

Sensorbasierte Optimierung der Sortierperformance in LVP-Sortieranlagen

Marvin Emmerich, Bastian Küppers, Nils Kroell, Annika
Ludes, Xiaozheng Chen, Elias Pfund, Lenard Saenger,
Daniel Vollprecht, Roland Pomberger

Wer sind wir?



>550

Mitarbeitende weltweit



>500

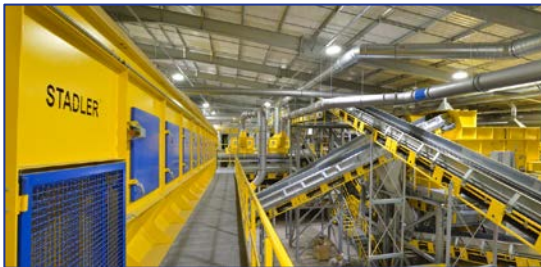
Sortieranlagen umgesetzt



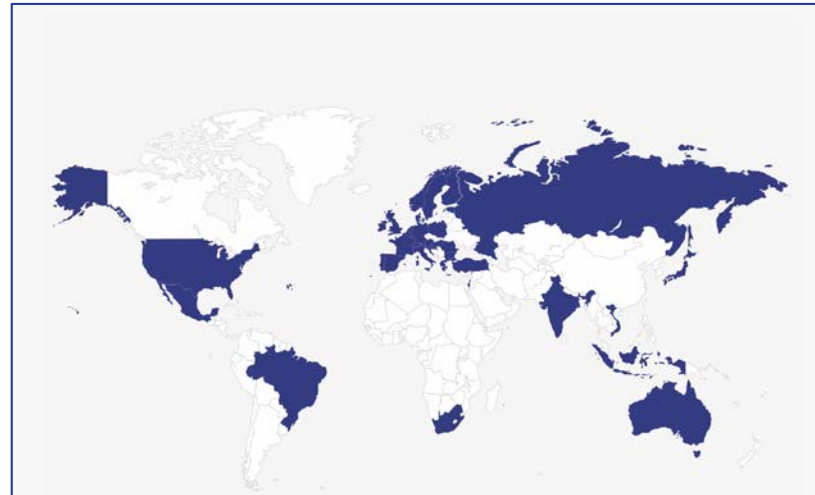
Julia Stadler (CDO) und Willi Stadler (CEO)



Wer sind wir?



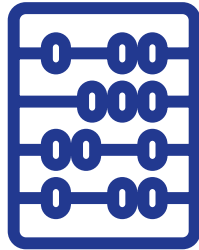
>500 schlüsselfertige Sortieranlagen weltweit



In Europa: Österreich -
Belgien - Bulgarien -
Kroatien - Dänemark -
Estland - Finnland -
Frankreich - Deutschland -
Griechenland –
Großbritannien - Ungarn -
Irland - Italien - Luxemburg
- Niederlande - Norwegen
- Polen - Portugal -
Rumänien - Russland -
Slowenien - Spanien -
Schweden - Schweiz -
Türkei

Problemstellung

Recyclingquoten



Neue **Methode** senkt
Recyclingquoten der
Mitgliedsstaaten



Abfallfrühwarnbericht 2023: 10
Mitgliedsstaaten nicht auf Kurs
(Verpackungsabfälle)

Eurostat für 2022: 16
Mitgliedsstaaten unter 65%



65%

aller Verpackungsabfälle müssen ab Ende 2025
recycelt werden
(EU94/62/EG)



68,5%

nach neuer Berechnungsmethode
2022
(Eurostat 2024)



66,2%

nach neuer Berechnungsmethode
2022
(Eurostat 2024)

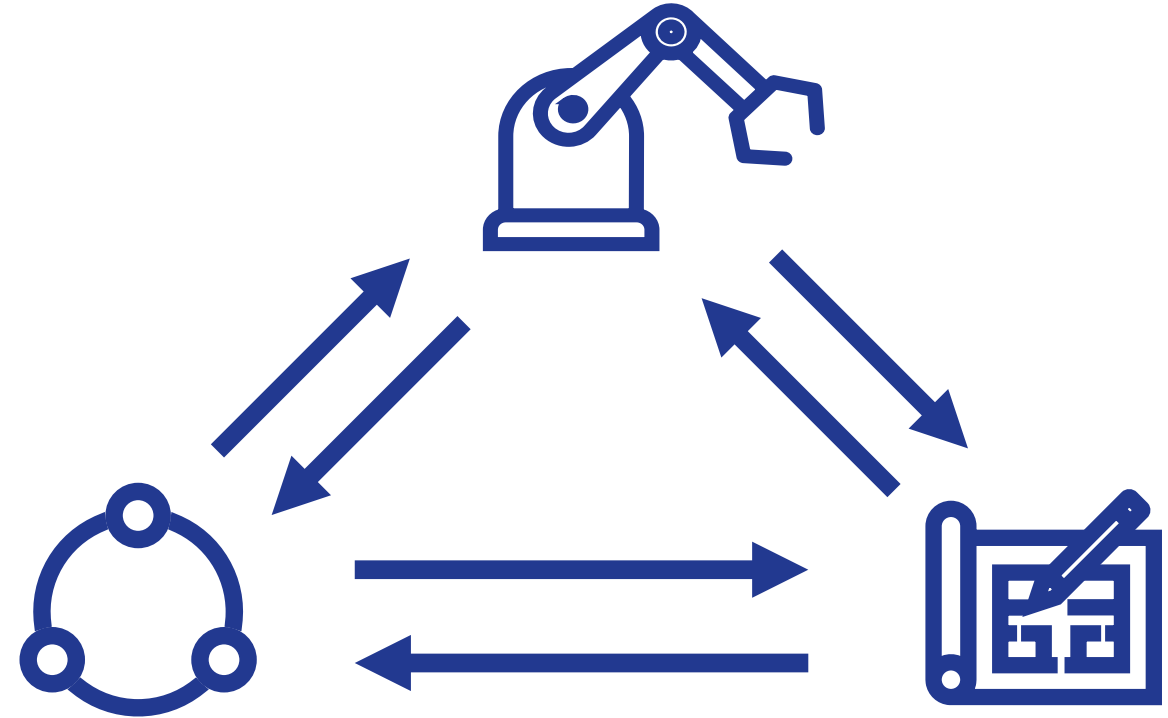
Problemstellung

Arten der Optimierung



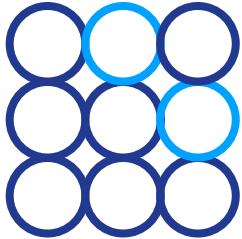
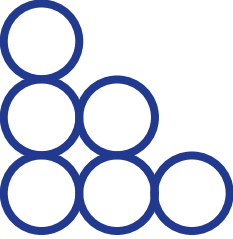
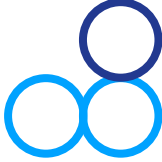
Optimierung der Sortieranlage durch:

1. **Optimierung der Verfahrenstechnik**
 - **Fließbild**
 - Maschinenauswahl
2. **Optimierung der Maschinentechnik**
 - **Digitale Ebene**
 - **Parametrierung**
 - Wartung
3. **Optimierung der Logistik**
 - Dokumentation
 - Planung
 - Datenaufnahme

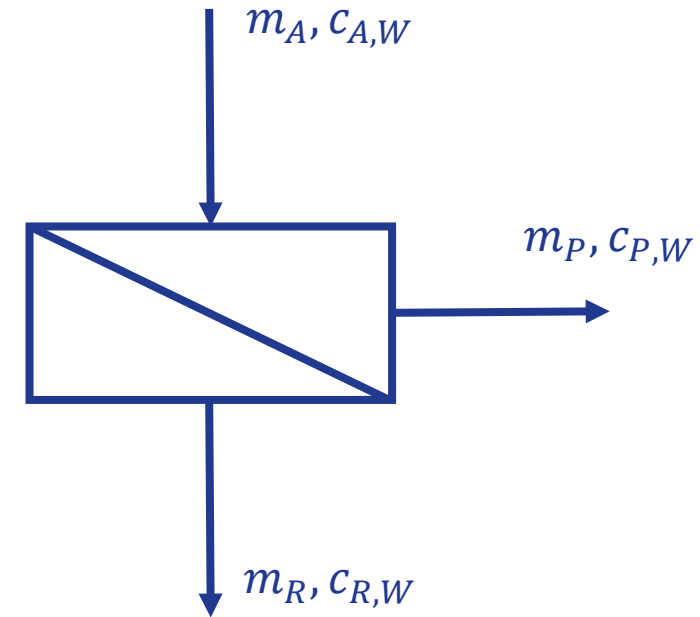


Definitionen



Reinheit	Wertstoffausbringen	
$c_{P,W} = \frac{m_{P,W}}{m_P}$	$R_{P,W} = \frac{m_{P,W}}{m_{A,W}} = \frac{c_{P,W} \cdot m_P}{c_{A,W} \cdot m_A}$	
 Input		
 Output	 Reject/Rest	 Eject/Produkt

Quelle: Kranert 2017



Quelle: Angelehnt an Kranert 2017

Problemstellung

Mindestreinheiten



PET bottle clear 325	98 M.-%
PE 329	94 M.-%
PS 331	94 M.-%
PP 324-0	94 M.-%
PET tray 328-5	75 M.-%
PO-Kunststoff-Flaschen 321	94 M.-%

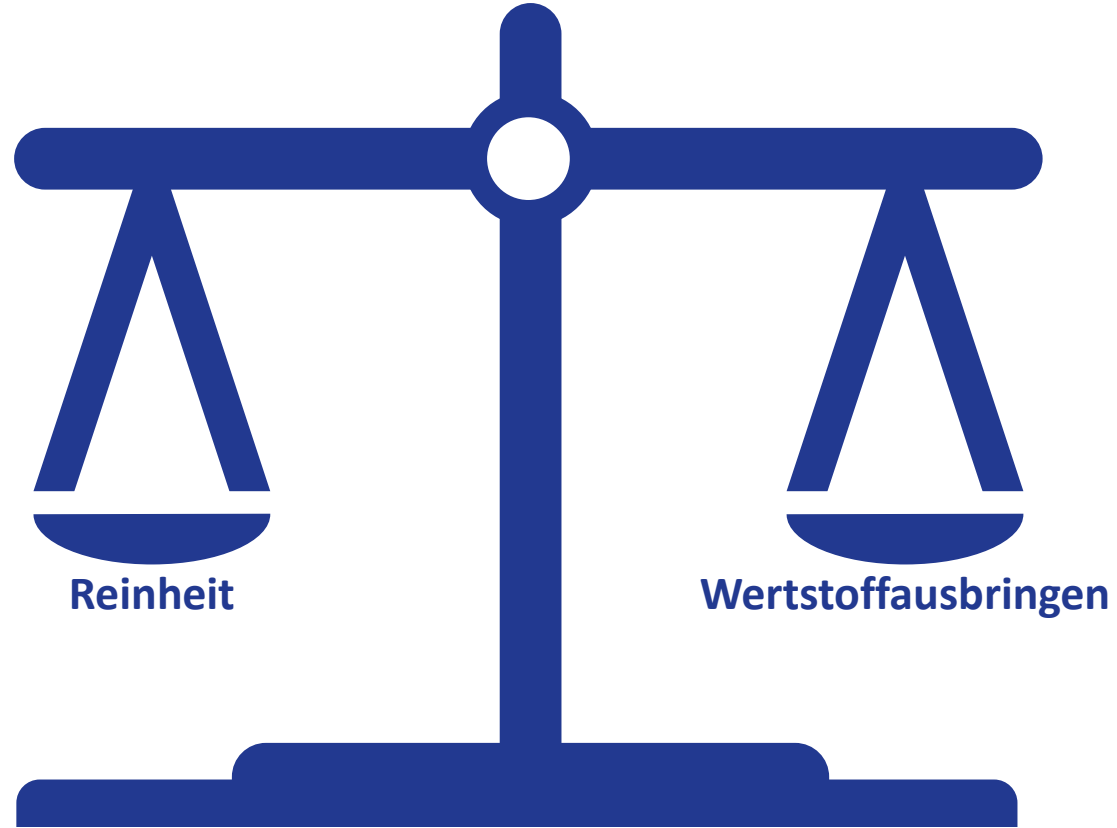
Quelle: DerGrünePunkt

Eigenschaft / property	Soll-Wert / setpoint:	Einheit / unit:
Reinheit gemäß Beschreibung / purity according to description	≥ 98,0	wt%
Maximaler Gesamtstörstoffanteil / max. total amount of impurities	< 2,0	wt%
Opake PET-Flaschen, andere PET-Artikel und sonstige Kunststoff-Artikel / opaque PET bottles, other PET items and plastic items	< 2,0	wt%
EPS-Artikel / EPS items	< 0,5	wt%
PVC-Artikel / PVC items	< 0,1	wt%
Sonstige Metall-Artikel / other metal items	< 0,5	wt%
Sonstige Reststoffe / other impurities	< 2,0	wt%
Ausschluss folgender Stoffe / exclusion of the following substances	Metallische oder mineralische Störstoffe mit einem Stückgewicht > 100 g / Metallic or mineral impurities with a unit weight if > 100 g Kartuschen und Dichtmassen / cartridges and sealants Glas, Papier, Pappe, Karton, PPK-Verbundmaterialien (z.B. Flüssigkeitskartons), Aluminium-bedampfte Kunststoffe, Fremdmaterialien (z.B. Gummi, Steine, Holz, Textilien, Windeln), kompostierbare Abfälle (z.B. Lebensmittel, Gartenabfälle) / Glass, paper, cardboard, carton, PCC composites (e.g. liquid cartons), aluminum-vaporized plastics, foreign materials (e.g. rubber, stones, wood, textiles, diapers), compostable waste (e.g. food, garden waste)	
Beispiele für Reststoffe / examples of impurities:		

Quelle: DerGrünePunkt

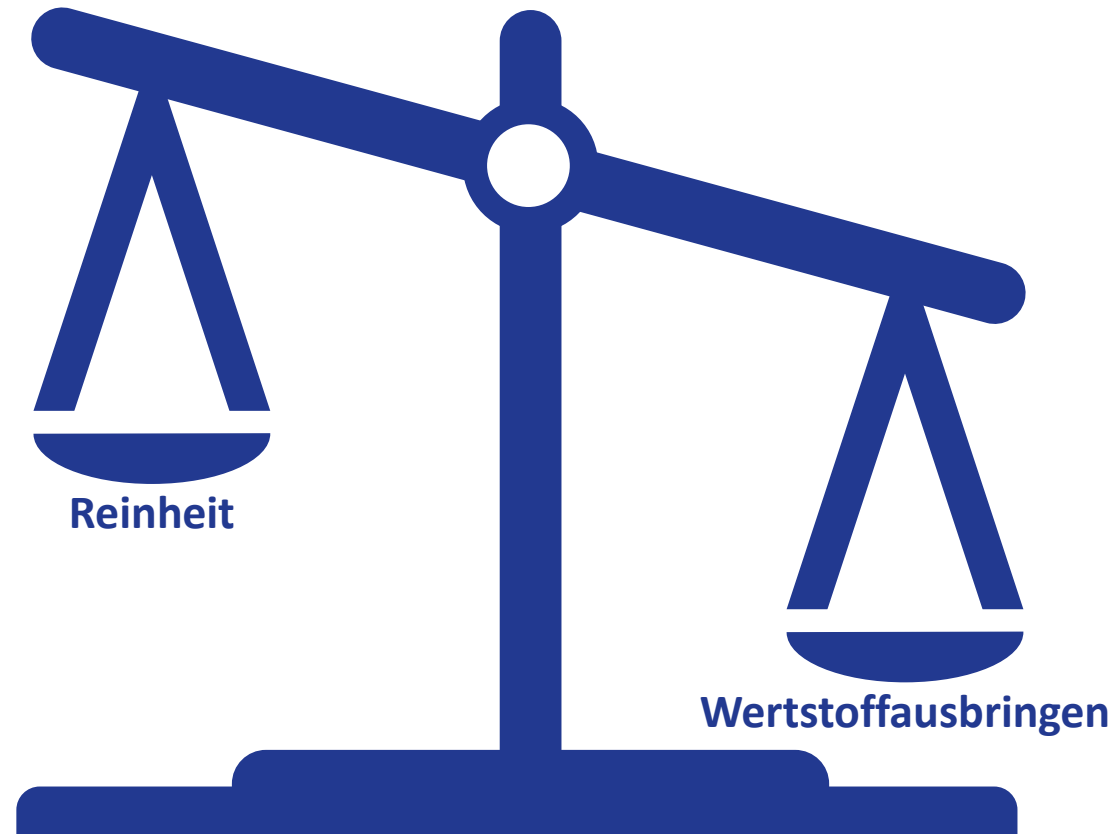
Problemstellung

Mindestreinheiten



Problemstellung

Mindestreinheiten



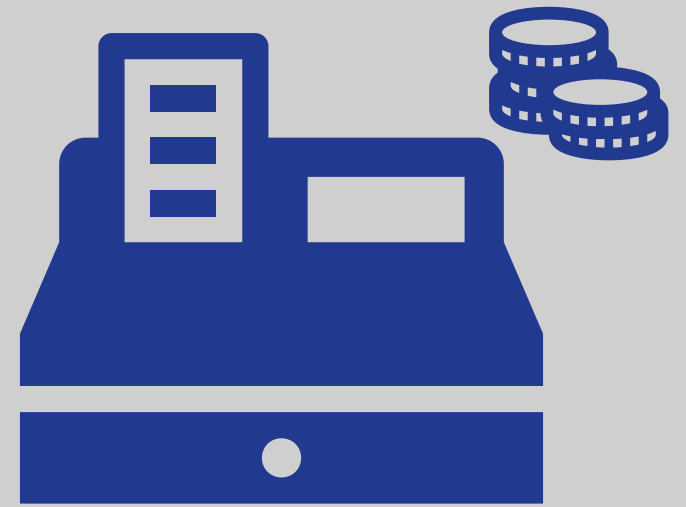
Problemstellung

Mindestreinheit



Hohe Outputqualitäten

VS.



Sortieren am wirtschaftlichen
Optimum



Frequenz	Alle 3 min
Schwankungsspitzen	Ø 2,5-facher Nominaldurchsatz
Beobachtungszeitraum	11 h
Anzahl Rougher	8
Anzahl Scavenger	3
Anzahl Foliensortierer	4
Basis	Paper Kroell et al. 2024

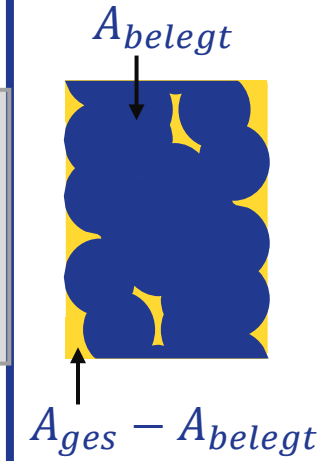
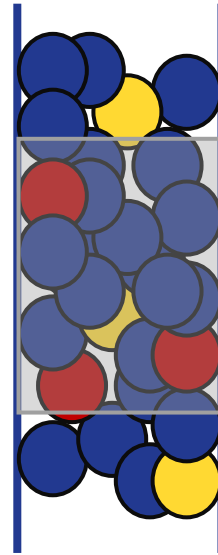




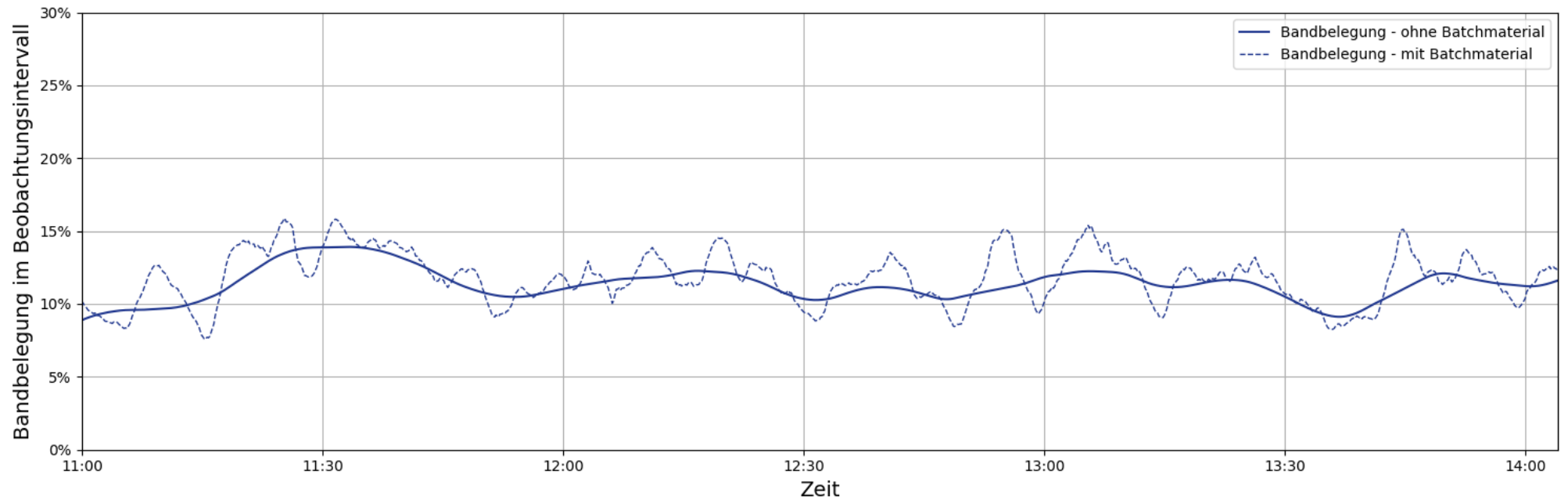
Kroell et al. 2024, Towards digital twins of waste sorting plants: Developing data-driven process models of industrial-scale sensor-based sorting units by combining machine learning with near-infrared-based process monitoring, Resources, Conversation and Recycling, Volume 200, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.107257>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344923003919>)

Methodik und Ergebnisse

Bandbelegung



Bandbelegung $OD = \frac{A_{belegt}}{A_{ges}}$



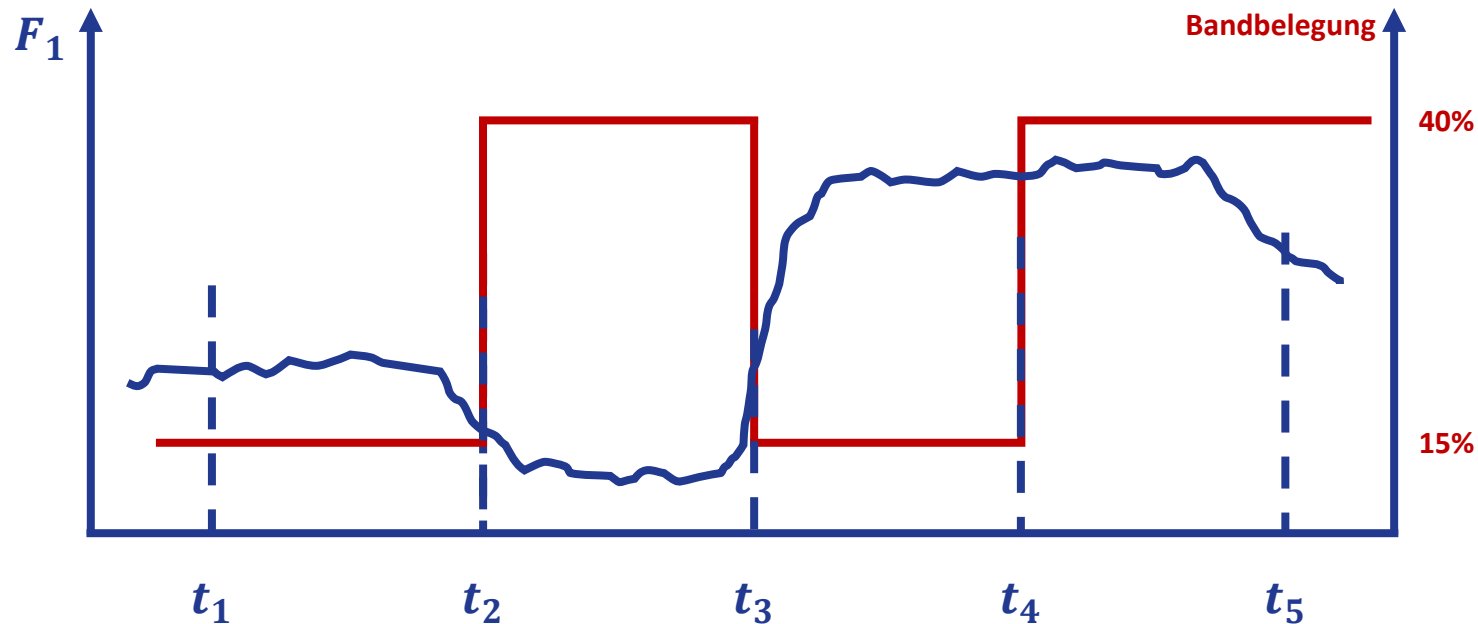
Definitionen

F1-Score

$$F_1 = \frac{2 \cdot c_{P,W} \cdot R_{P,W}}{c_{P,W} + R_{P,W}}$$

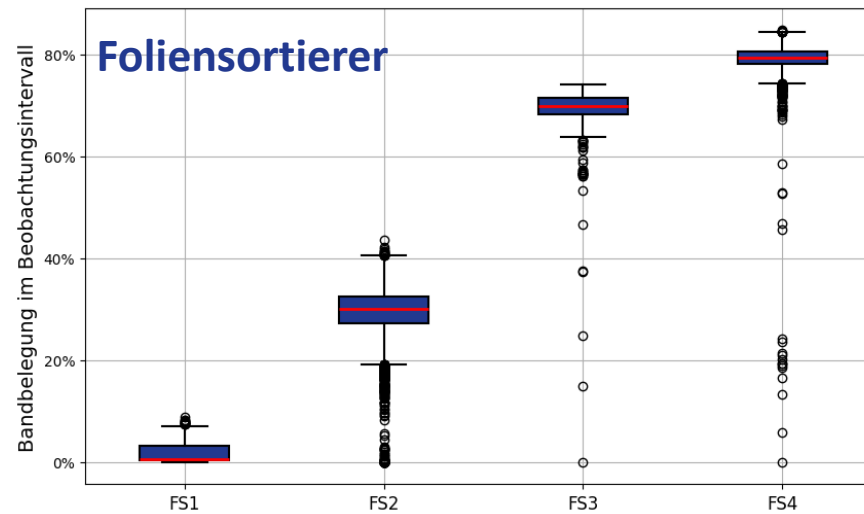
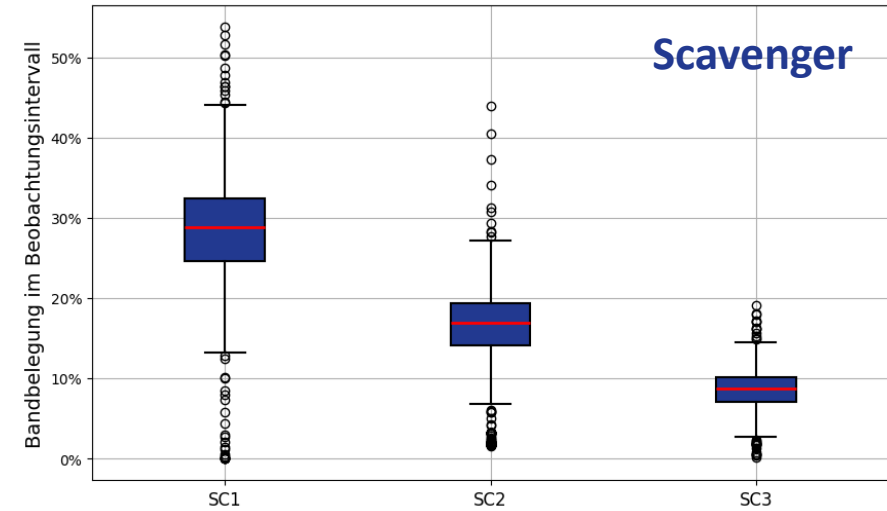
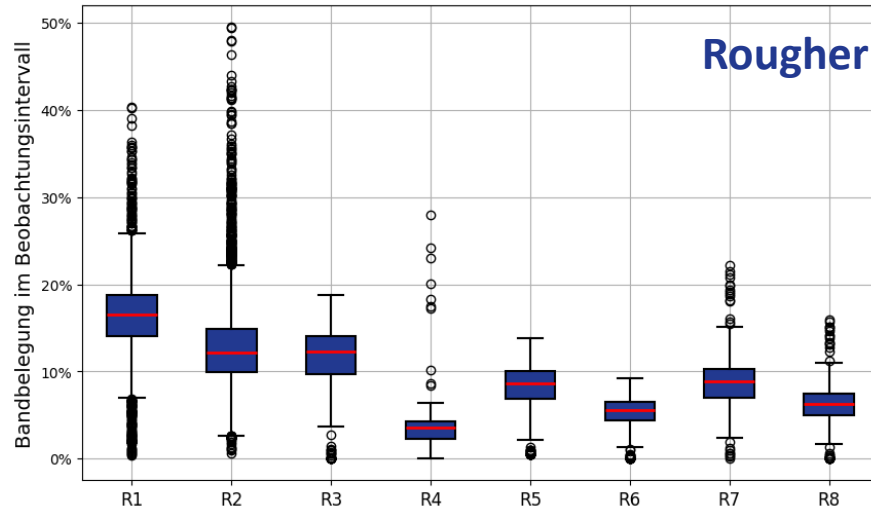
Gewichteter F1-Score

$$F_1 = \frac{F_{1,\Delta t_1} \cdot \dot{O}D_{t_1} + \dots + F_{N,\Delta t_N} \cdot \dot{O}D_{t_N}}{\dot{O}D_{t_1} + \dots + \dot{O}D_{t_N}}$$

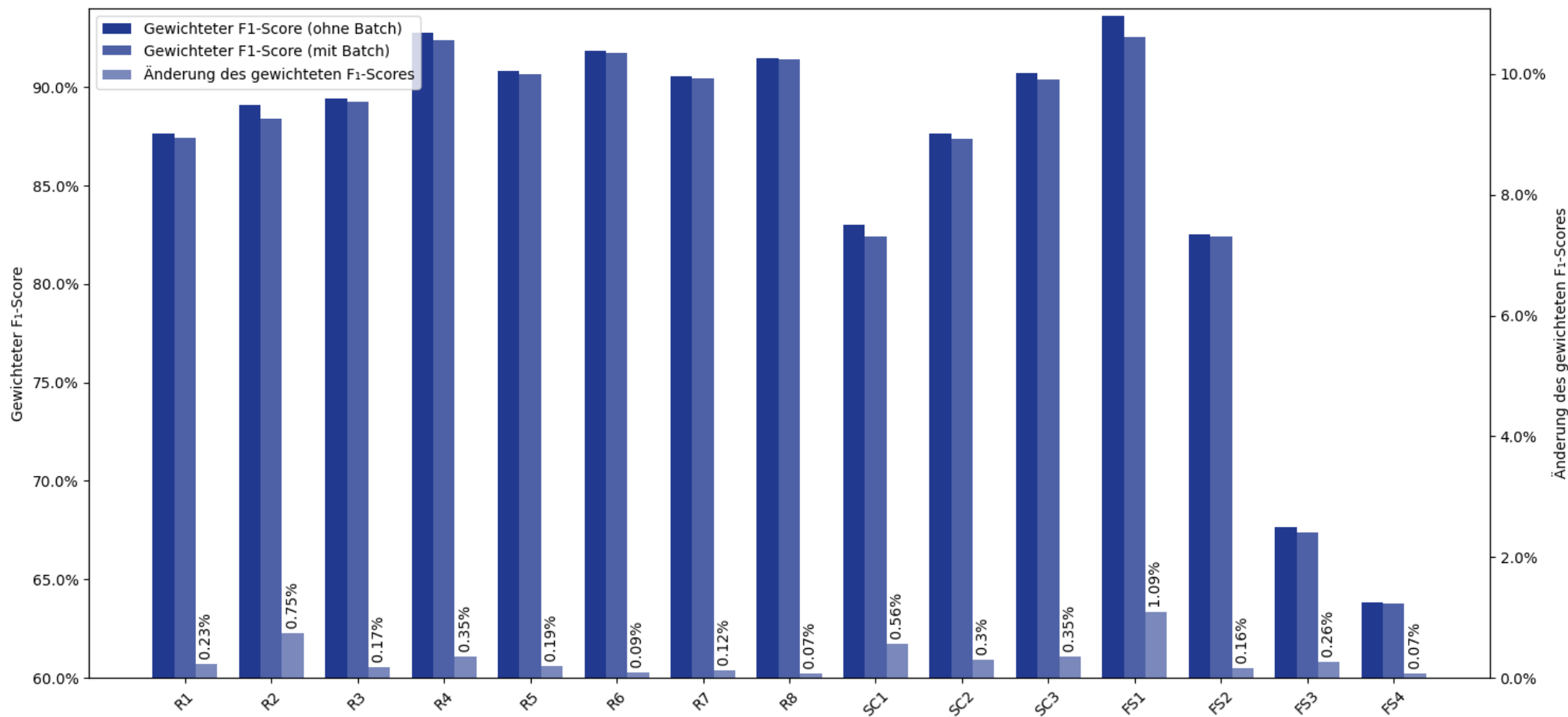


Intervall $[t_4, t_5]$ ist wertvoller als Intervall $[t_3, t_4]$

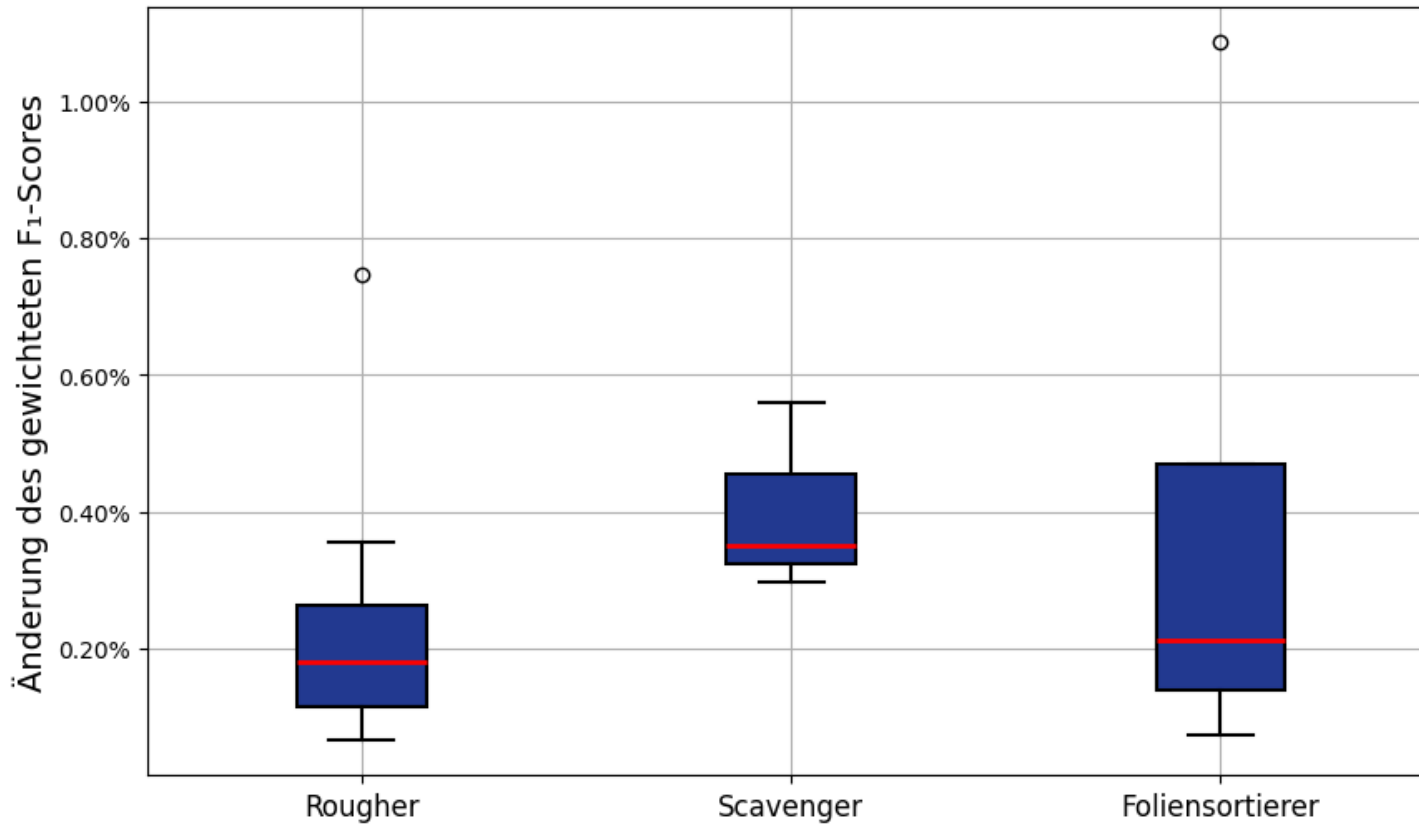
Ergebnisse



Ergebnisse



Ergebnisse



Gruppe	Median $\Delta F1$ (gewichtet)
Rougher	+0,18%
Scavenger	+0,35%
Foliensortier	+0,21%

- Größte Auswirkungen auf Scavenger-Gruppe
- Hohe Unsicherheit bei Foliensortierern

Ergebnisse

Finanzieller Einfluss



Einschränkungen und Fazit



- Gleichgewichtung im F1-Score → Zusammengesetzter F_β
- Mathematischer Idealdurchsatz
- Verlässlichkeit der Sortiererdaten



- Behandlungsschritte senken Einfluss auf Sortierperformance
- Performance-Reduktion ist für die Svavenger-Stufe am höchsten (Median +0,35%)



Marvin Emmerich, M.Sc.

Digital Solutions

marvin.emmerich@w-stadler.de

STADLER Anlagenbau GmbH (Aussteller-Stand Nr. 5)

www.w-stadler.de

Vielen Dank

für Ihre Aufmerksamkeit!