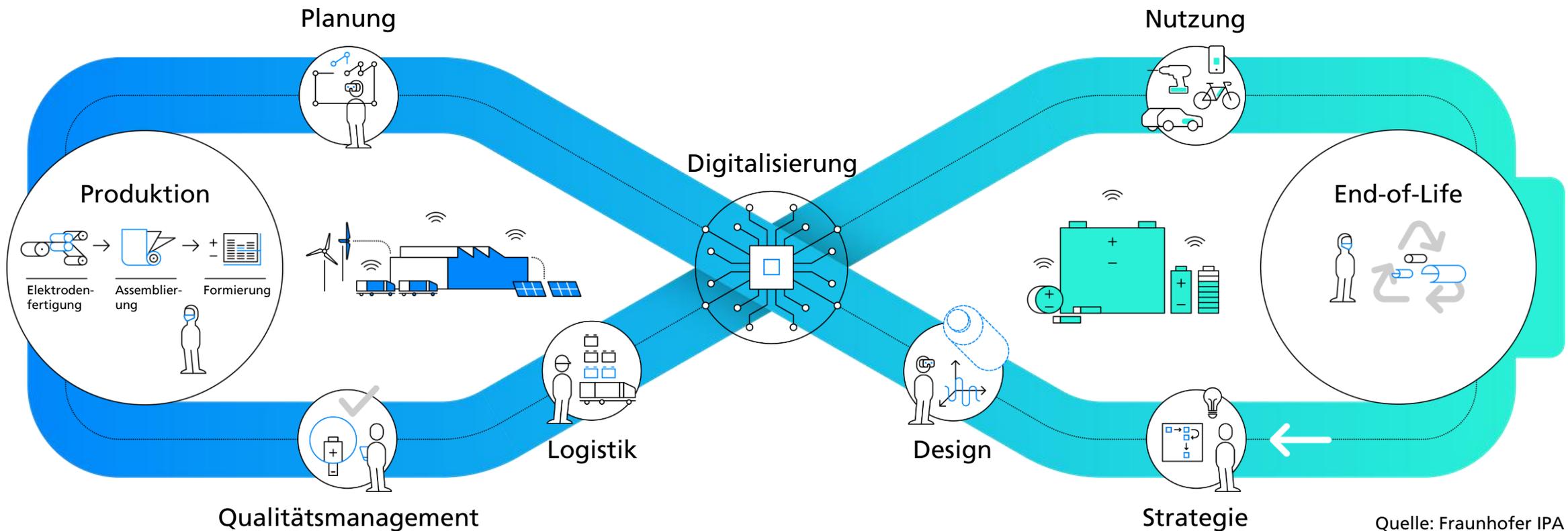


# ELEKTRODENPASTEN FÜR LITHIUM-IONEN-BATTERIEN

## DIGITALE DATENERFASSUNG UND INLINE-QUALITÄTSKONTROLLE

Batterie aus der Lebenszyklusperspektive

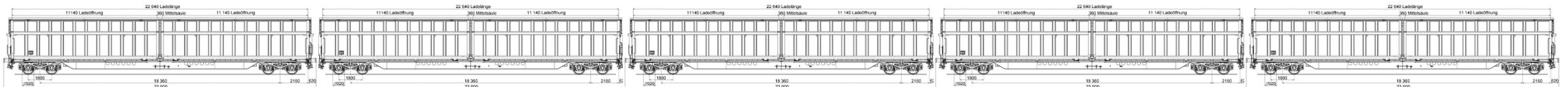


Quelle: Fraunhofer IPA

# Batteriezellfertigung in Europa

## Hohe Qualität in der Produktion als zwingende Voraussetzung

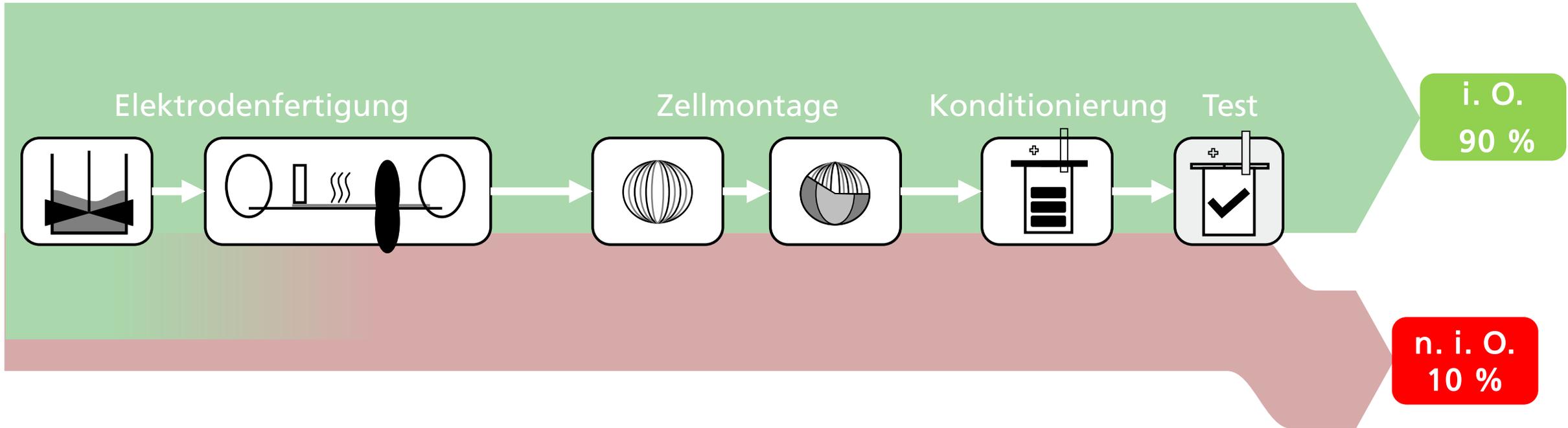
- Angenommener Produktionsverlust von **5 %** durch unzureichende Produktqualität **18 GWh/Jahr**
  - Gewicht des Abfalls **69231 t/Jahr**
- 
- Äquivalent in Form von Güterzugwaggon **1260 1/Jahr**
  - Längenäquivalent des Zuges **30 km/Jahr**



Quelle: Samsung SDI, northvolt, DB cargo

# Batteriezellfertigung – aktuelle Situation

## Qualität des Fertigungsprozesses – i. O. vs. N. i. O.



Ziel 1:  
Weniger Ausschuss

Ziel 2:  
Ressourcen schonen

Ziel 3:  
Hohe Zellkapazität

# Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion

## Entwicklung von hochflexiblen Serien-Produktionsverfahren

### Forschungszentrum ZDB\*

- Fokus auf qualitativ hochwertigen Batteriezellenproduktion
- Forschung und Entwicklung der Digitalisierung in der Batteriezellenproduktion
- Aufbau einer Pilotanlage zur Batteriezellenproduktion
- Zusammenarbeit von Fraunhofer IPA, Universität Stuttgart und VARTA



### Forschungsprojekt Digitalisierte Batteriezellenproduktion

Digitalisierungsanalyse der Zellfertigung

Elektrodenfertigung (Mischen)

Laserschweißen

Zellassemblierung

intelligente Werkstückträger

Intelligente Fertigungssteuerung

\* Zentrum für Digitalisierte Batteriezellenproduktion

\*\* flexible Verknüpfung der Prozesse durch I4.0-kompatible Komponenten

# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## Auswahl der Dispergiermethoden

### ■ Prozessparametern:

- Drehzahl / Drehgeschwindigkeit [1/s] / [m/s]
- Energieeintrag [J]
- Zeit/Dispergierdauer [s]
- Temperatur [°C]

### ■ Anforderungen:

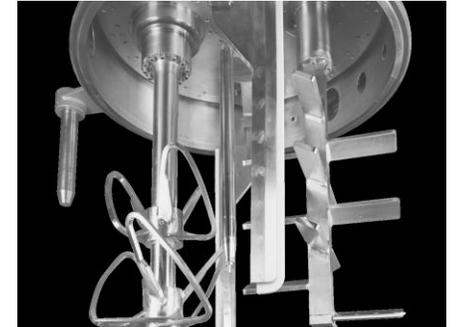
- Mischanlage für die Herstellung von mittel- bis hochviskosen Elektrodenmassen
- Behältervolumen der Mischanlage – 5 bis 10 Liter
- Flexibilität bei der Pastenherstellung
- Digitale Schnittstelle OPC/UA zum Auslesen und Verändern der Prozessdaten

### ■ Gemäß dem Lastenheft und Marktrecherche wurden drei Mischanlagen festgelegt:

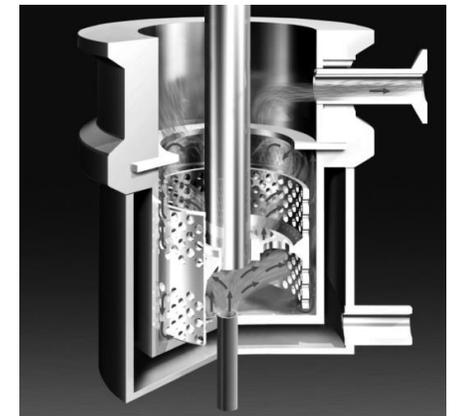
- Intensivmischer (Eirich), Planetenmischer (Netzsch), Filmix (Bühler)



Quelle: Eirich



Quelle: Bühler



Quelle: Bühler

# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## Auswahl der Dispergiermethoden

### Vorteile der Filmix Technologie

- Batch und kontinuierlicher Betrieb möglich
- Kurze Dispergierdauer bei Batchbetrieb (30 s vs. 60 min konventionelle Batchweise)  
→ vorteilhaft bei Einsatz von neuem Materialien und Rezepturoptimierung
- Kein Materialverlust
- Möglichkeit die Qualität von Pasten online überwachen

### Nachteil der Filmix Technologie

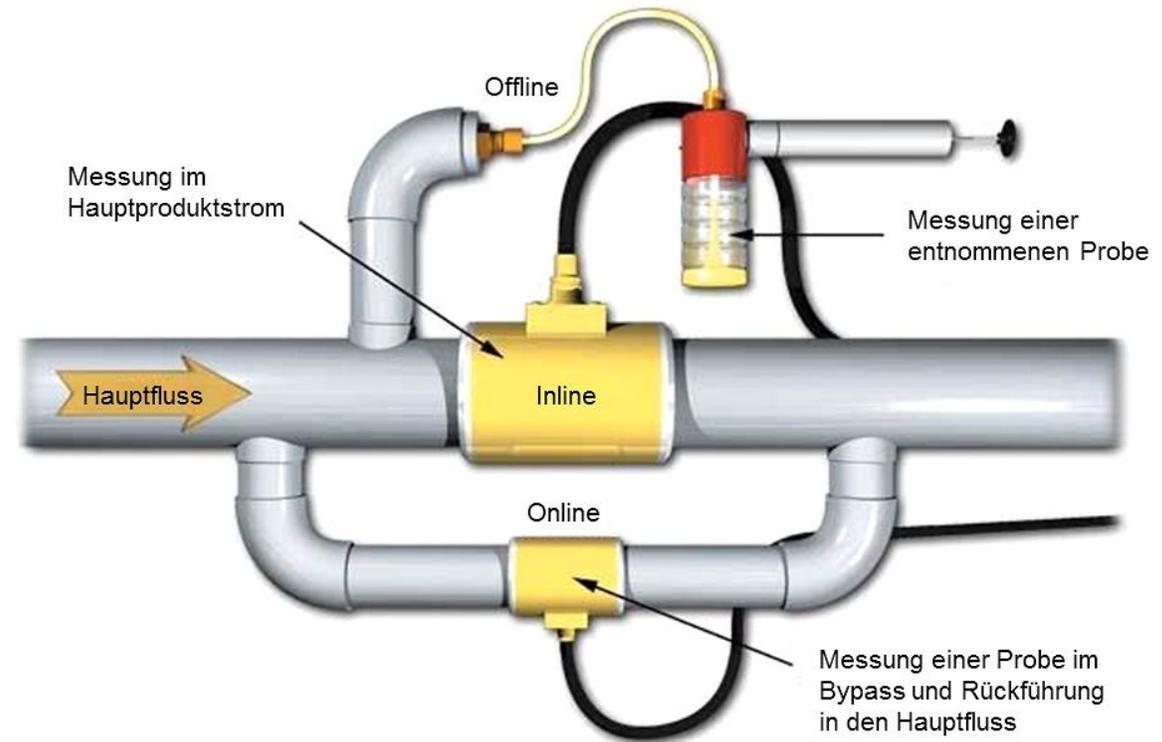
- Vordispergierung notwendig



# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## Stand der Technik – Charakterisierung

- Online- oder Inline-Messverfahren sind für den kontinuierlichen Betrieb geeignet



Quelle: <https://aavos.eu/glossary/online-inline-atline-bypass-analysers/>

### Welche Größen sollen gemessen und gesteuert werden?

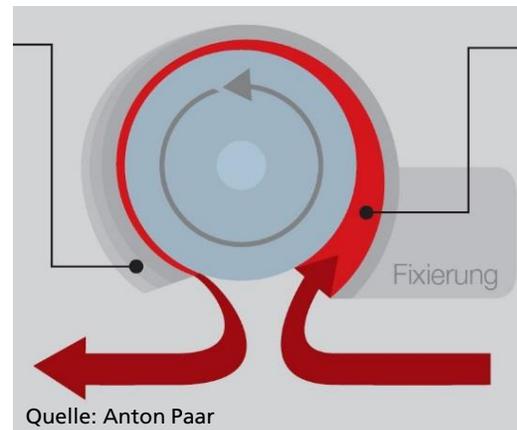
# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## Auswahl der Charakterisierungsmethoden – Viskosimeter

- L-Vis 520 Inline Viskosimeter (Anton Paar)
  - Messprinzip nach dem dynamischen Flüssigkeitsdruck
  - Inline- und Online-Messung möglich
  - Messbereich: 1 bis 50.000 mPa.s
  - Genauigkeit: 1%
  - Wiederholbarkeit: 0,5%
  - Deckt den gesamten Viskositätsbereich
  - Digitale Schnittstelle Profibus vorhanden
  - Kostengünstig



Quelle: Anton Paar



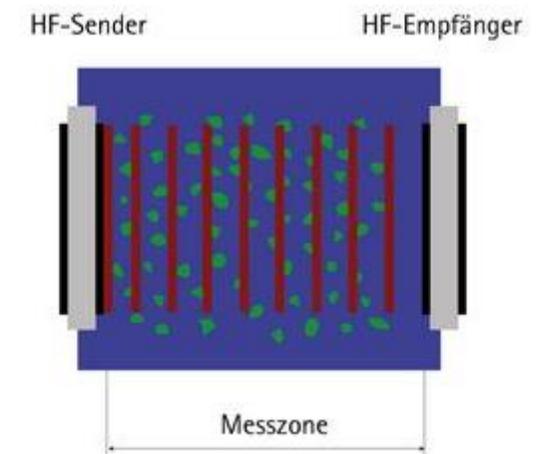
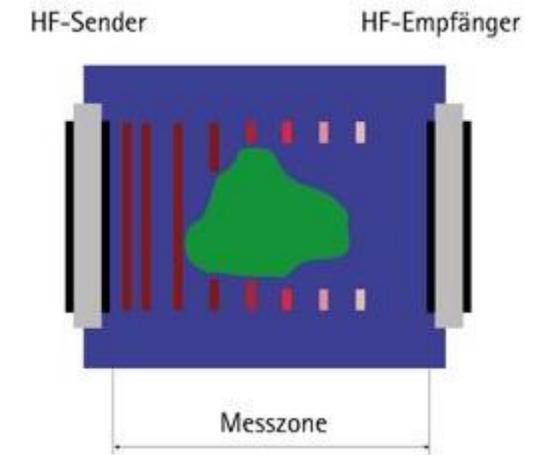
Quelle: Anton Paar



# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## Auswahl der Charakterisierungsmethoden – Partikelgrößenverteilung

- OPUS Ultraschallsonde – Sympatec GmbH
  - Messprinzip: Ultraschall – Extinktion
  - Konzentrationsbereich: bis 70 vol. %
  - Messung im Originalzustand möglich
  - Messbereich: 0,1  $\mu\text{m}$  – 3000  $\mu\text{m}$
  - Wiederholgenauigkeit: < 1 %
  - Digitale Schnittstelle: TCP/IP sowie MODBUS
  - Inline- und Online- Messung möglich



Quelle: Sympatec GmbH

# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## Mechanische Vernetzung der Anlagen

### Vordispersieren mit Dissolver

- Einzelne Komponenten (Feststoffe und Lösemittel) werden in erster Stufe miteinander vermischt
- Um die Bildung einer explosionsfähigen Zone zu vermeiden ist bei den lösemittelbasierten Formulierungen eine Inertisierung mit Stickstoff notwendig.

### Dispergieren mit Filmix

- Im Batchbetrieb wird ein bestimmtes Volumen der Vormischung in die Filmix-Prozesszone transferiert
- Im kontinuierlichen Betrieb befördert eine Exzentrerschneckenpumpe die Dispersion in den Filmix
- Anschließend gelangt das Produkt über einen Wärmetauscher zu den Charakterisierungsgeräten



# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

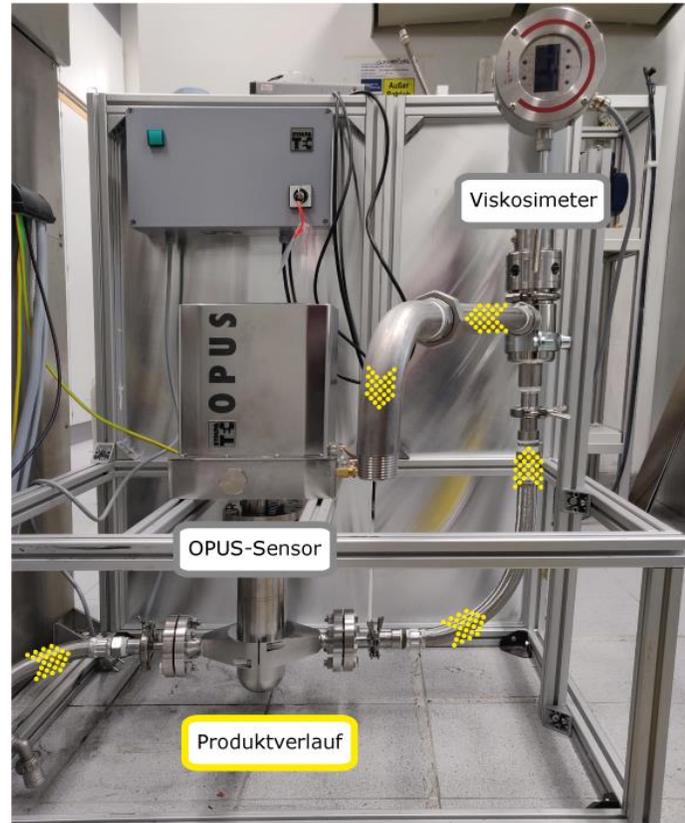
## Mechanische Vernetzung der Anlagen

### Charakterisierung:

- Paste durchläuft OPUS Partikelgrößenmessgerät und Viskosimeter inline
- Produkt wird im Auslaufbehälter gesammelt

### Digitale Vernetzung

- Die Anlagen sind miteinander vernetzt
- Die Prozessdaten werden automatisch erfasst und in der Datenbank gespeichert

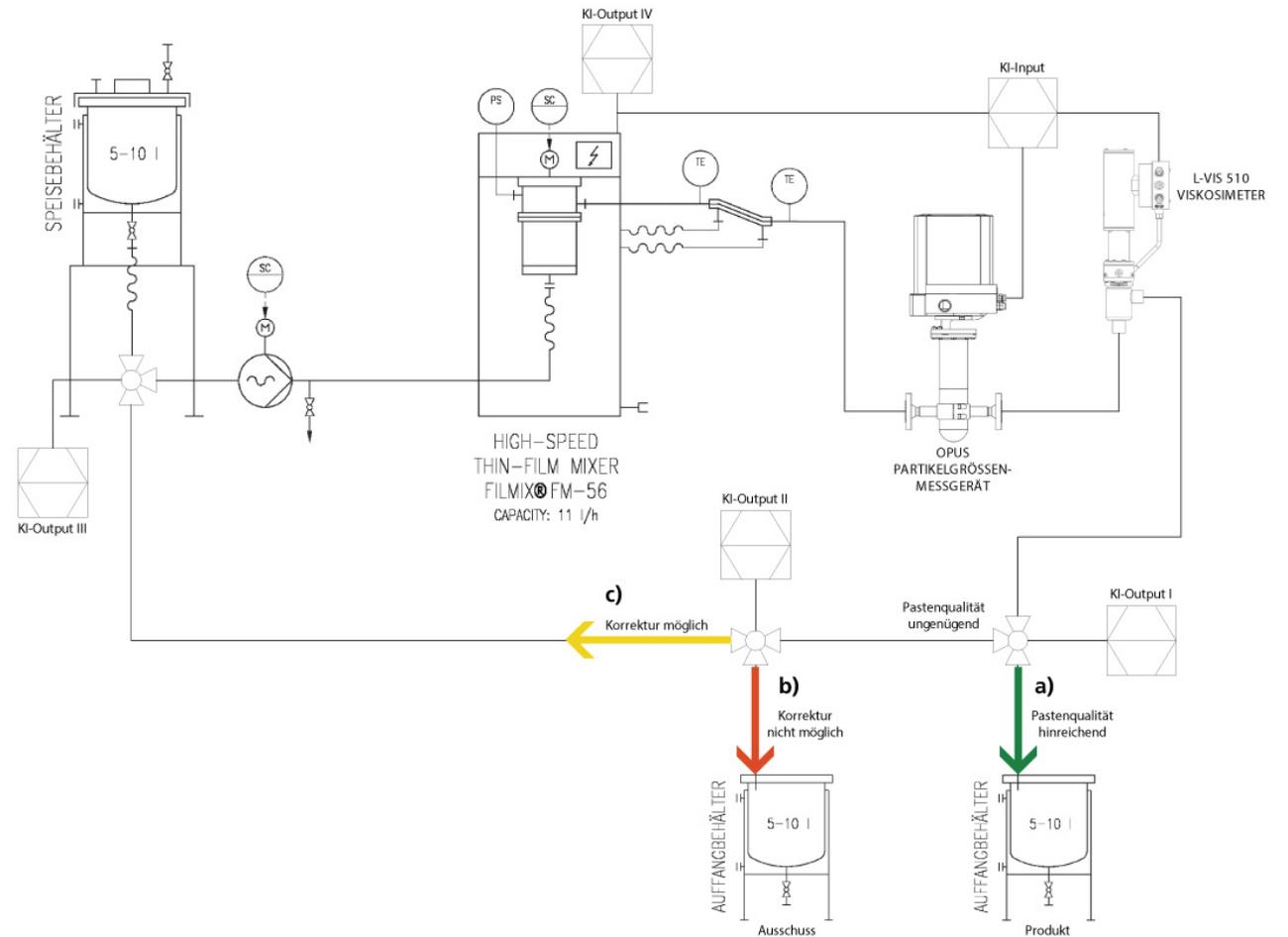


# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## Konzeption von Automatisierungstechnik basierend auf digitalem Abbild

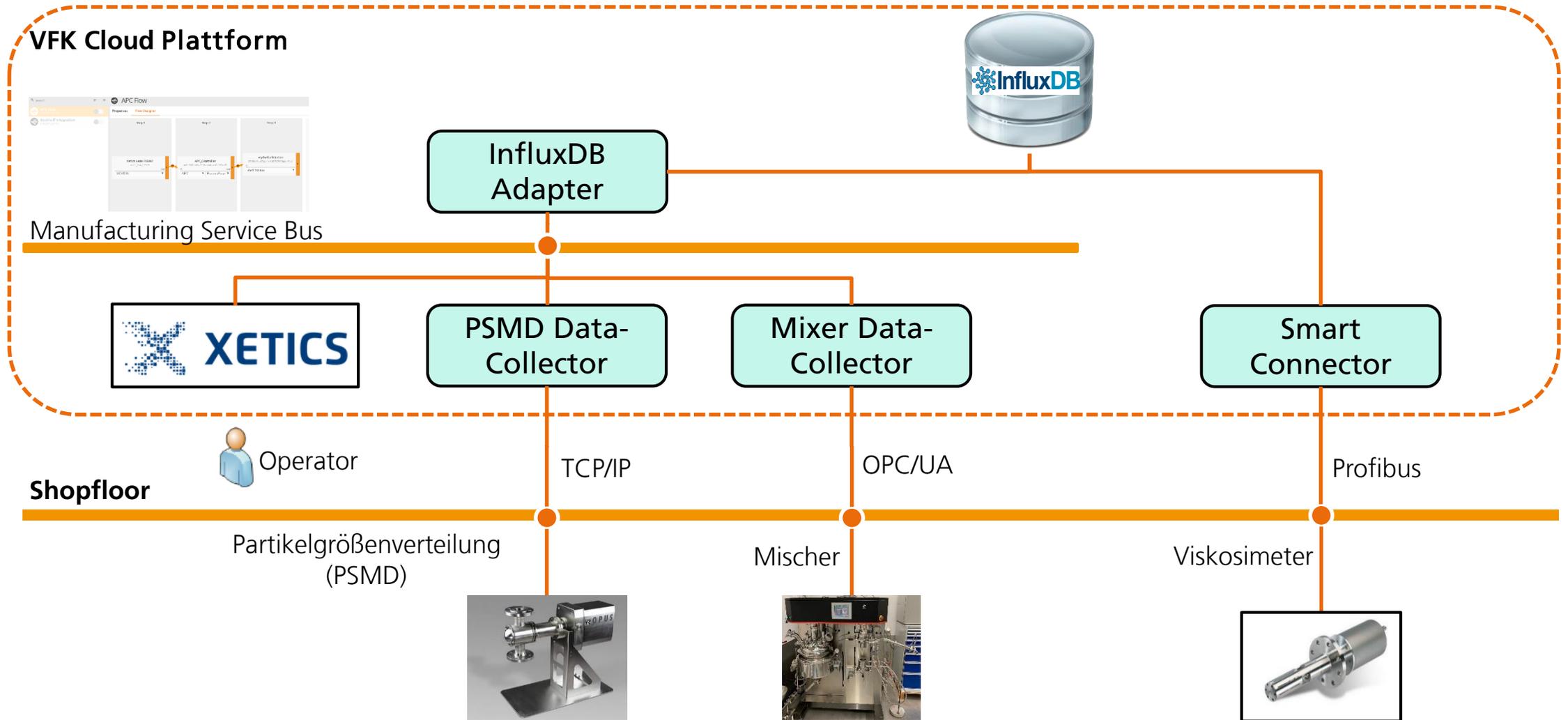
Konzept für die Rückführung der Dispersion

- Viskosität und Partikelgrößendaten in Echtzeit auswerten  
→ Einordnung der Pastenqualität
- Weiterleitung je nach Qualität:
  - a) Hinreichend → Produktbehälter
  - b) Mangelhaft → Ausschuss
  - c) Mittelmäßig → Rückführung
- Bei Rückführung wird Zufuhr aus Speisebehälter unterbrochen
- Paste wird erneut unter optimierten Prozessparametern dispergiert  
→ bspw. Mischergeschwindigkeit erhöhen bei zu hoher Viskosität der Paste



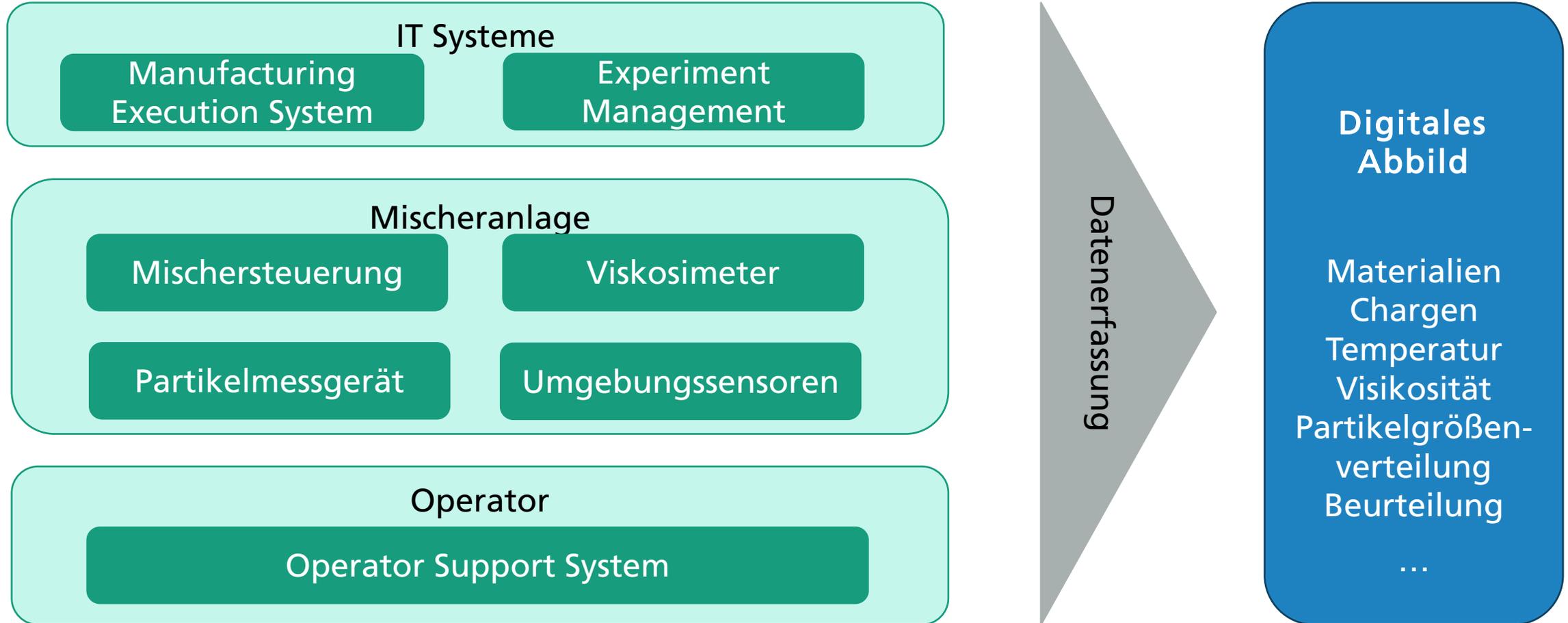
# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## Digitalisierung des Mischprozesses – Software Service Architektur



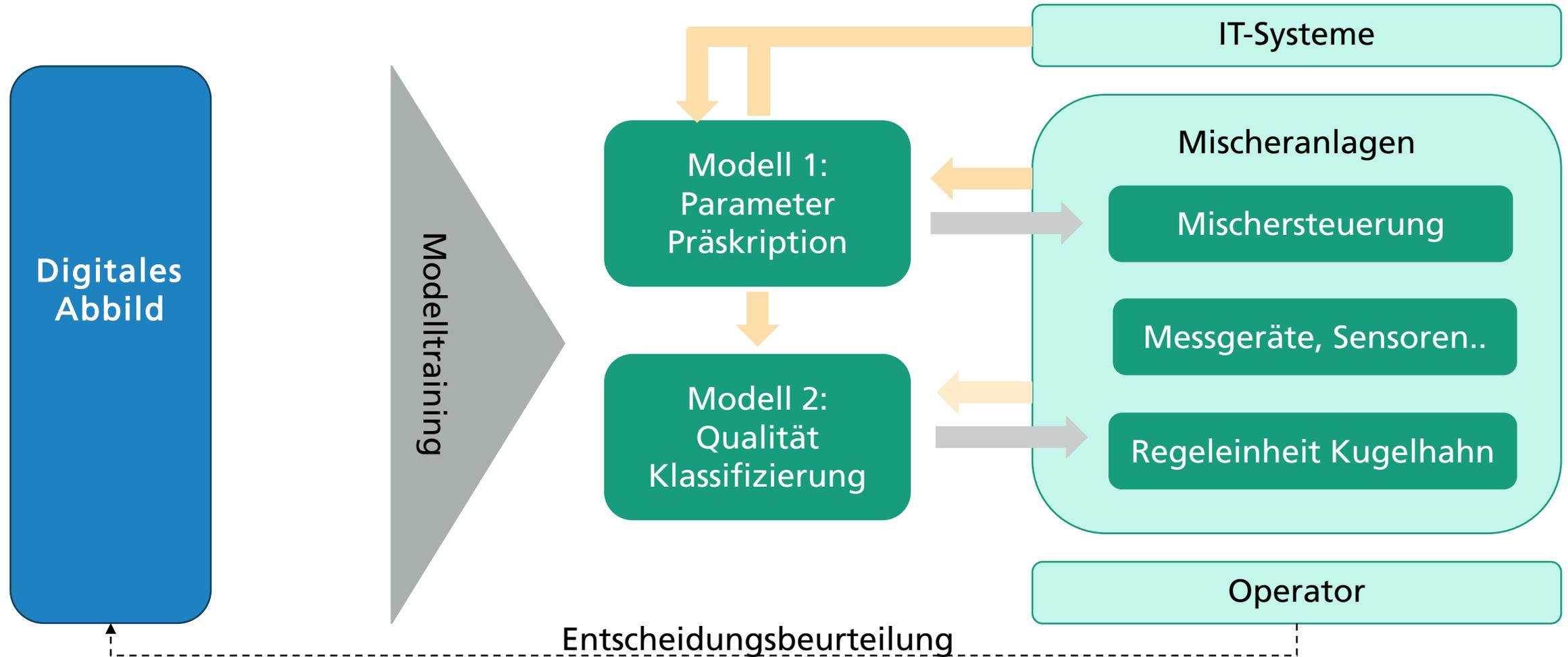
# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## KI-basierte Steuerung der Mischanlage



# Aufbau einer Produktionszelle zur Elektrodenpastenherstellung

## KI-basierte Steuerung der Mischanlage



# Zusammenfassung und Ausblick

Höhere Transparenz über Material- und Informationsflüsse in der Batterieproduktion gewährleistet:

- Minimierung von Fehlern
- Reduzierung der Abfälle / Bessere Wertschöpfung
- Minimierung der Kapazitätsengpässe und Erhöhung der Produktivität



Folgeaktivitäten:

- Verbesserung der Visualisierung
- Industrielle Validierung
- Einheitlicher Standard bei digitalen Schnittstellen – Rückmeldung an Gerätehersteller



# Fraunhofer IPA

## Ihr Ansprechpartner

Dominik Nemec  
Zentrum für Dispergiertechnik  
Abteilung Funktionale Materialien

Telefon +49 711 970-3668  
dominik.nemec@ipa.fraunhofer.de

[www.ipa.fraunhofer.de](http://www.ipa.fraunhofer.de)  
[www.wir-produzieren-zukunft.de](http://www.wir-produzieren-zukunft.de)  
[www.die-uebermorgen-macher.de](http://www.die-uebermorgen-macher.de)

---

## Wir produzieren Zukunft

Nachhaltig. Personalisiert. Smart.

## Sie bleiben wettbewerbsfähig

Nachhaltig. Flexibel. Wirtschaftlich.