



Mehr als Sortieren: Potenziale von Sensortechnik zur Optimierung von Sortieranlagen

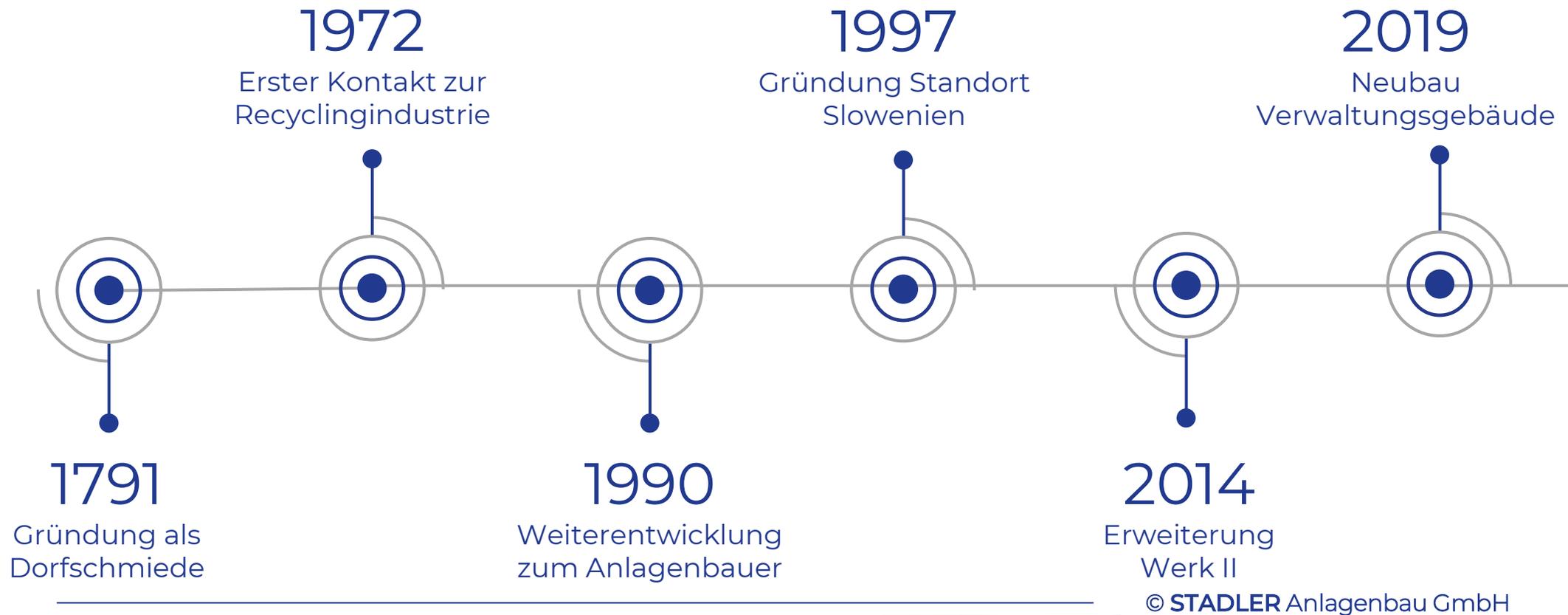
Dr. Nils Kroell, Dr. Xiaozheng Chen, Dr. Bastian Küppers,
Annika Ludes, Marvin Emmerich, Elias Pfund, Julia Stadler

Digital Solutions, STADLER Anlagenbau GmbH



Julia Stadler (CDO) und Willi Stadler (CEO)

Wer sind wir?





>500

Schlüsselfertige
Sortieranlagen
weltweit

>550

STADLER
Mitarbeiter
in 2023

>3000

STADLER
Einzelkomponenten
installiert

Wer
sind
wir?





In welchen Bereichen können Sortieranlagen mittels digitaler Technologien weitergehend optimiert werden?



Welche Rolle spielt Inline-Sensortechnik dabei?



Welche Anwendungen lassen sich aus diesen Potenzialen ableiten?



In welchen Bereichen können Sortieranlagen mittels digitaler Technologien weitergehend optimiert werden?

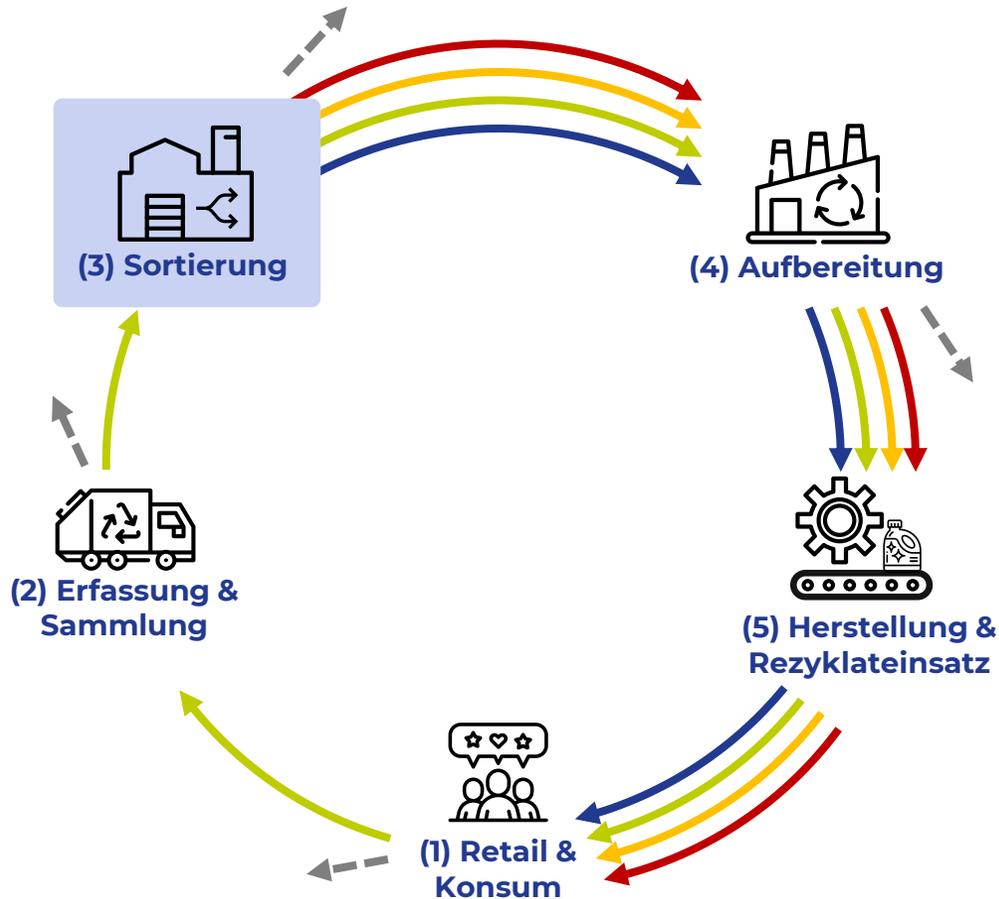
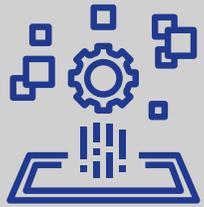


Welche Rolle spielt Inline-Sensortechnik dabei?



Welche Anwendungen lassen sich aus diesen Potenzialen ableiten?

Leistungsstarke Sortieranlagen sind zentral für geschlossene Materialkreisläufe.



Technische Zielgrößen:



Hohes Ausbringen & Reinheiten / Erreichung Mindestreinheiten



Hoher Anlagendurchsatz



Hohe Verfügbarkeit



Minimaler Energie- & Ressourcenverbrauch

Digitale Technologien können hierzu in drei wesentlichen Bereichen beitragen.

STADLER[®] connect

Materialdaten

Maschinendaten



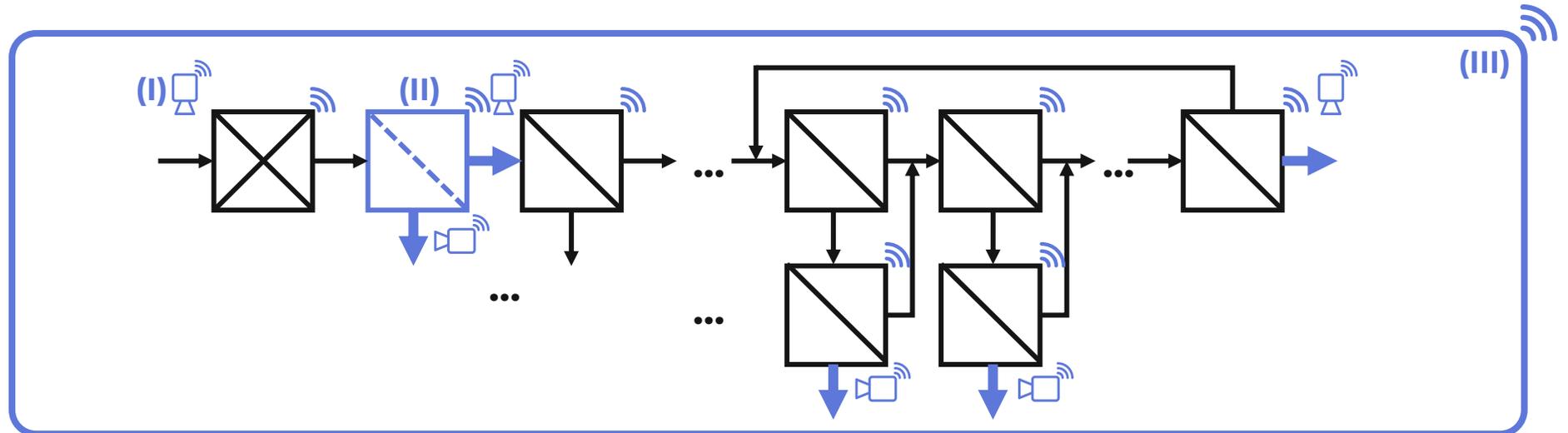
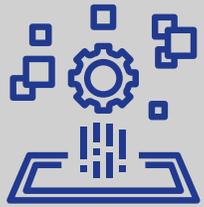
**(I) Inline-Stoffstrom-
charakterisierung**
(Material Analysis)



**(II) Intelligente
Prozesssteuerung**
(Automation)



**(III) Digital-unterstützte
Wartung & Instandsetzung**
(Digital Maintenance)



Agenda



In welchen Bereichen können Sortieranlagen mittels digitaler Technologien weitergehend optimiert werden?

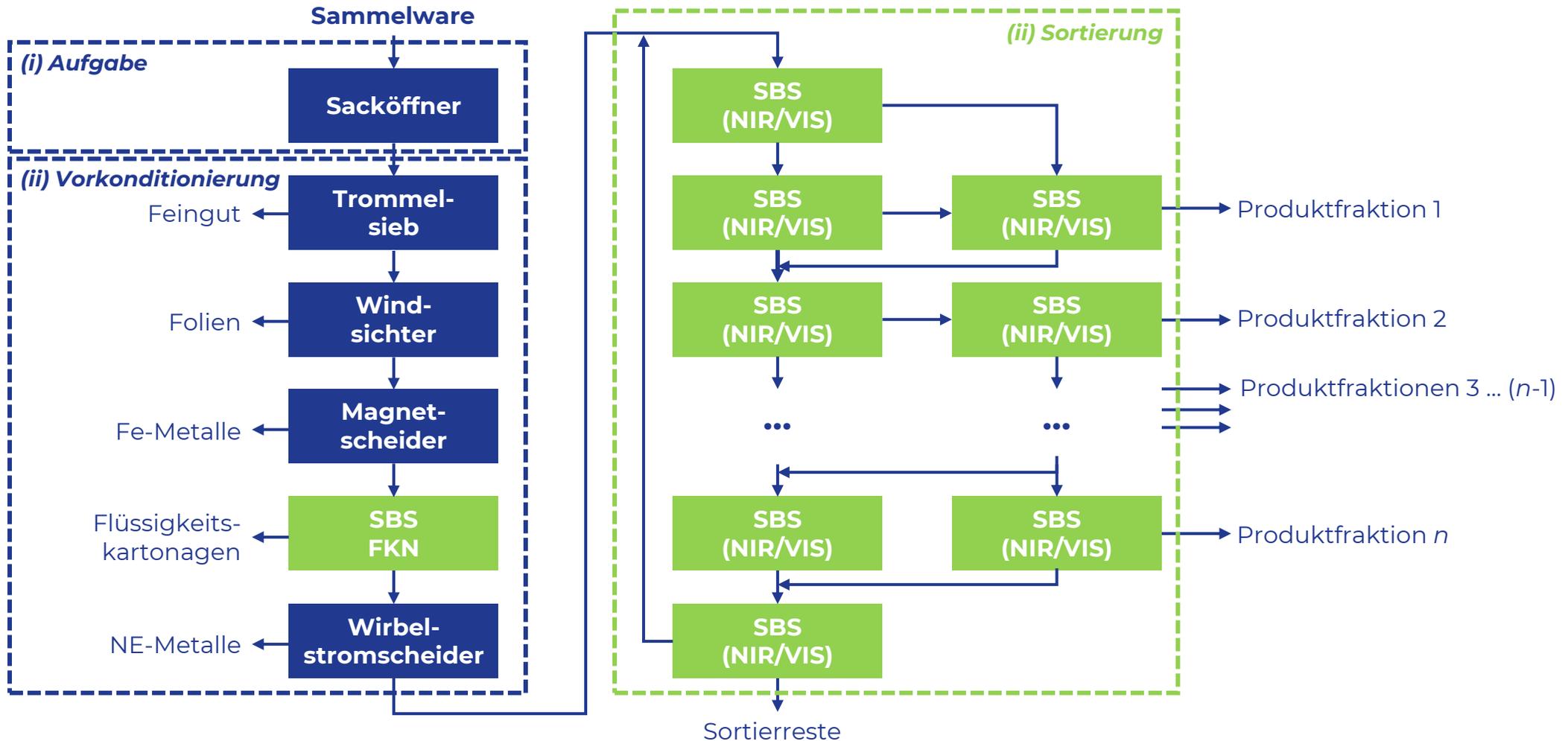


Welche Rolle spielt Inline-Sensortechnik dabei?



Welche Anwendungen lassen sich aus diesen Potenzialen ableiten?

Bisher wird Sensortechnik in Sortieranlagen primär zur reinen Sortierung eingesetzt.



Die primär eingesetzten Sensortechnologien umfassen NIR, VIS-RGB und 3DLT.

Nahinfrarot (NIR)

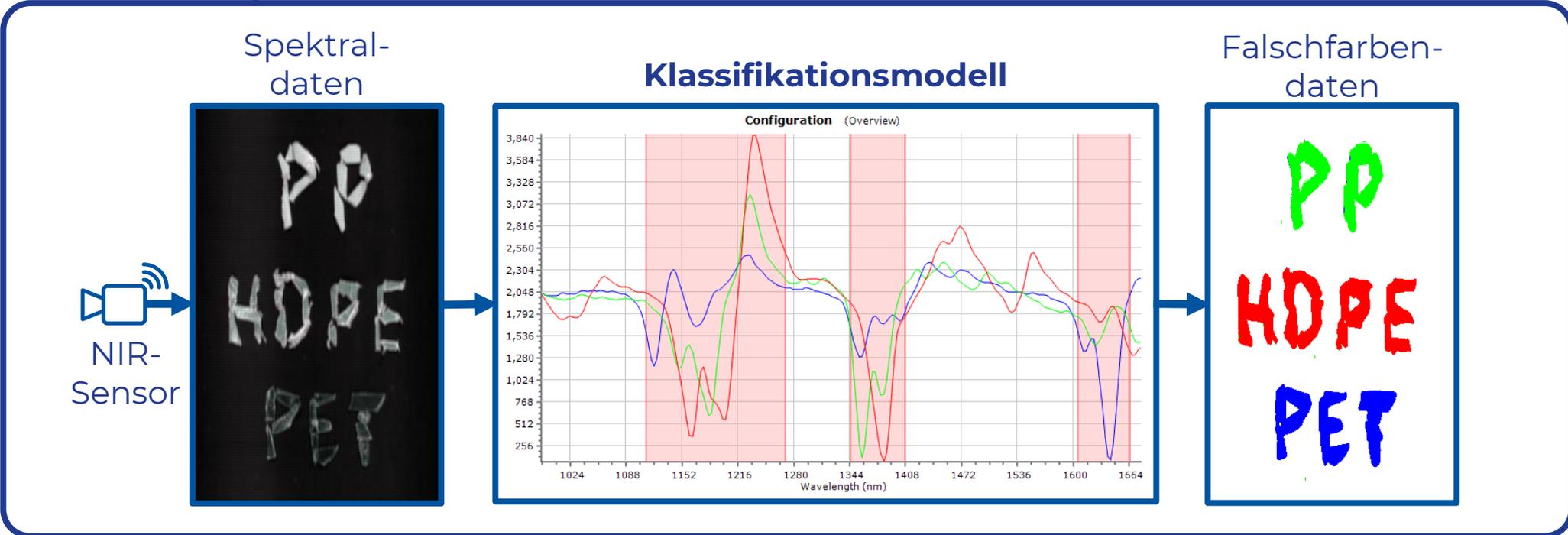
- 780 nm – 2500 nm
[1000 nm – 1700 nm]
- ▶ **Material**

Sichtbares Licht (VIS)

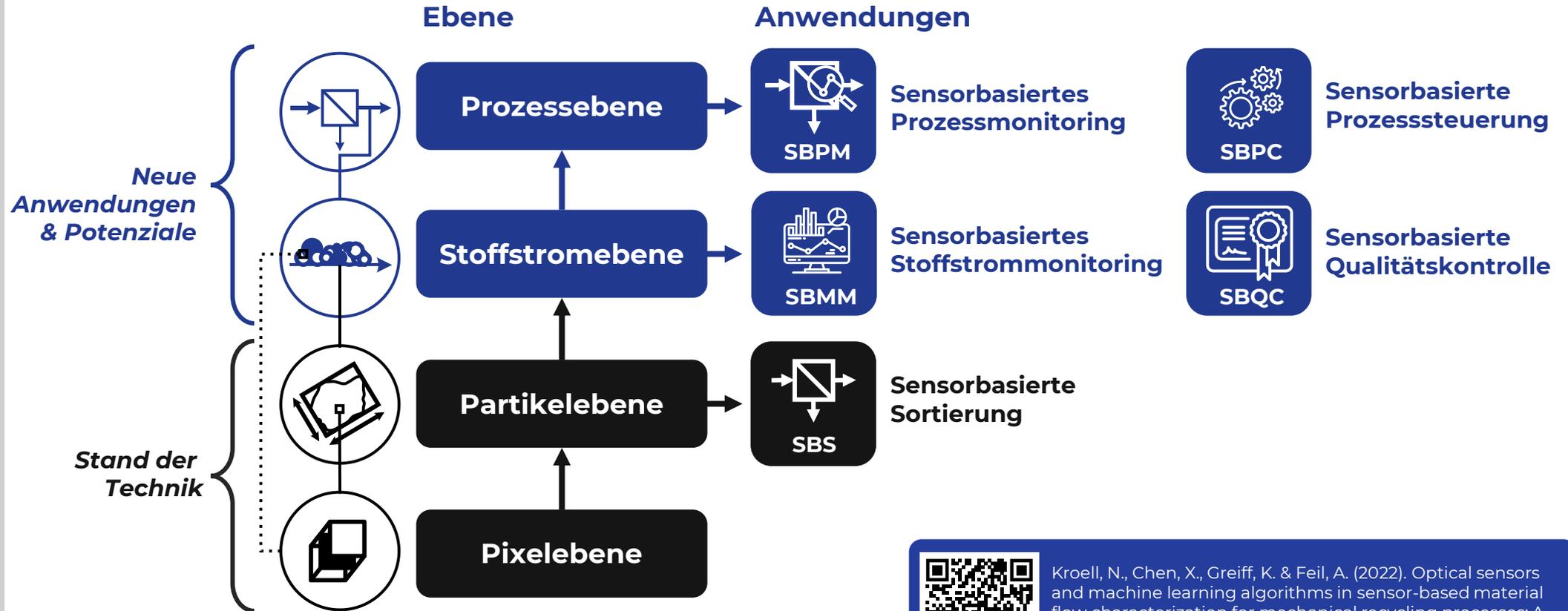
- 380 nm – 780 nm
- RGB oder HSI
- ▶ **Farbe/Objekt**

3D Lasertriangulation

-
- optional: Reflexion
- ▶ **Höhe**



Neue Sensortechnik-Potenziale ergeben sich jenseits der eigentlichen Sortieraufgabe.



Kroell, N., Chen, X., Greiff, K. & Feil, A. (2022). Optical sensors and machine learning algorithms in sensor-based material flow characterization for mechanical recycling processes: A systematic literature review. *Waste Management* 149: 259–290. doi.org/10.1016/j.wasman.2022.05.015

Agenda



In welchen Bereichen können Sortieranlagen mittels digitaler Technologien weitergehend optimiert werden?



Welche Rolle spielt Inline-Sensortechnik dabei?



Welche Anwendungen lassen sich aus diesen Potenzialen ableiten?

Diese Potenziale lassen sich in konkrete Use Cases herunterbrechen.



Use Case I: Sensorbasiertes Inline-Qualitätsmonitoring

Zielstellung: Inline-Monitoring der ballenspezifischen, massen- und artikelbasierten Zusammensetzung von relevanten Outputfraktionen.



Use Case II: Sensorbasiertes Prozessmonitoring & -steuerung

Zielstellung: Monitoring, Modellierung und Steuerung von Vorkonditionierungs- und Sortierprozessen auf Basis von Inline-Sensordaten.

Grundlage für ein Inline-Qualitätsmonitoring sind zunächst belastbare Sensordaten.



Angaben in Massenprozent



[A.-%]

→

[Ma.-%]

Stoffstrompräsentationen

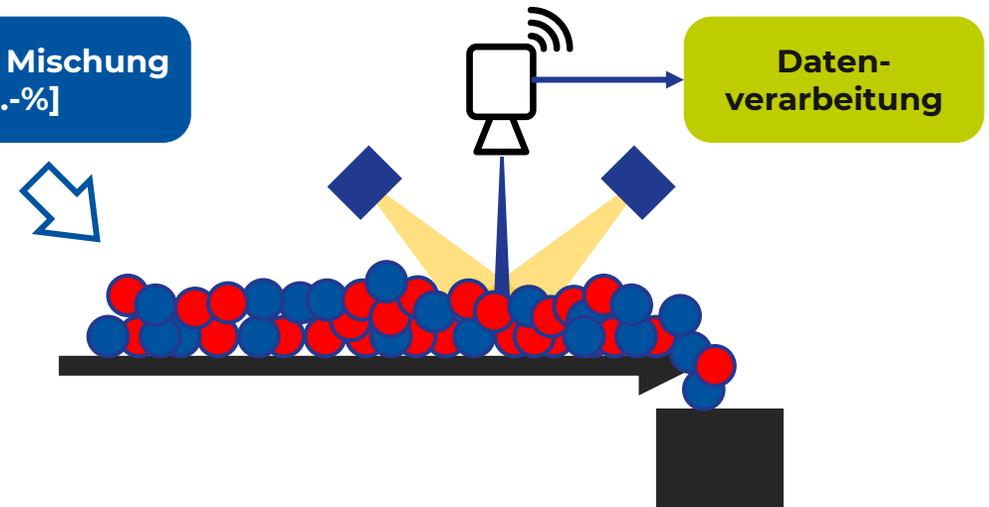
 Vereinzelt (VE)

 Monolayer (MO)

 Schüttung H1

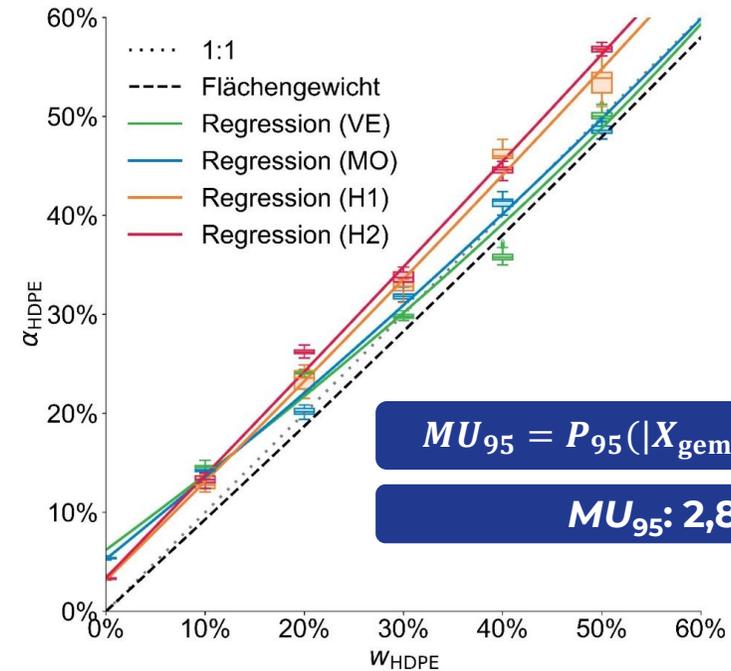
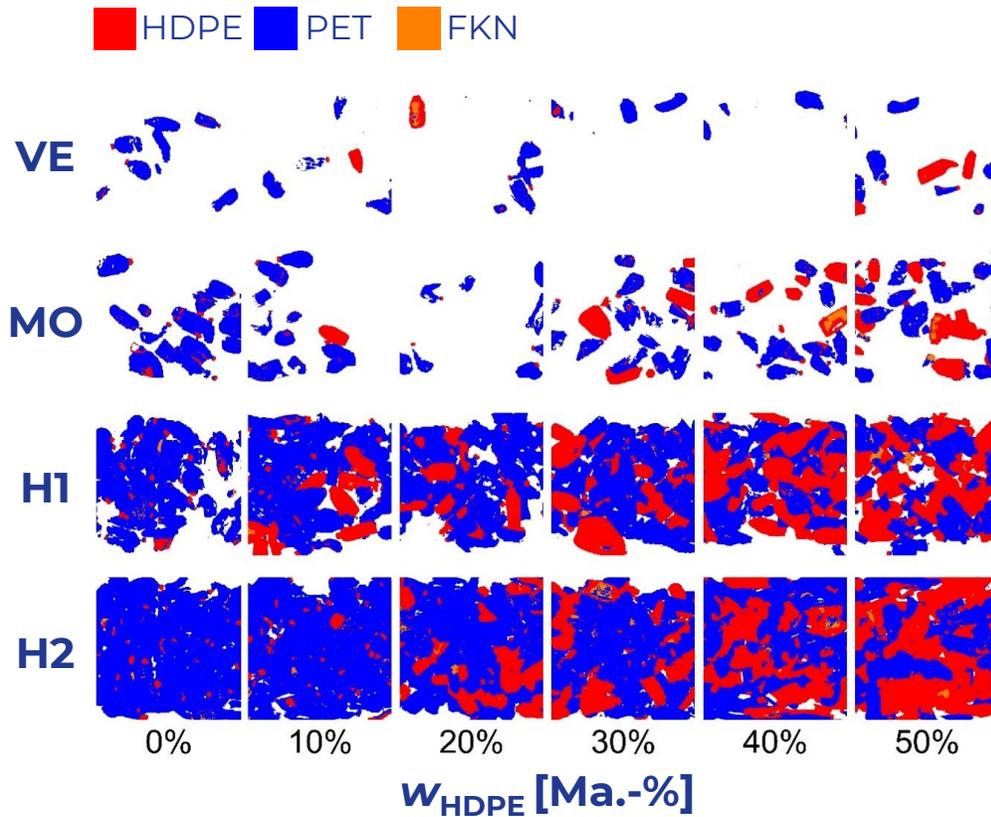
 Schüttung H2

Definierte Mischung
[Ma.-%]



NIR: Nahinfrarot

In Kombination mit intelligenter Datenauswertung sind NIR-Daten belastbar.



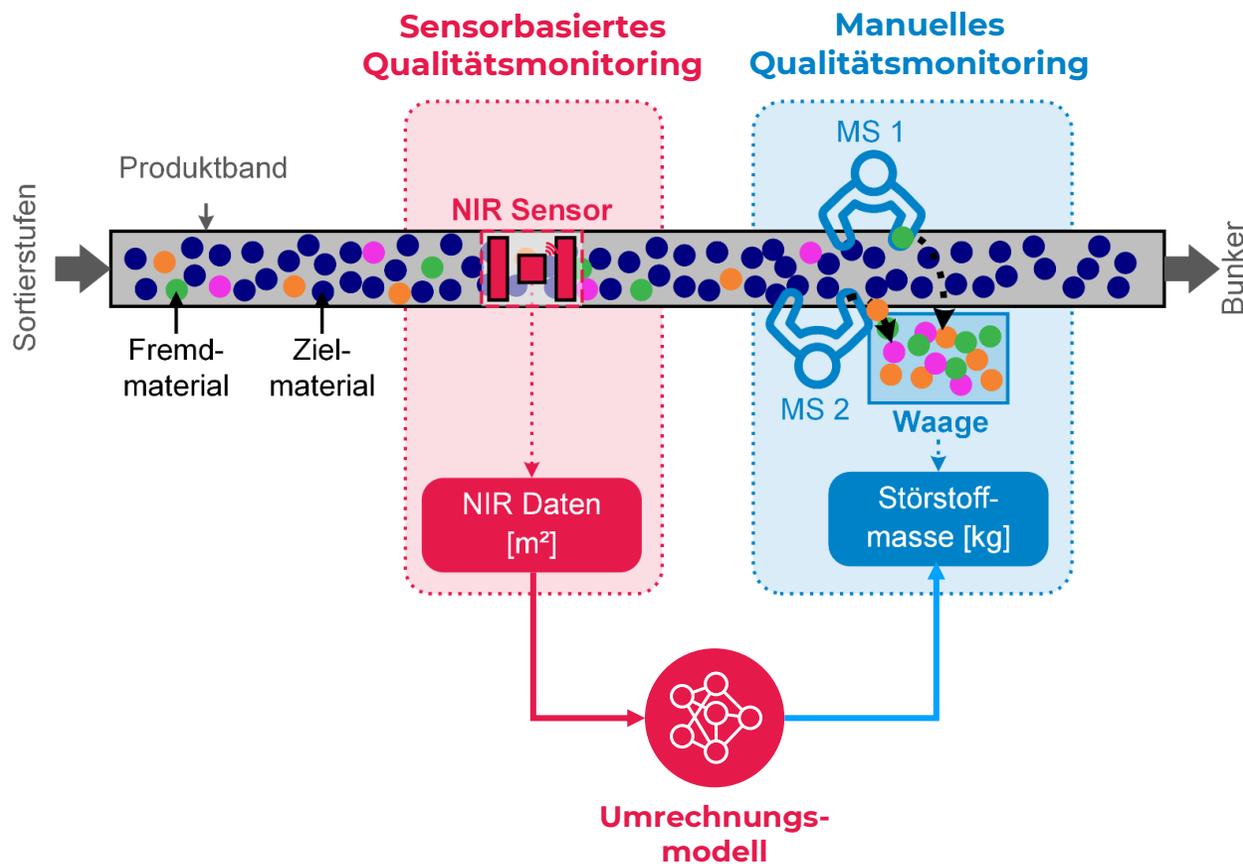
$$MU_{95} = P_{95}(|X_{gemessen} - X_{wahr}|)$$

$MU_{95}: 2,8 \text{ Ma.-%}$



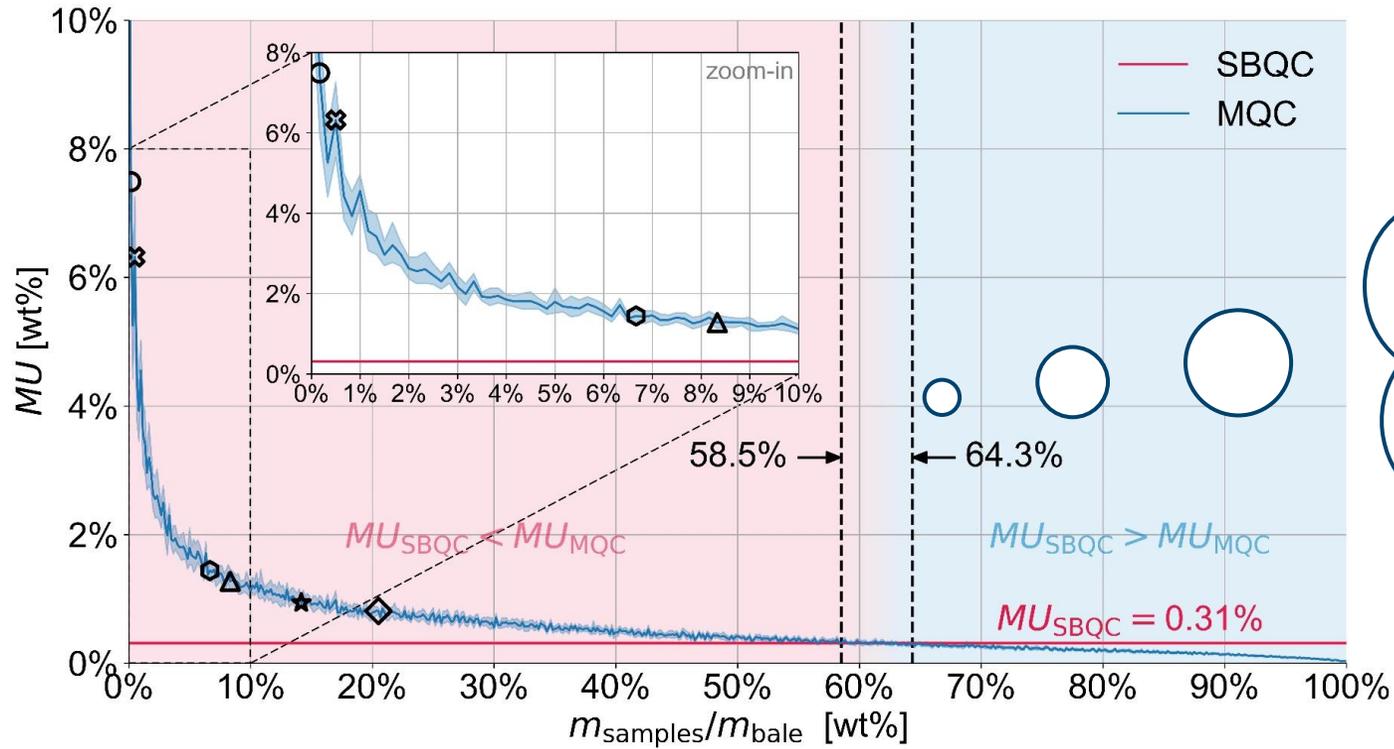
Kroell, N., Chen, X., Küppers, B., Lorenzo, J., Maghmoumi, A., Schlaak, M., Thor, E., Nordmann, C. & Greiff, K., 2023. "Near-infrared-based determination of mass-based material flow compositions in mechanical recycling of post-consumer plastics: Technical feasibility enables novel applications." Resources, Conservation and Recycling 191:106873. doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106873

Im Anlagenmaßstab wurde das Inline- mit manuellen Qualitätsmonitoring verglichen.



**Zielstellung: NIR-basiertes
Inline-Monitoring &
Vorhersage der
Störstoffmassen in kg/h.**

Der Inline-Ansatz vermeidet Probenahmefehler und erzielt hohe Genauigkeiten.

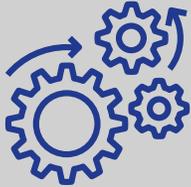


- CEN/TR 15310
- ⊗ LAGA PN 98
- ◇ ÖNORM S 2127
- ◊ GBP Quality GmbH
- △ COREPLA
- ★ Der Grüne Punkt

Mehr als **350 kg** eines 600 kg PET Tray Ballens müssten manuell beprobt und sortiert werden, um genauer als das sensorbasierte Qualitätsmonitoring zu werden.

Kroell, N., Chen, X., Küppers, B., Schlögl, S., Feil, A. & Greiff, K., 2024. Near-infrared-based quality control of plastic pre-concentrates in lightweight-packaging waste sorting plants. *Resources, Conservation and Recycling*: 201: 107256. doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107256

Weitere Potenziale ergeben sich auf Prozessebene.



Use Case I: Sensorbasiertes Inline-Qualitätsmonitoring

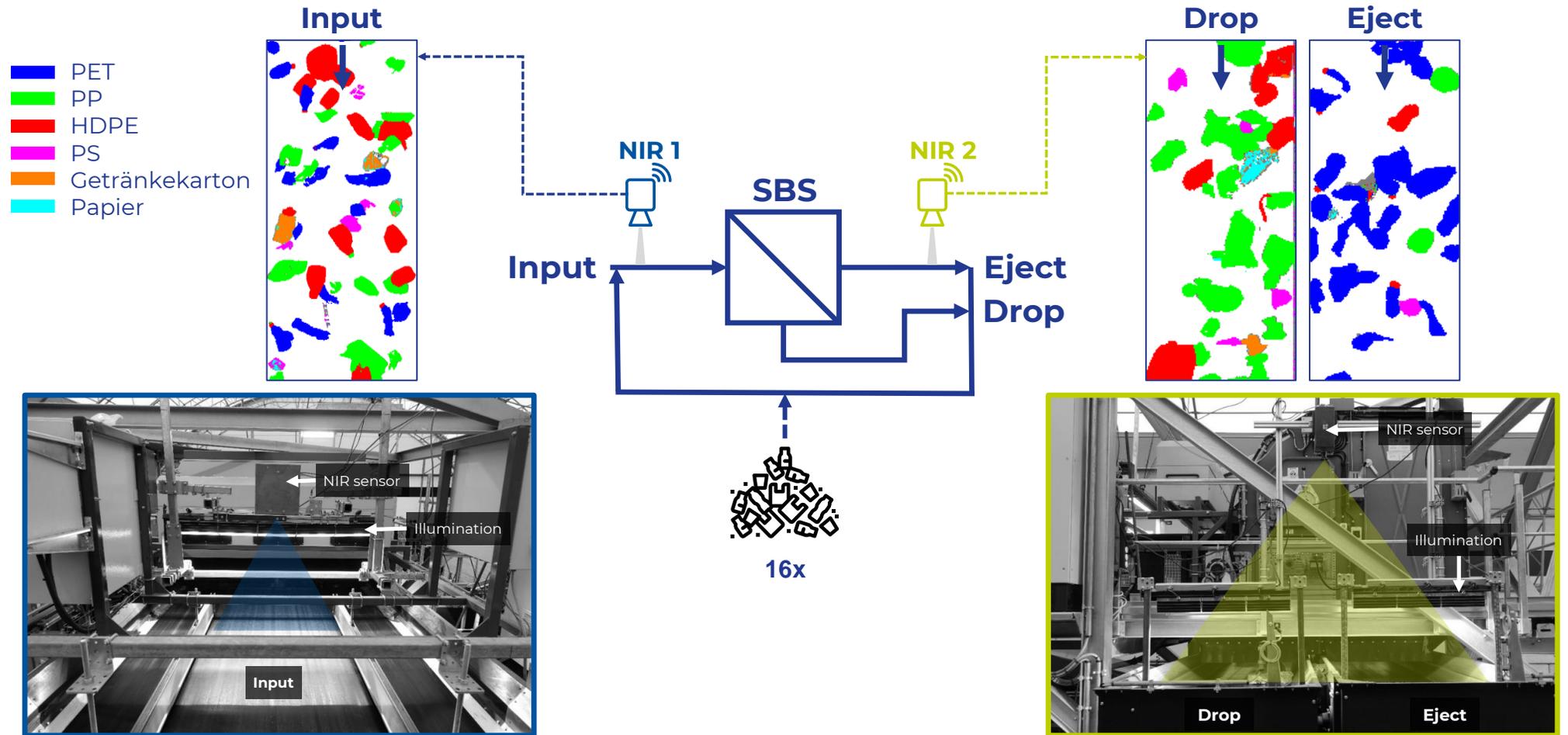
Zielstellung: Inline-Monitoring der ballenspezifischen, massen- und artikelbasierten Zusammensetzung von relevanten Outputfraktionen.



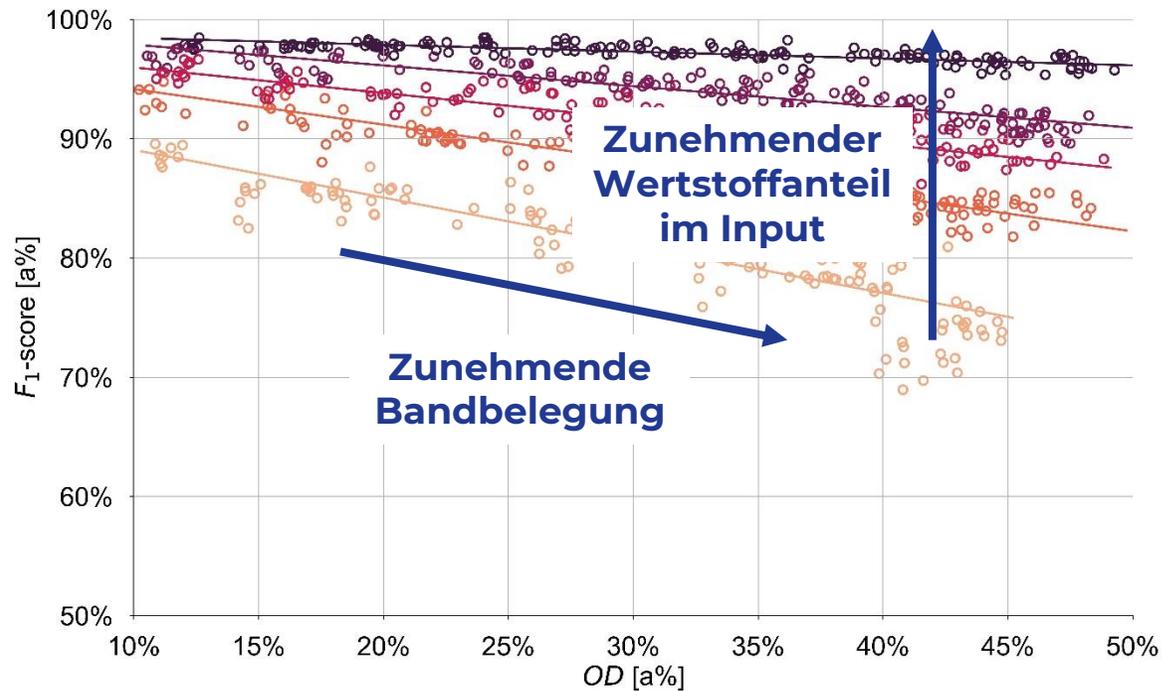
Use Case II: Sensorbasiertes Prozessmonitoring & -steuerung

Zielstellung: Monitoring, Modellierung und Steuerung von Vorkonditionierungs- und Sortierprozessen auf Basis von Inline-Sensordaten.

Das Monitoring mehrerer Stoffströme ermöglicht ein Inline-Prozessmonitoring.



Aus den Prozessdaten können Prozessmodelle und Erkenntnisse abgeleitet werden.



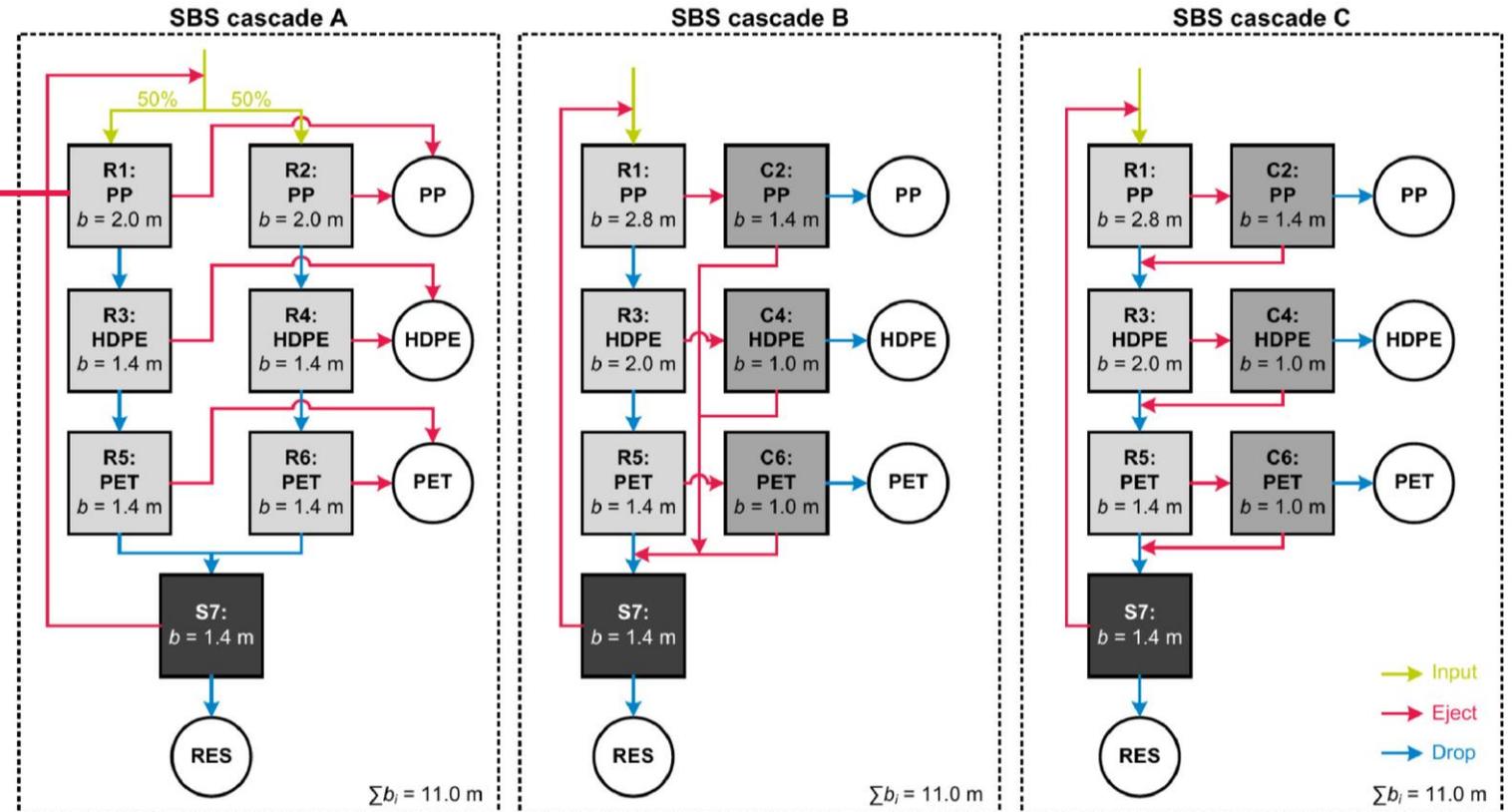
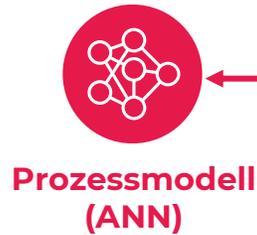
- +1% **Bandbelegung** (OD)
→ -0,22 a% Sortierperformance (F_1 -score)
- +1 wt% **Wertstoffanteil**
→ +0,19 a% Sortierperformance (F_1 -score)
- **Prozessmodell** (Artificial Neuronal Network)
→ 3,0 % MAE für materialspezifischer Transferkoeffizient



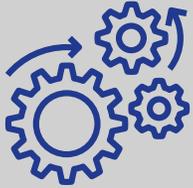
Kroell, N., Maghmoumi, A., Dietl, T., Chen, X., Küppers, B., Scherling, T., Feil, A. & Greiff, K., 2023. Towards digital twins of waste sorting plants: Developing data-driven process models of industrial-scale sensor-based sorting units by combining machine learning with near-infrared-based process monitoring. *Resources, Conservation and Recycling* 200: 107257. doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107257

Verschaltung mehrerer Prozessmodelle ermöglicht die Simulation von Prozessketten.

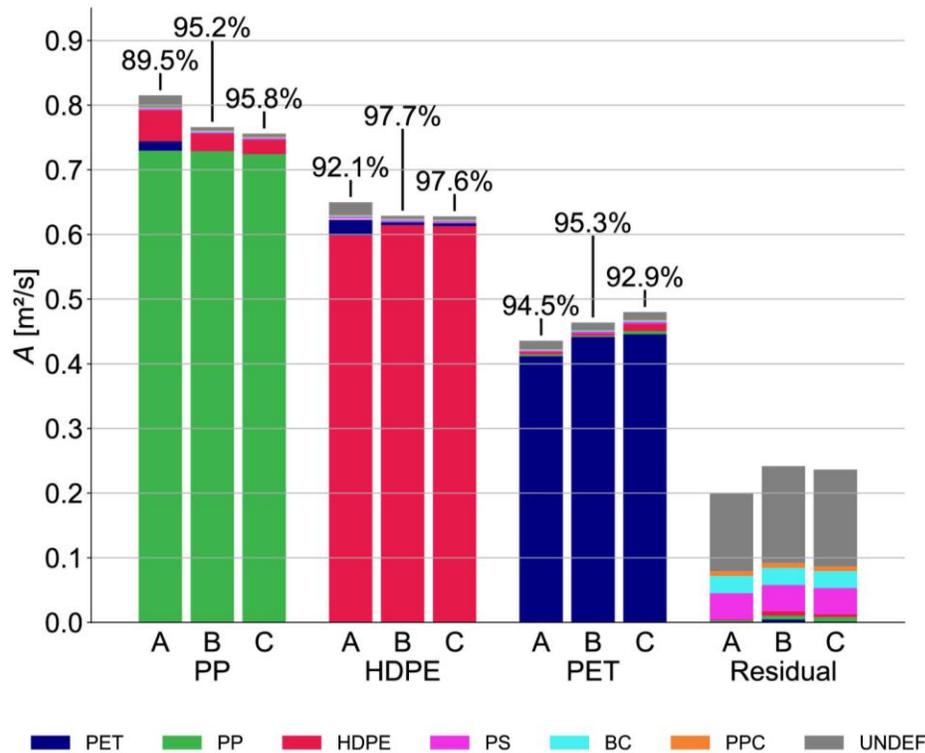
Simulation von Sortierkaskaden durch Verschaltung mehrerer Prozessmodelle:



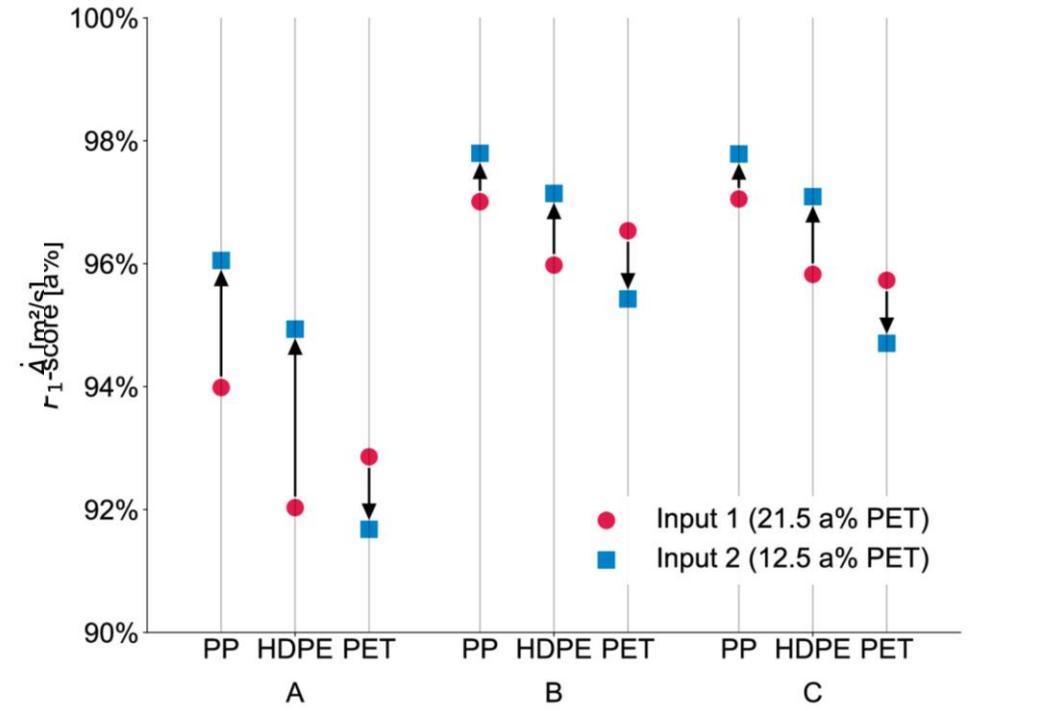
Aus Prozessmodellen lassen sich anlagenrelevante Erkenntnisse ableiten.



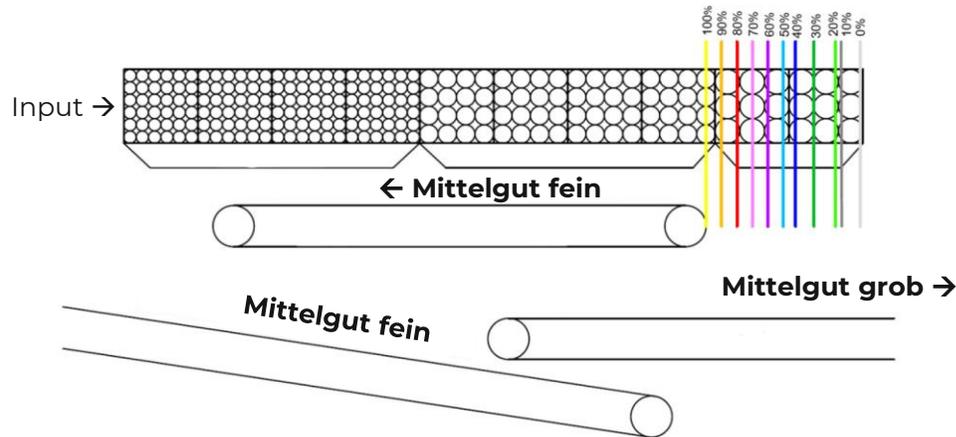
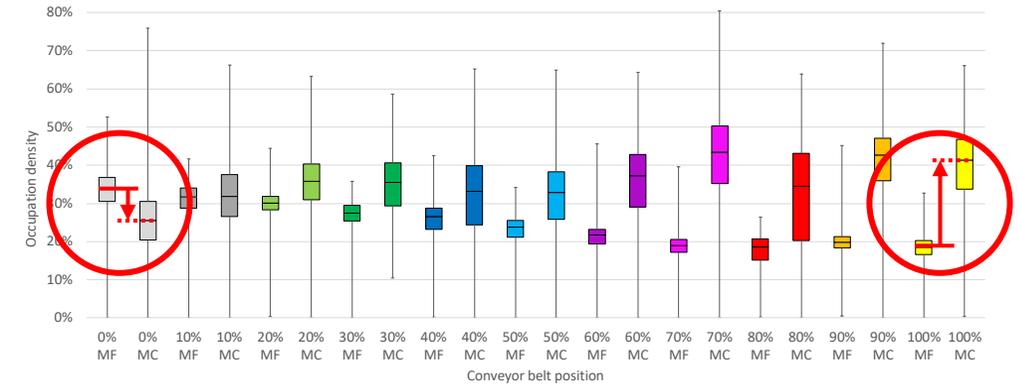
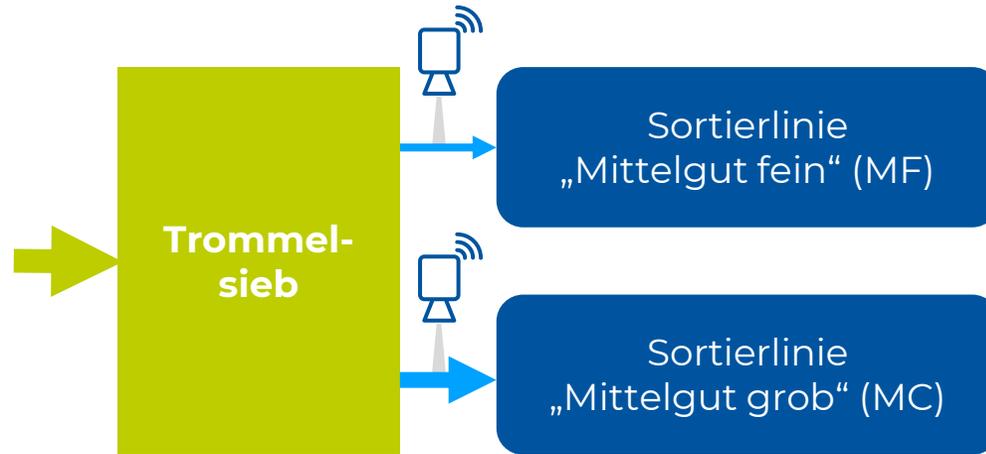
Qualität und Quantität Produktströme:



Einfluss Änderung Inputzusammensetzung (PET):



Durch adaptive Prozesssteuerung kann die Sortierleistung gesteigert werden.



→ verbessertes Wertstoffausbringen
 → verbesserte Sortenreinheit



Küppers, B., Schlögl, S., Kroell, N., Radkohl, V., 2022. Relevance and challenges of plant control in the pre-processing stage for enhanced sorting performance. Sensor-based Sorting and Control 2022, Aachen. doi.org/10.2370/9783844085457

In STADLERconnect führen wir diese und weitere Use Cases zusammen.



Digital Maintenance

Blockage Detection

Predictive Maintenance

Downtime Tracker

Support Portal



STADLER[®] connect



**Automation &
Material Analysis**

BaleCheckOut

Production Report

Material Split Control

Screen Cut Control



Zusammenfassung & Fazit



Erweitertes Verständnis: Sensortechnik spielt **zentrale Rolle bei der weitergehenden Optimierung von Sortieranlagen** & zeigt vielfältige Potenziale jenseits reiner Sortieranwendungen.



Neue Potenziale auf Stoffstrom- und Prozessebene:

- **Sensorbasiertes Inline-Qualitätsmonitoring** ermöglicht automatisiertes Monitoring von Stoffstromzusammensetzungen.
- **Sensorbasiertes Prozessmonitoring & -steuerung** ermöglicht besseres Prozessverständnis & adaptive Parametrierung von Prozessschritten.



Ausblick: Roll-Out in betriebliche Praxis (Retrofit & Neuanlagen) über **STADLERconnect** Plattform.



Danksagung



Herzlichen Dank an das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF), das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) und die Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) für die Förderung der zugrundeliegenden Arbeiten im Rahmen der Forschungsprojekte *ReVise & ReVise-UP* (BMBF; FKZ: 033R341 & 033R390)¹, *EnEWA* (BMWK; FKZ: 03EN2073)² und *EsKorte* (FFG; FKZ: 877341)³ sowie an alle Projektpartner für die Unterstützung und fruchtbare Zusammenarbeit. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

1



2

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

3



LinkedIn



Dr.-Ing. Nils Kroell

Digital Solutions

[nils.kroell@w-stadler.de](mailto:nil.kroell@w-stadler.de)

STADLER Anlagenbau GmbH

>> Aussteller-Stand Nr. 6

www.w-stadler.de

Vielen Dank 🙏

für Ihre Aufmerksamkeit!