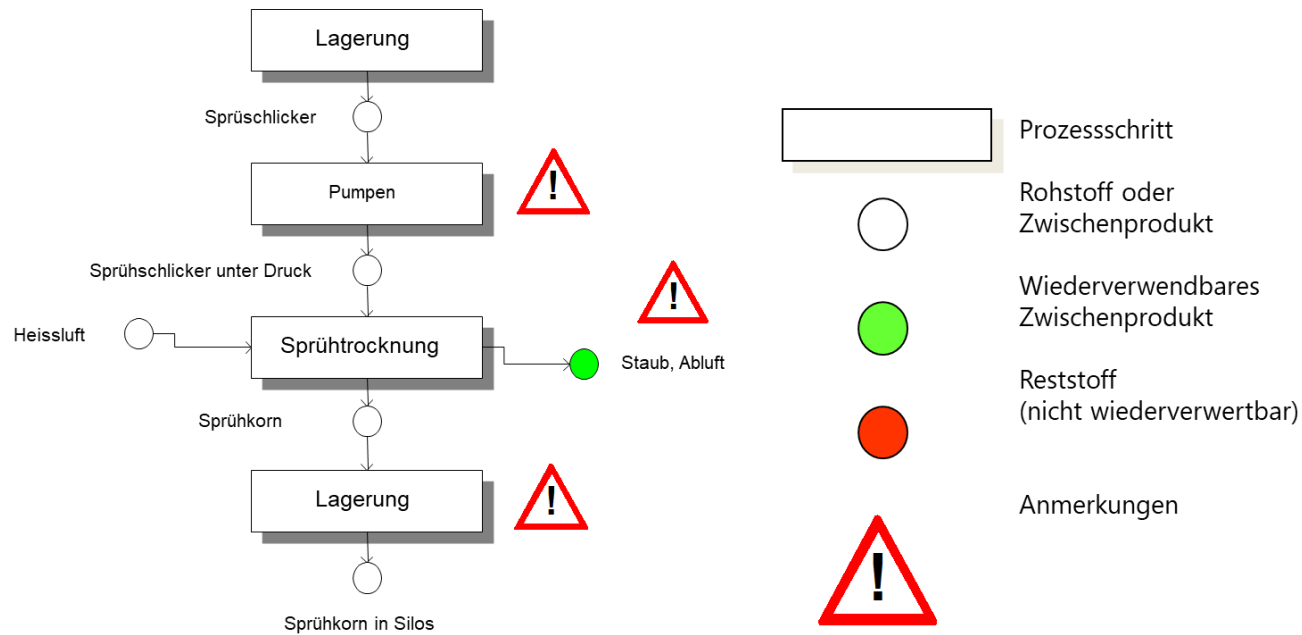
Auswertung der Bestandsaufnahme, Ausarbeitung von Optimierungsansätzen, Lasten-/Pflichtenheft.

- Maßnahmenkatalog, zugehörigen Prioritäten, Planziel, Verantwortlichkeit und Zeitplan

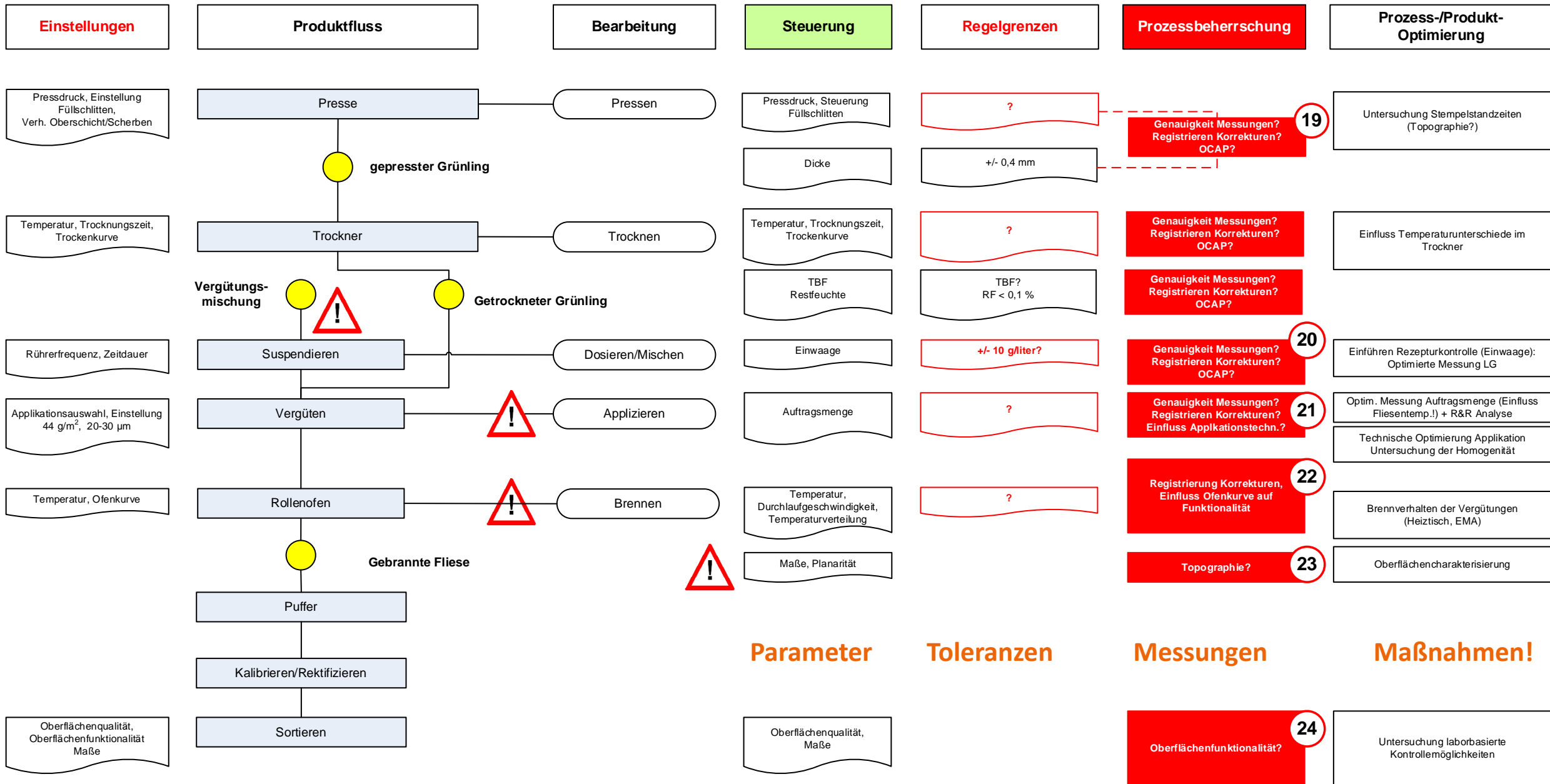
## ■ FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

### Schritte 1 : **Bestandsaufnahme**, Parameteranalyse und Prüfmittelfähigkeit

Das Phasenmodell der Produktion PMP als Hilfsmittel in der Inventur:



- Anlage/ Prozesseinstellungen
- Produktfluss: Prozessschritte, Rohstoffe, (Halb-Produkte, Additive, Ausschuss und Recyclingströme)
- Kontrollen/Bearbeitungen
- Produkt-/Prozessparameter
- Regelgrenzen und Toleranzen
- Frequenz der Kontroll- und Messwerte
- Regelkreise/OCAP (Regelkarten, Korrektur-mechanismen, sowie deren Nachkontrolle)
- Relevante Aspekte die Einfluss auf die Prüf- und Prozessfähigkeit haben.
- (Prüfmittelfähigkeitsanalyse) und Verbesserungs-Maßnahmen



**Parameter      Toleranzen      Messungen      Maßnahmen!**

■ FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

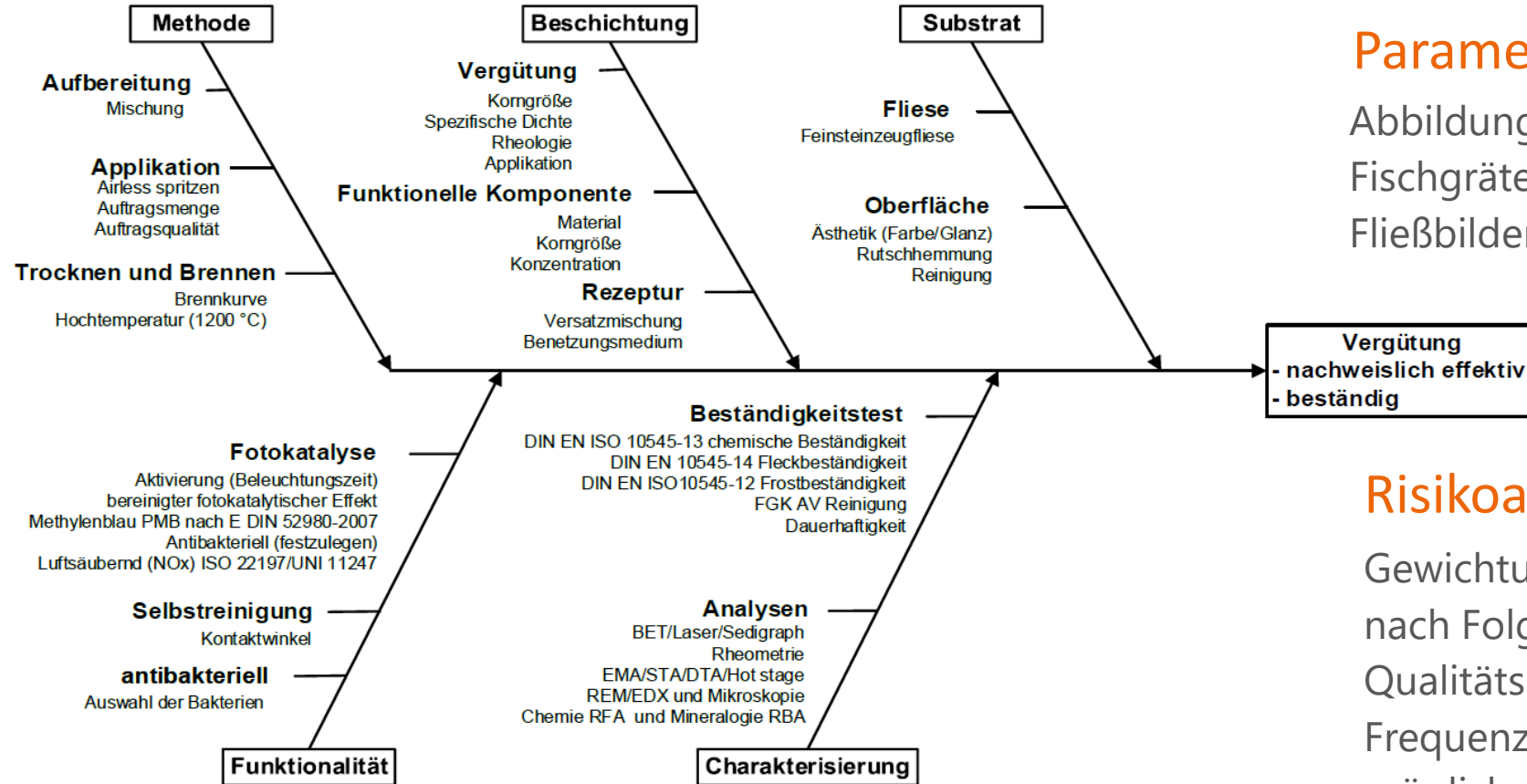
Schritte 1 : **Bestandsaufnahme**, Parameteranalyse und Prüfmittelfähigkeit

PMP Nummer	Beschreibung PMP	Ergänzung	Empfehlung	Prio
20	Litergrwicht der Versiegelung	Auf Grund des kritischen Einflusses wird dieser Aspekt spezifisch untersucht . Hinsichtlich Messeignung nach der R&R Analyse ist die erforderliche Genauigkeit eines Messmittels 5 % des Toleranzbereiches des zu bestimmenden Parameters. Bij einer Litergewichtseinstellung van 1780 +/- 20 g/l und der Messung in einem Pyknometer von 100 ml, ist das minimal 0,2 gr.  Bei Korrekturen ist ebenfalls die Genauigkeit der Wasserzudosierung wichtig!	Eine Waage mit 2 Nachkommastellen empfiehlt sich. Alternativ kan auch ein größerer Messbecher /-Kolben eingesetzt werden.  Der Eisatz einer Thermowaage für die Ermittlung des feststoffgehaltes ist zu empfehlen. Diese Messung ist weniger empfindlich für Lufteinschlag und hilft so bei der Ermittlung der Viskosität und beim Vergleich mit der Litergewichtsbestimmung um Lufteinschlag, der andere Viskositäts- und Pump-eigenschaften verursachen kann, zu identifizieren.  Eine weitere Analyse der Genauigkeit der Wasserzudosierung ist notwendig.	1
22. en 22a.	Steuerung der Ofenkurve	Neben der grundsätzlichen Frage hinsichtlich der regulieren Einstellungen, der Regelkreise und der Korrekturen der Ofenkurve ist es wichtig den Einfluss des Brennprozesses auf die Aktivität der Versiegelungen und den unterschiedelichen Reaktivitäten der Oberflächen zu untersuchen.  Neben der Variation der Temperatureinstellungen durch Steuerung, Unterschiede im Besatz und Durchlaufgeschwindigkeit ist auch die Homogenität der Temperaturverteilung über die Breite des Fliesenbesatzes wichtig.	Im Paragrafen xxx dieses Berichtes werden weitere Empfehlungen zur Analyse der Versiegelungen im Wechselwirkung mit den unterschiedlichen Oberschichten (mit unterschiedlicher Reaktivität und Brennunterschiede im Ofen.	1

Empfohlene Maßnahmen mit Priorisierung

■ FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

Schritt 1 : Bestandsaufnahme, **Parameteranalyse** und Prüfmittelfähigkeit



**Parameteranalyse**

Abbildung der Prozesseinflüsse mittels Fischgrätendiagramm, unterstützt durch Fließbilder der Produktion

**Risikoanalyse**

Gewichtung der Parameter und Fehler nach Folgen, Einfluss auf Qualitätsmerkmal, Beherrschbarkeit: Frequenz, Möglichkeit des Entdeckens mögliche Steuerbarkeit



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

## Schritt 1 : Bestandsaufnahme, Parameteranalyse und Prüfmittelfähigkeit

### Risikoanalyse (FMEA)

Gewichtung der Parameter und Fehler

### Fehler:

**F** Folgen  
(keine – Ausschuss/Funktionsverlust)

### Parameter:

**B** Einfluss auf Fehlervorkommen/  
Qualitätsmerkmal (gering - groß)

### Beherrschbarkeit:

**A** Frequenz von Abweichungen  
**E** Möglichkeit des Entdeckens

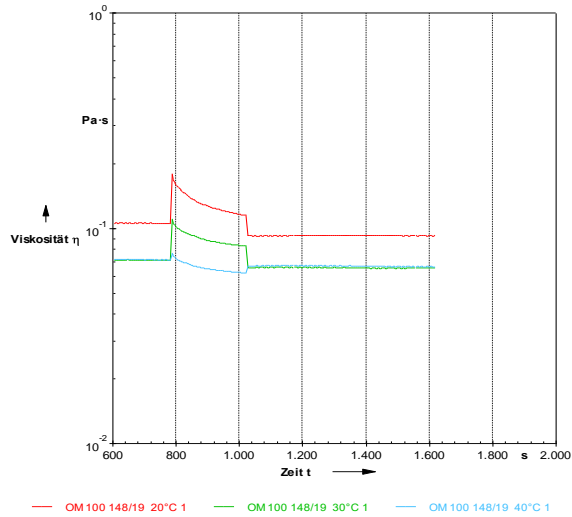
BEWERTUNGSGRUNDLAGE FMEA				
Schwere	Folgen (F)	Bedeutung (B): Einfluß auf fehlervorkommen	Auftreten (A)	Entdeckung (E)
1	Keine direkten Folgen, als Effekt warnehmbar	geringer indirekter Einfluß	Vereinzelt (1 bis 2 Pro Jahr)	Offensichtlich, ohne Kontrolle
2	Kein Funktionalitätsverlust, akzeptabler Fehler	mäßiger indirekter Einfluß	Periodisch (Mehrere pro Jahr, nicht zyklisch))	Offensichtlich, Routinekontrolle (Stichprobe), vorhandener Regelkreis
3	Möglicher Funktionalitätsverlust, Nacharbeit, Eingriff	Geringer direkter Einfluß	Zyklisch (Mehrere Pro Jahr)	Erkennbar durch Kontrolle (100% Prüfung), Prüfung, Maßnahmen
4	Grenzwertiger Fehler, bei Überschreitung Funktionalitätsverlust	Mäßiger direkter Einfluß	Regelmäßig (Monat)	Erkennbar durch Zusatzprüfung
5	Erhöhter Ausschuß, Funktionalitätsverlust	Großer direkter Einfluss	Oft (Woche, Tag)	Nicht Feststellbar

<b>Gesamtrisiko:</b> Fehlerrisiko insgesamt	<b>GR</b>	Ursachen: $F \cdot A \cdot E \cdot P$
<b>Parametereinfluß:</b> Summe der Einflüsse auf der definierten Ursache, Anzahl und Bedeutung der Einflüsse	<b>P</b>	Summe der Bedeutung pro Ursache
<b>Gesamtbedeutung</b>	<b>GB</b>	Summe der Bedeutung pro Einflussfaktor
<b>Prozessrisiko</b>	<b>PR</b>	Einflussfaktoren: $GB \cdot A \cdot E$ , Beherrschbarkeit des Einflusses pro Einflussfaktor



■ FGK Output Accepted Process OAP-Prozessscan

Der Einsatz **nicht-gängiger / im FGK entwickelten Methoden** zur Unterstützung der Korrelationsanalyse



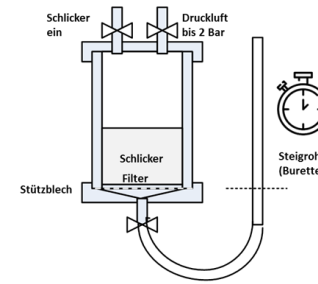
den Produktionsbedingungen angepasste rheologische Charakterisierung



Granulat-  
charakterisierung:  
Fluss, Verdichtung

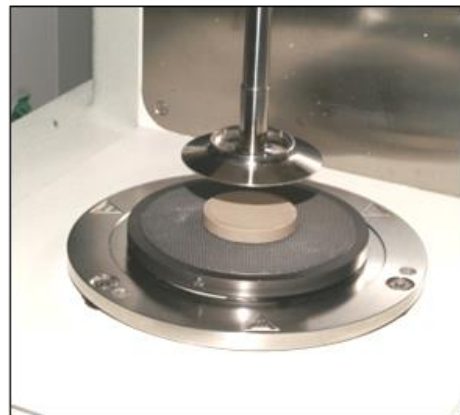
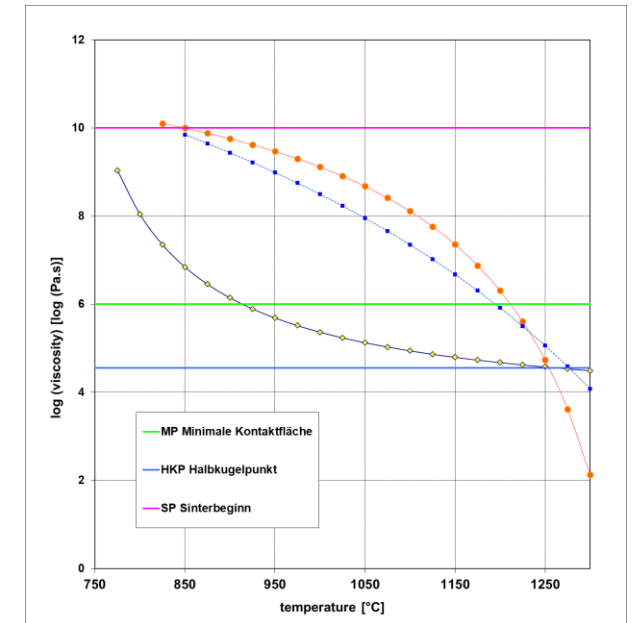
Filtrationskonstante

$$\frac{L^2}{t} = \frac{2 \cdot \Delta p \cdot FSG}{(1 - \varepsilon - FSG) \cdot \eta \cdot \alpha}$$

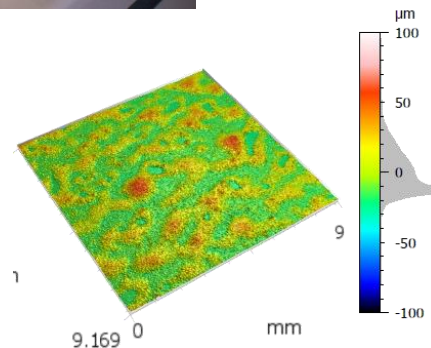


Filtrations- und Scherbeneigenschaften im keramischen Gießprozess

Glasurenviskosität im Schmelzen aus EMA



Deformation-  
Eigenschaften  
Und Textur-  
Empfindlichkeit



Topographie  
der Oberfläche

- FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

## Schritt 2 : Prüfmittelfähigkeit und Korrelationsanalyse

Gesamtstreuung = Prozessstreuung + Messstreuung

Prozess:

Zufällige Ursachen, prozessinhärente Streuung

(Rohstoffschwankungen, Verfahrensablauf)

- Systematische Ursachen (Verschleiß, Prozessteuerung)
- Fehler und Abweichungen (Handhabung, Einstellungen)

Messung:

Prüfmittelfähigkeit und Störgrößen

*Eine optimale Prozesskontrolle  
beruht auf der Kenntnis und der  
Beherrschung von Streuungen!*



# FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

## Schritt 2 : Prüfmittelfähigkeit und Korrelationsanalyse

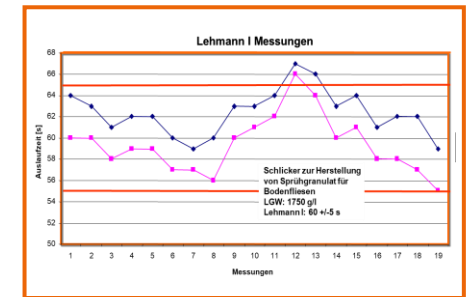
### Bewertung der Messmethodik

- Messgenauigkeit und Messfähigkeit des Messgeräts
- Einfluss der Messmethodik (Wiederholpräzision)
- Einfluss des Bedieners (Erfahrung, Training, Prozedur, Vergleichspräzision)



Fähigkeits-  
analyse

R&R-  
Analyse



### Bewertung der Störgrößen

#### Probenahme und Probenvorbereitung:

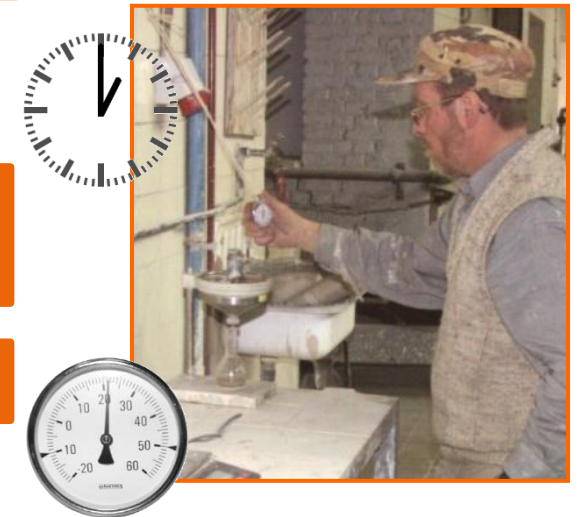
- personenbedingt/ prozedurbedingt
- Umgebungsbedingt

neben Zeit und Temperatur: **Vibration!!**



Vergleichs-  
messungen

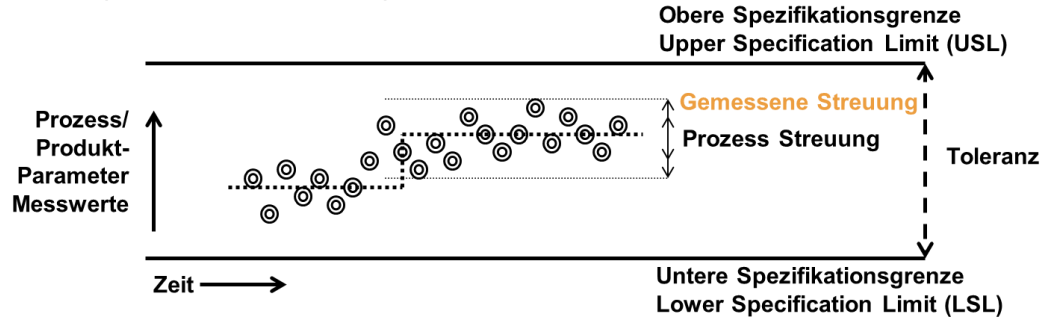
Zielmessungen





## FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

Die gemessene Streuung eines Prozesses



Gemessene Streuung:

$$S^2_{\text{gemessen}} = S^2_{\text{Probennahme}} + S^2_{\text{Probenvorbereitung}} + S^2_{\text{Messung}}$$

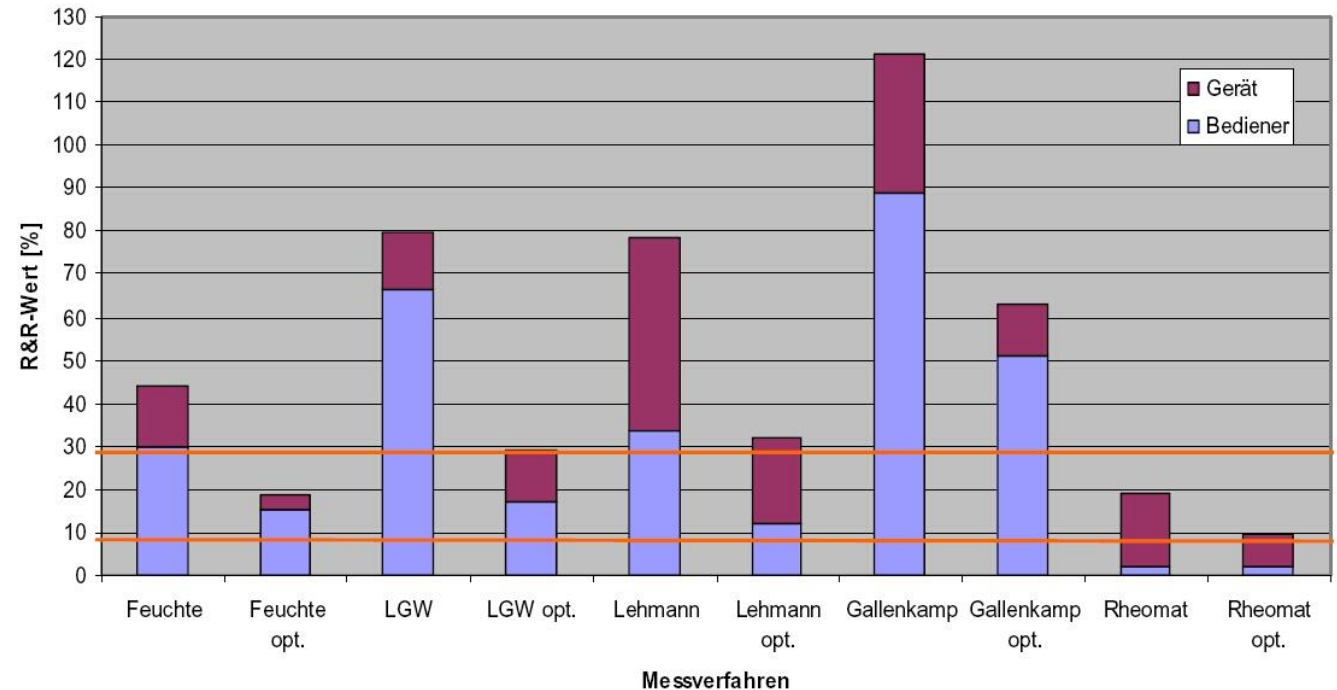
Wird dieser Wert überschritten, kann es zu einer eigen verursachten Destabilisierung des Prozesses kommen:

**Angsttoleranzen, aufwendige Nachbesserungsaktionen, nicht zeitlich passende und Überreaktionen!**

## Eignung der Prüfmethode

(Einfluss Methode und Mensch) im Rahmen der vorgegebenen Toleranz (max. 30% Anteil an Variation)

R&R-Werte Vergleich

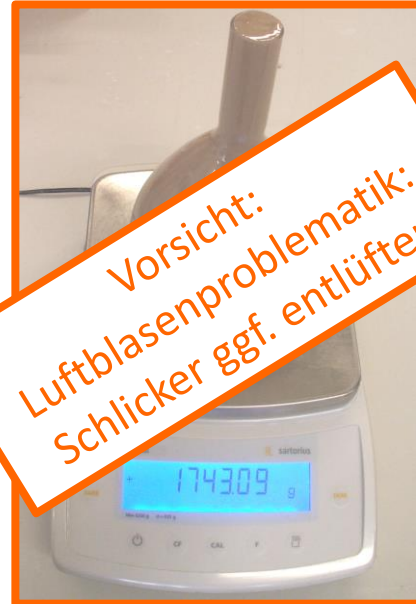


## ■ FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

### Schritt 2 : Prüfmittelfähigkeit und Korrelationsanalyse

Störgrößen –  
Zielmessungen:  
Praxisbeispiel  
Probenvorbereitung

Herstellung einer  
keramischen  
Suspension):  
prozedurbedingt



Litergewicht  
als  
sinnvolle  
Regelgröße?

Vorsicht:  
Luftblasenproblematik:  
Schlicker ggf. entlüften

- gut gießfähige Schlicker
- nicht sedimentierende Schlicker
- möglichst großen Schlickermengen und Enghals-Messkolben
- Mehrfachbestimmung
- Trockene Messkolben
- mit möglichst gleicher Temperatur wie zu messender Schlicker

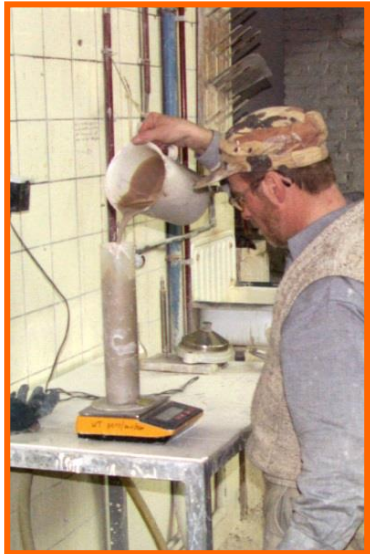
VS



Alternative:  
Feststoffgehalt  
als Einstell- und  
Regelgröße

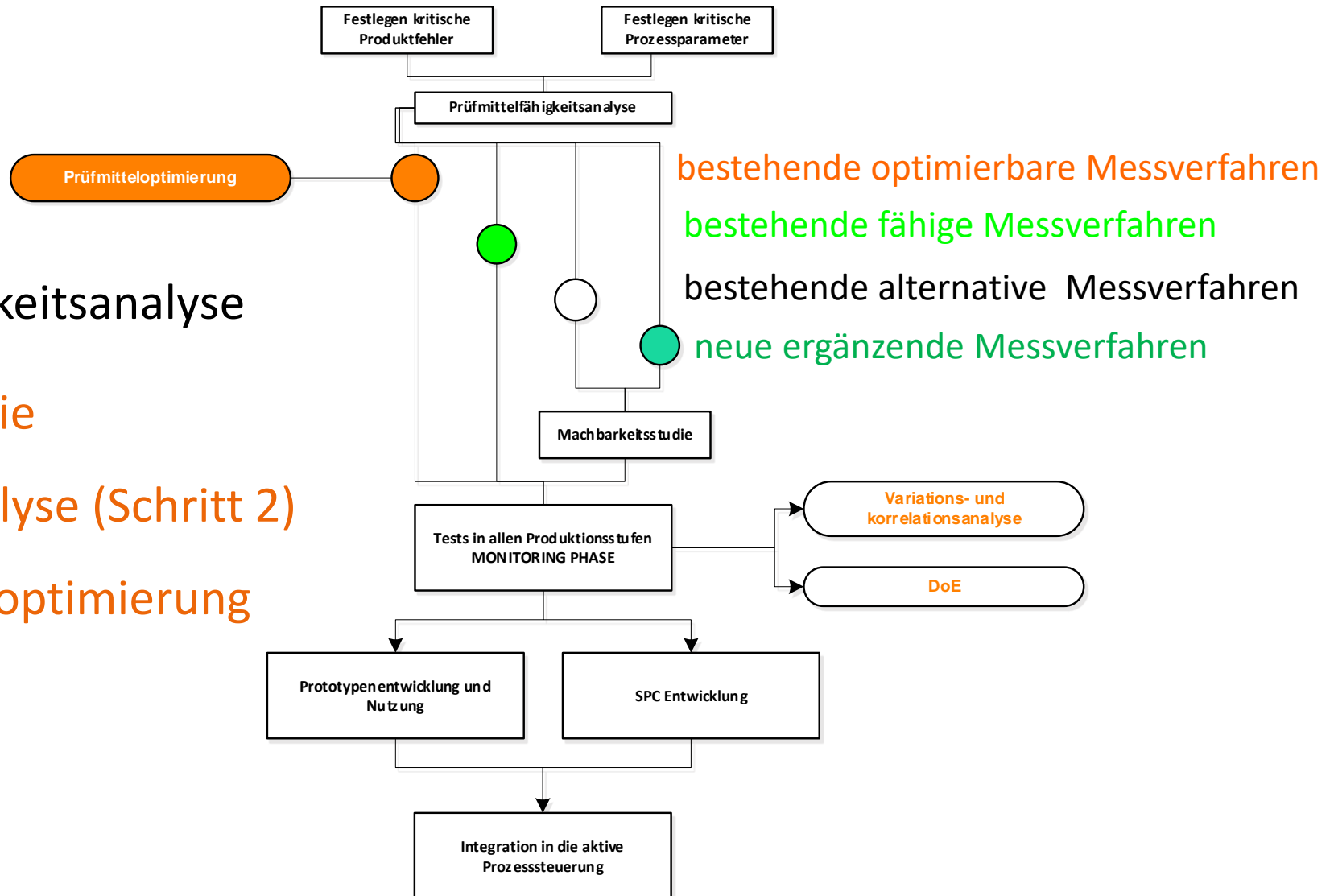
# FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

## Schritt 2 : Prüfmittelfähigkeit



### Prüfmittelfähigkeitsanalyse

Grundlage für die  
Korrelationsanalyse (Schritt 2)  
nach Prüfmitteloptimierung



- FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

## Schritt 2 : Prüfmittelfähigkeit und **Korrelationsanalyse**

### **VORSICHT bei der Korrelationsanalyse!**

#### Prüfung der **Datensammlung:**

Beispiele:

- „5 vor 12“ Aufzeichnungen
- „Gutwert“ Aufzeichnungen mit hohem Korrekturaufwand

#### Prüfung der **Kontrolle- und Eingriffsmechanismen vor Ort**

Beispiel:

- Sprühturmsteuerung über Brenner und/oder Pumpen

#### Prüfung der Relevanz der **Performance Indikatoren**

- Eindeutige Fehleranalyse



Das „5 vor 12“  
Protokoll



Der  
„Probeneimer“



Der „nachgeregelte“ Teller

■ FGK Output Accepted Process OAP-Prozess-scan

Referenzen:

**BLANCO**

**90S**  
GOERG & SCHNEIDER  
Tone · Schamotte · Massen

**Mosa.**

**SPHINX**  
TILES

**Villeroy & Boch**  
1748

**WMF**

**stephan  
schmidt group**

**KALDEWEI**

**scheurich**

Porcelanas®  
**BIDASOA**  
Desde 1934

**STEULER  
KCH**

**SIBELCO**

**LAUFEN**

**interbau**  **blink**

 **BOSCH**



Marcel Engels

marcel.engels@fgk-keramik.de

02624-186-58

Forschungsinstitut für Glas – Keramik GmbH  
Heinrich-Meister-Str. 2  
56203 Höhr-Grenzhausen

Höhr-Grenzhausen  
20.11.2024



Rheinland-Pfalz

MINISTERIUM FÜR  
WIRTSCHAFT, VERKEHR,  
LANDWIRTSCHAFT  
UND WEINBAU

Westerwaldkreis



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Forschungsinstitut für Glas und Keramik  
[www.fgk-keramik.de](http://www.fgk-keramik.de)