

BMW
GROUP



PRÄSKRIPTIVE INSTANDHALTUNG IN DER INDUSTRIELLEN PRODUKTION.

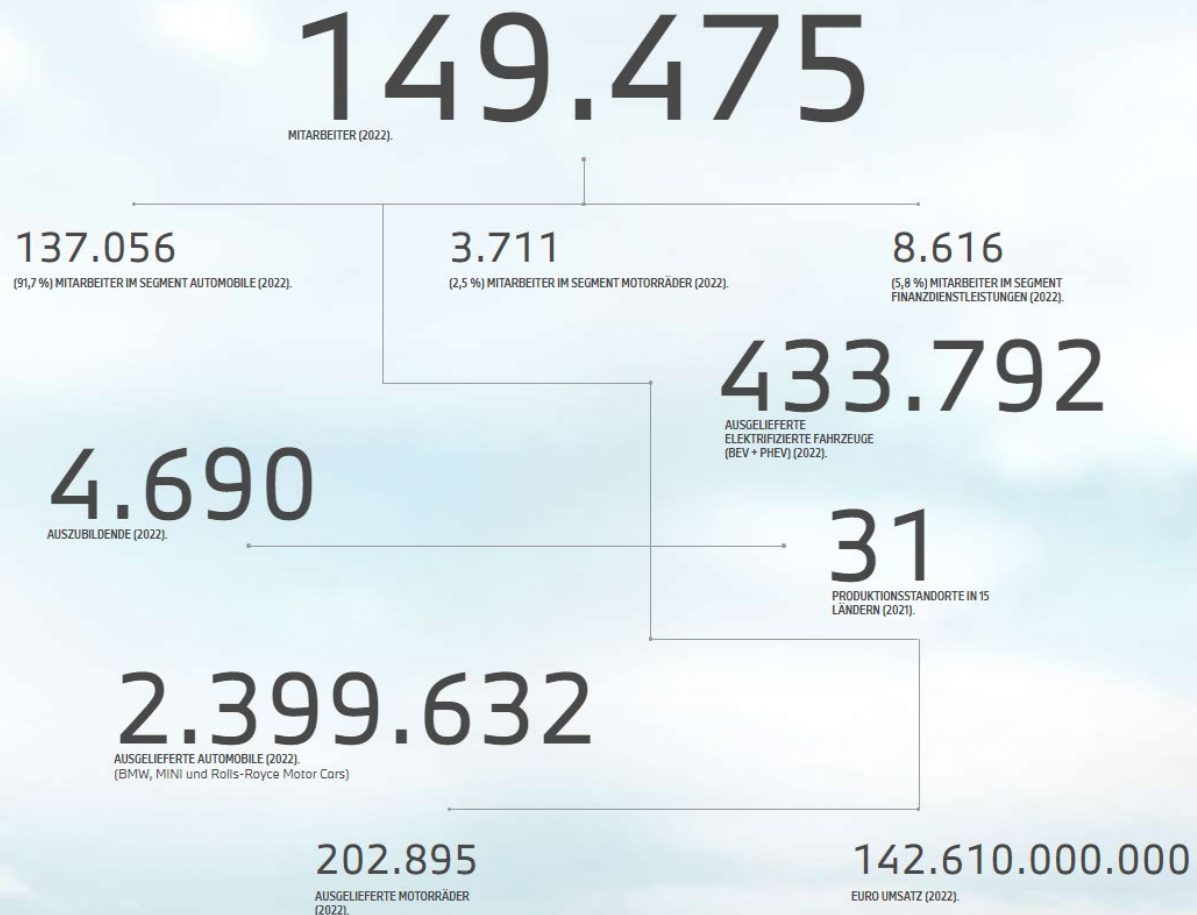
VON DER STRATEGIE ZU MÖGLICHKEITEN DER UMSETZUNG IN DER INSTANDHALTUNGSPLANUNG.

AGENDA.

- | | |
|----------|------------------------------|
| 1 | Einleitung |
| 2 | Präskriptive Instandhaltung |
| 3 | Konzept & Anwendung |
| 4 | Ergebnisse & Zusammenfassung |

BMW GROUP PRODUKTIONSNETZWERK. ÜBER 30 PRODUKTIONSSTANDORTE WELTWEIT.

DIE BMW GROUP IN ZAHLEN.

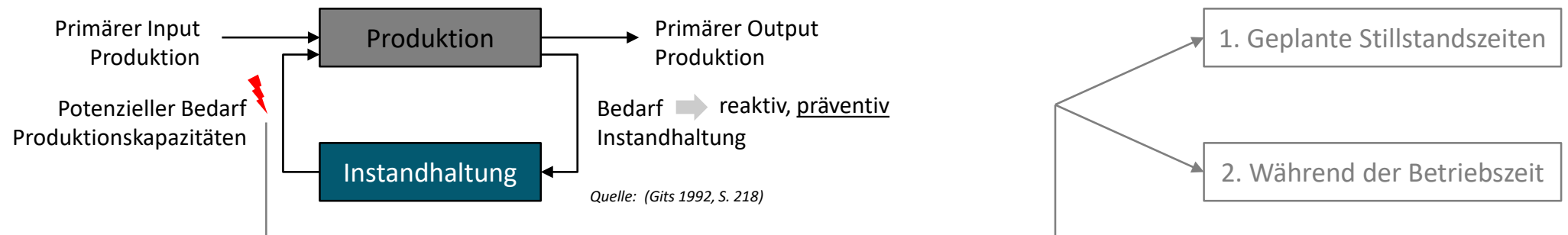


Ausgangssituation

- Produktivitätssteigerung in komplexen Produktionssystemen
- Sicherstellung der Zuverlässigkeit, Verfügbarkeit & Anlageneffizienz eines Produktionssystems durch Instandhaltung
- Produktionsfreie Zeiträume für Instandhaltungsmaßnahmen reduzieren geplante Betriebszeit

Problemstellung

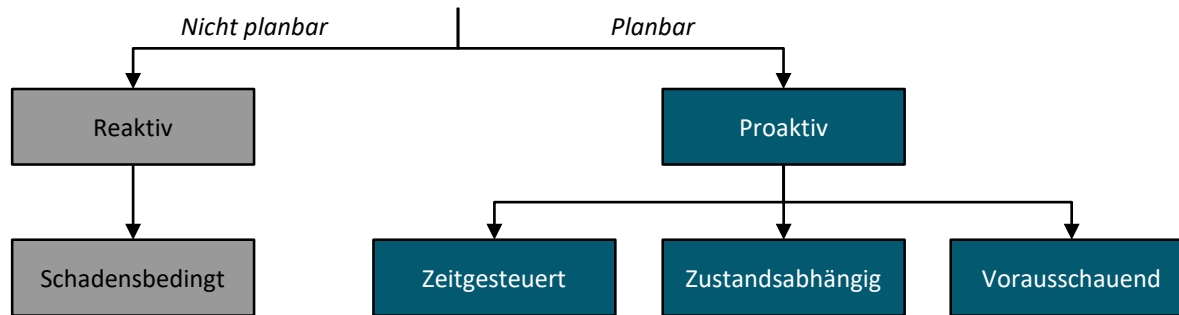
- Zielkonflikt zwischen Produktion und Instandhaltung (Ni & Jin 2012, S. 414)



Wie lässt sich die Auswirkung von Maschinenstillständen aufgrund von geplanten Instandhaltungsmaßnahmen auf die Effizienz eines FFS bewerten?

Präskriptive Instandhaltung

Instandhaltung - Instandhaltungsstrategien

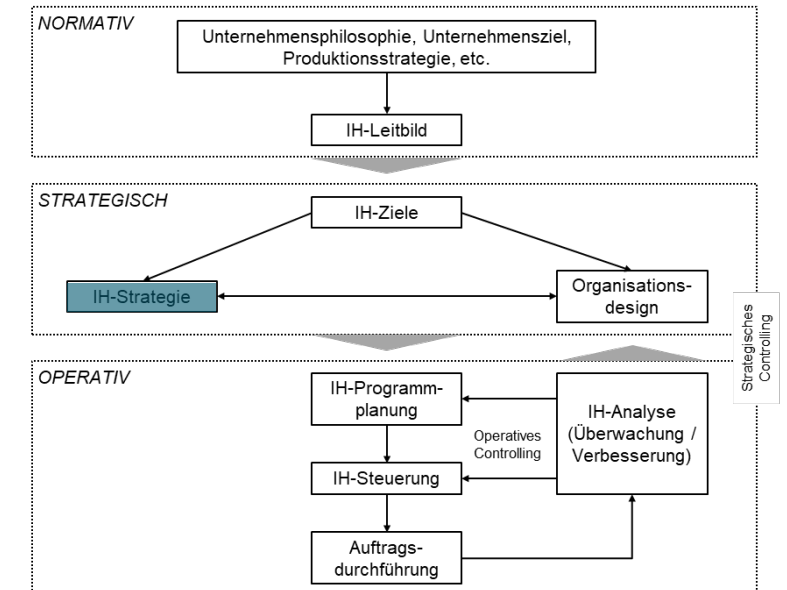


Quelle: In Anlehnung an (Matyas 2002, S. 14–15)

- Handlungsspielraum bei planbaren Strategien hinsichtlich konkretem IH-Zeitpunkt
- Auftragsplanung und -priorisierung: Wann genau wird eine Maßnahme durchgeführt?

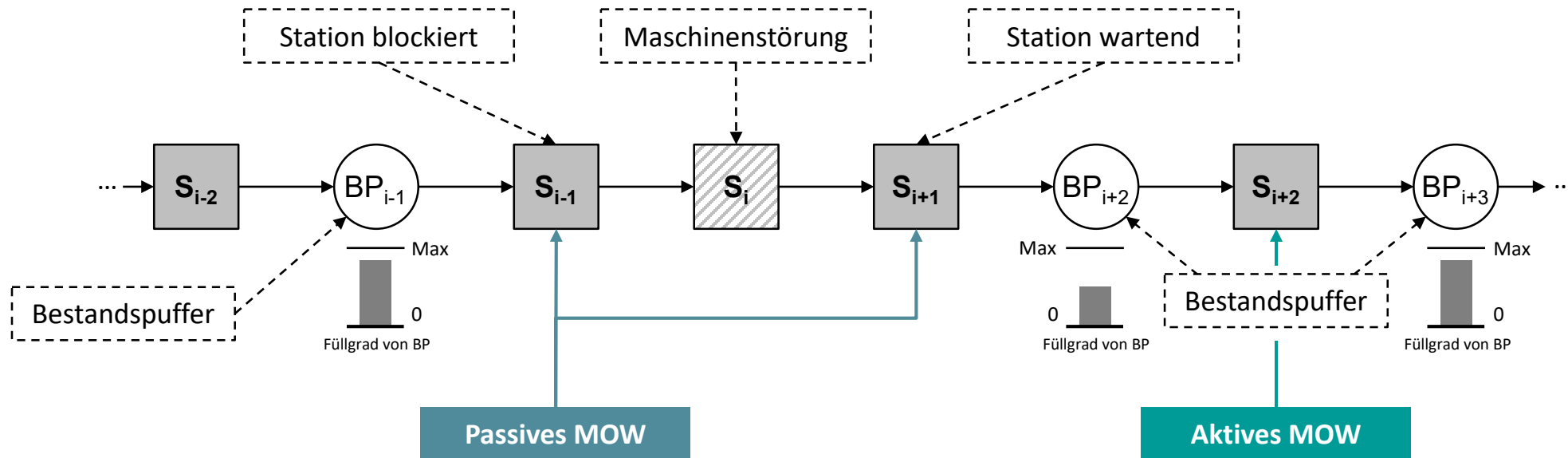
Opportunistic Instandhaltungsstrategie

- Zeitpunkt der Durchführung einer Instandhaltungsmaßnahme abhängig von dem Zustand des Gesamtsystems (Radner & Jorgenson 1963, S. 71)
- Einplanung von Instandhaltungsmaßnahmen zu Zeitpunkten, an denen Anlage nicht oder weniger dringend für Produktion benötigt (Budai et al. 2008, S. 321)
- Maintenance Opportunity Window (MOW)
 - Passives Zeitfenster
 - Aktives Zeitfenster



Quelle: Vgl. (Biedermann 1987, S. 177; Schröder 2010, S. 101)

Vereinfachte Wertstromdarstellung eines Fertigungssystems



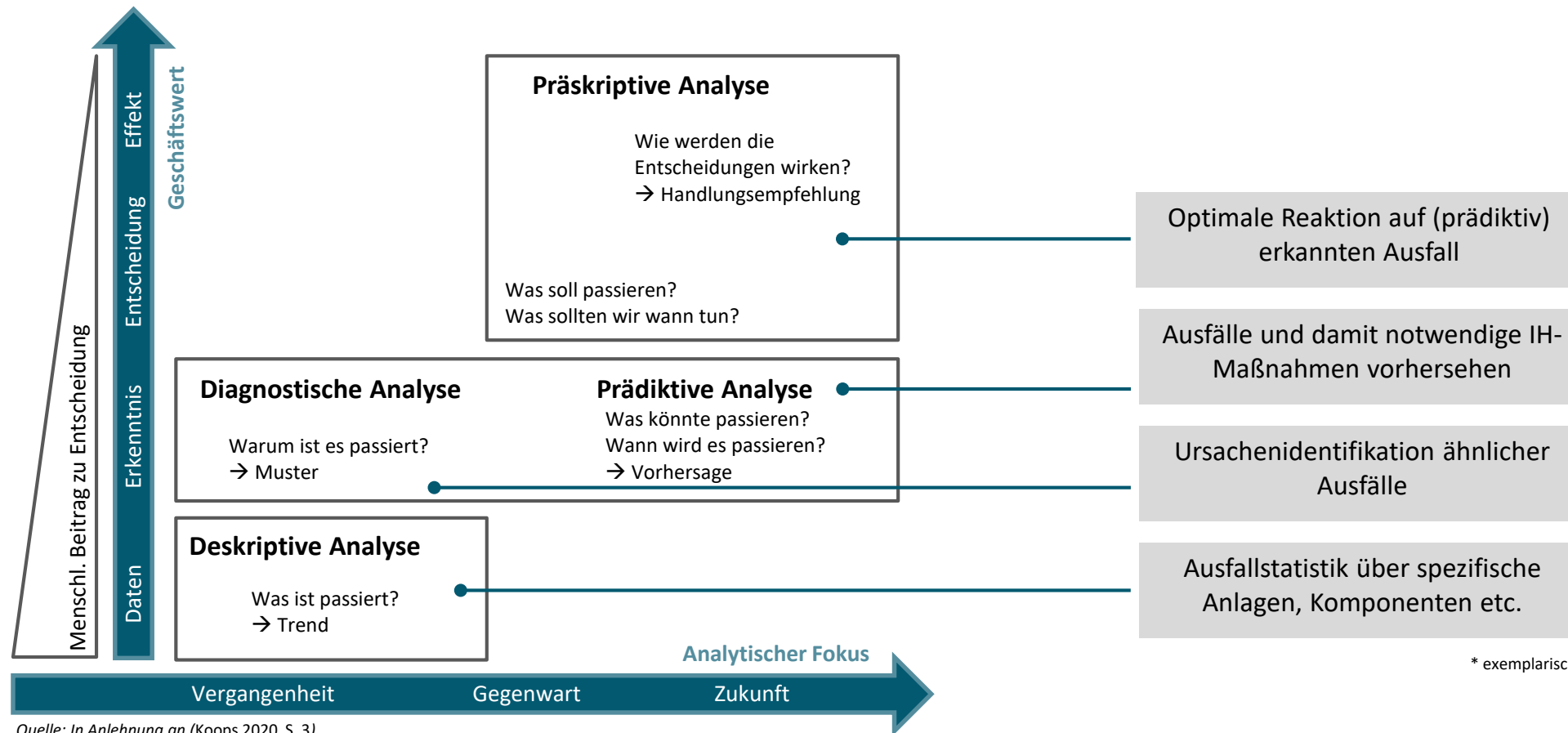
S = Station

BP = Bestandspuffer

MOW = Maintenance Opportunity Window

Sowohl S_{i-1} als auch S_{i+1} weisen passive MOW aufgrund der Störung an S_i auf, welche den Materialfluss unterbricht. S_{i+2} besitzt aufgrund des Bestandes im Nachfolgebuffer BP_{i+3} ein aktives MOW.

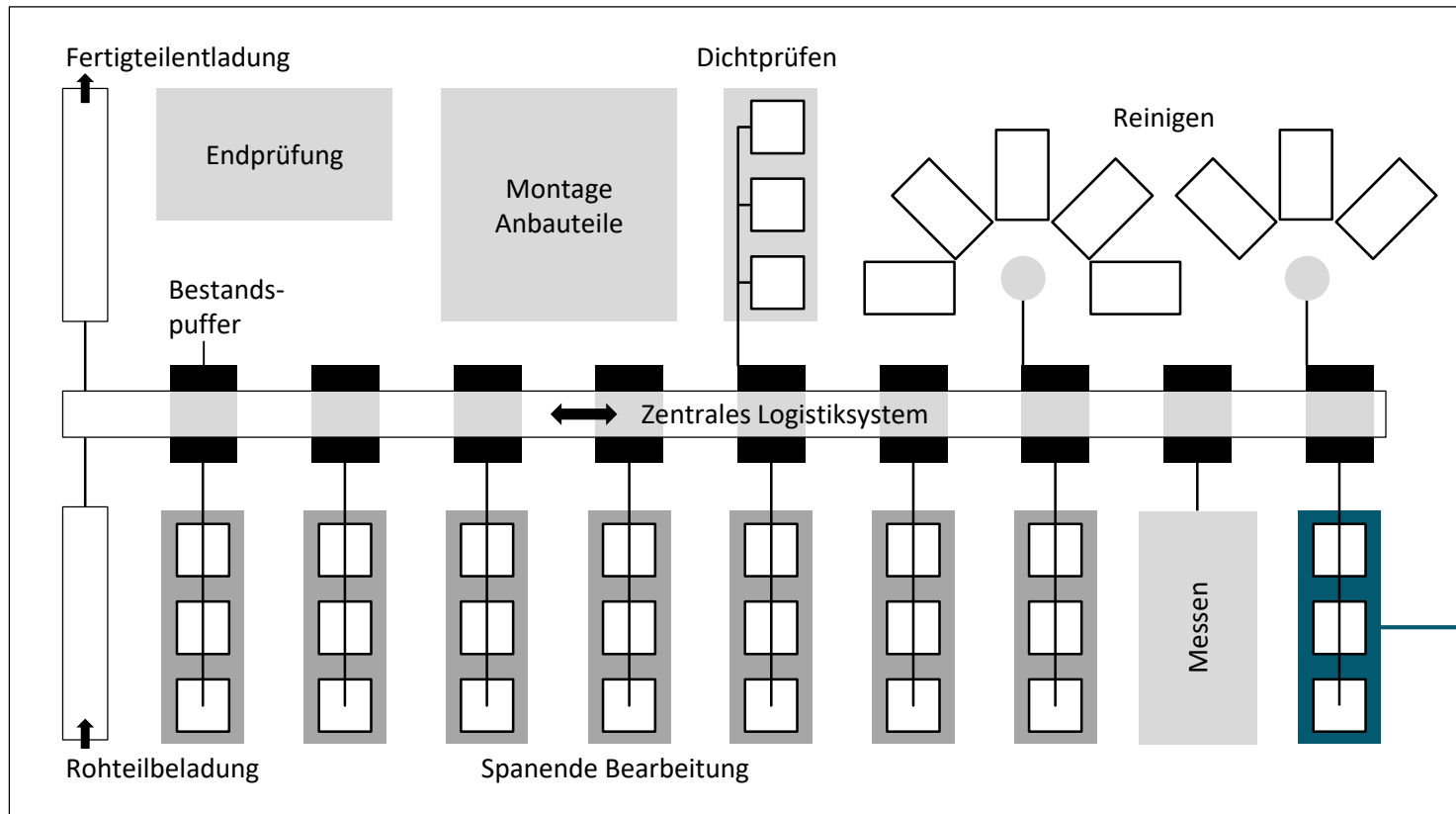
PRESCRIPTIVE ANALYTICS IM KONTEXT INSTANDHALTUNG.



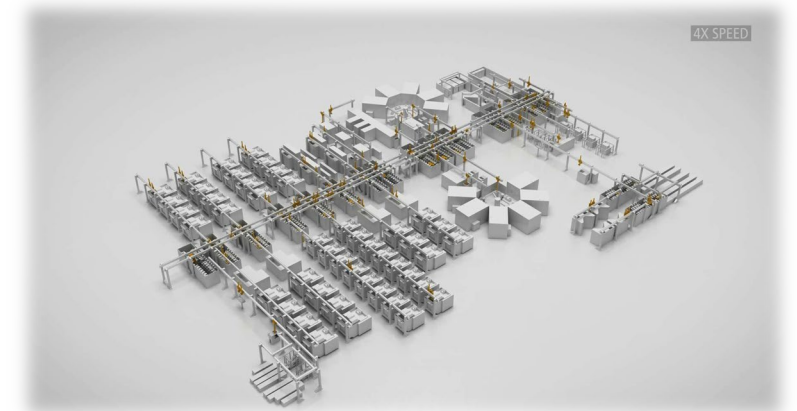
Quelle: In Anlehnung an (Koops 2020, S. 3)

Konzept & Anwendung.

Flexibles Fertigungssystem (FFS) der Großserie



Vereinfachte Darstellung eines FFS der Großserie



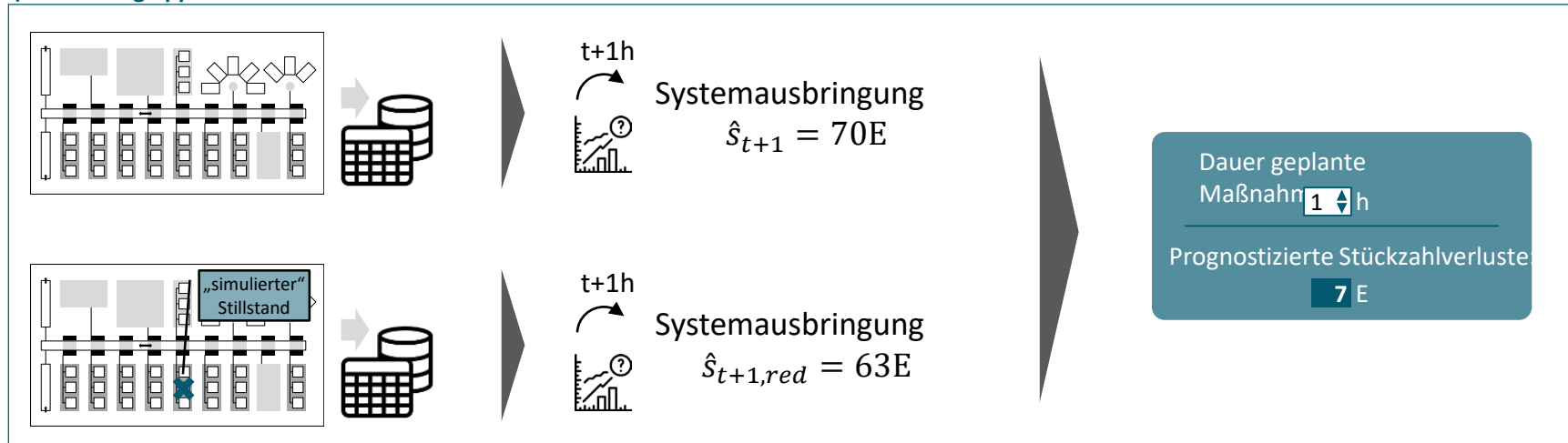
Redundanz

FFS = Flexibles Fertigungssystem

Flexible Fertigungssysteme der Großserie nutzen die Vorteile der Economy of Scale wie auch der Economy of Scope.

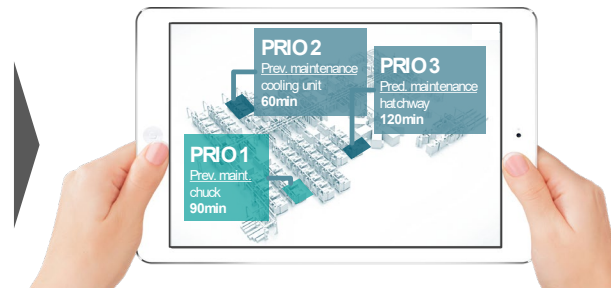
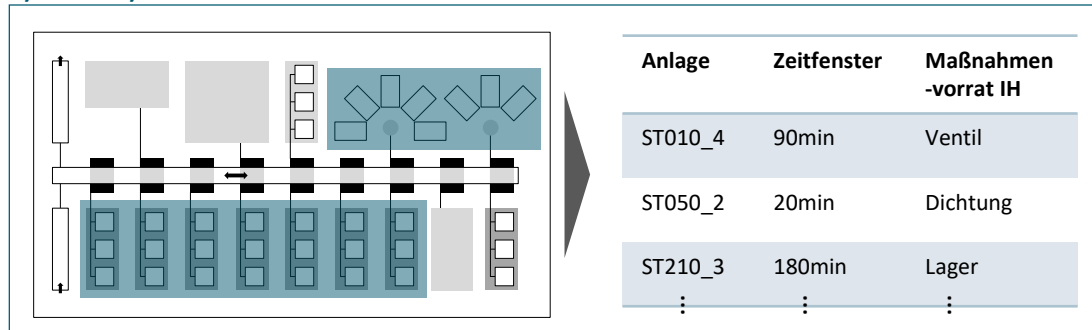
Wesentliche Schritte des Konzepts

I) Bewertung opportunes IH-Zeitfenster an STxx



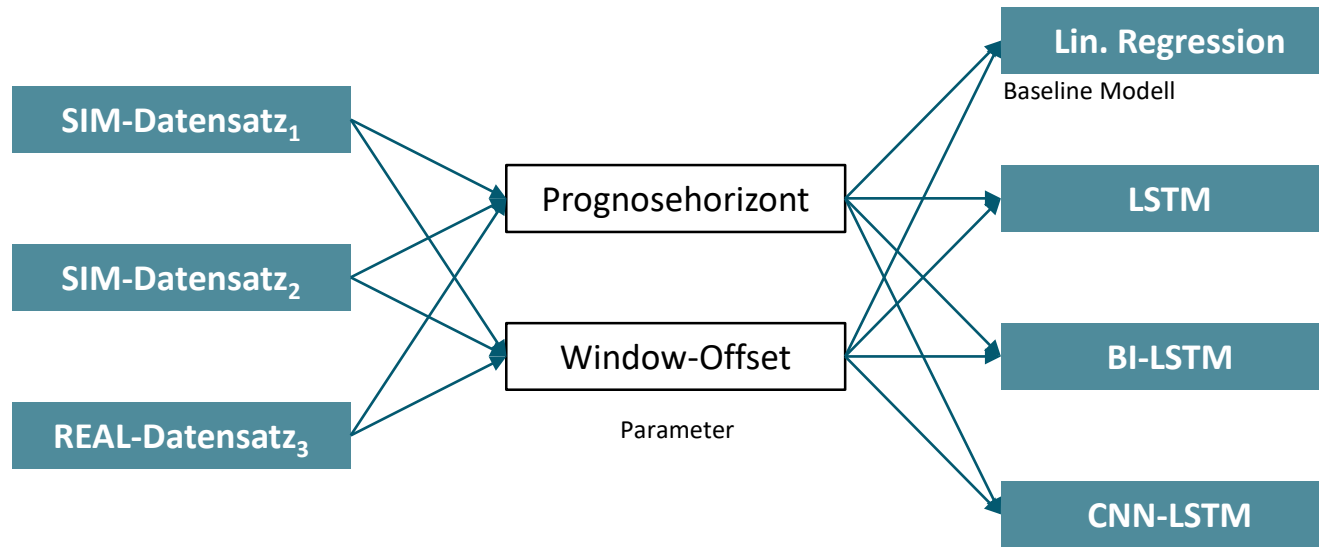
Vorgehen bei der Bewertung des MOW einer Station

II) Schritt I) für alle relevanten Stationen

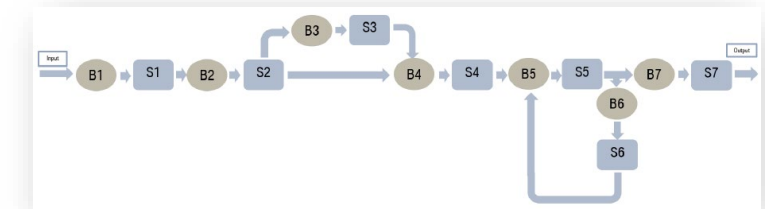


Evaluation aller vorhandenen MOW in Abhängigkeit des IH-Maßnahmenvorrats sowie weiterer Kriterien

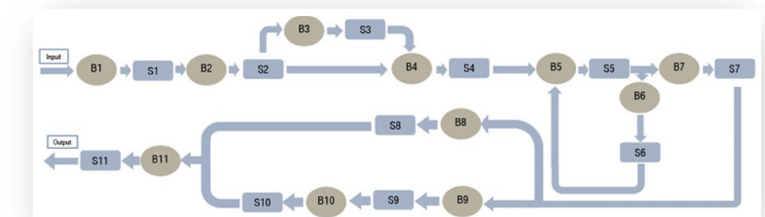
Übersicht zu den durchgeführten Experimenten und erzeugten Datensätzen



- 3 Rohdatensätze, aus denen in Abhängigkeit der Konfiguration der Parameter „Prognosehorizont“ und „Window-Offset“ zahlreiche Eingangsdatensätze unterschiedlicher Granularität und mit unterschiedlichem Prognosehorizont erzeugt werden.
- Anwendung der drei Lernverfahren LSTM, BI-LSTM und CNN-LSTM aus der Klasse der Neuronalen Netze.



Wertstrom Simulationsmodell SIM-Datensatz 1

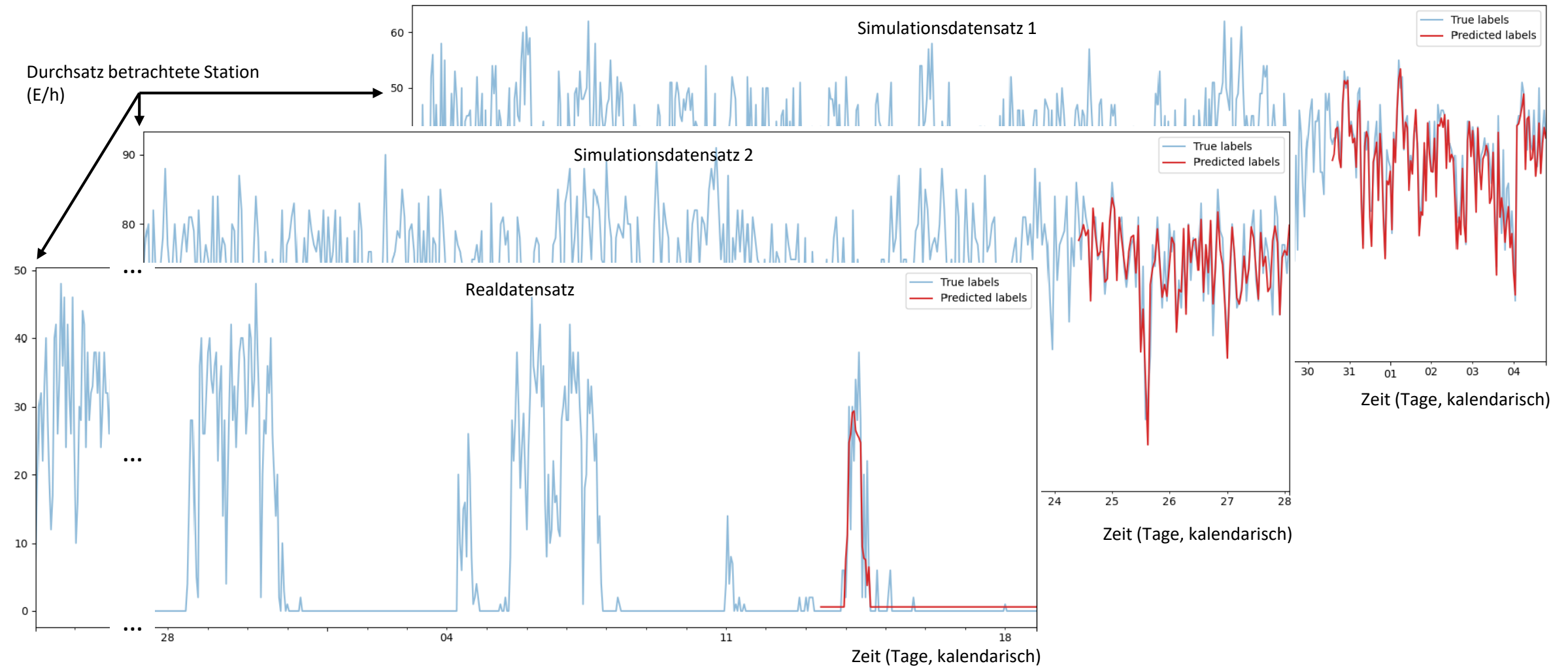


Wertstrom Simulationsmodell SIM-Datensatz 2

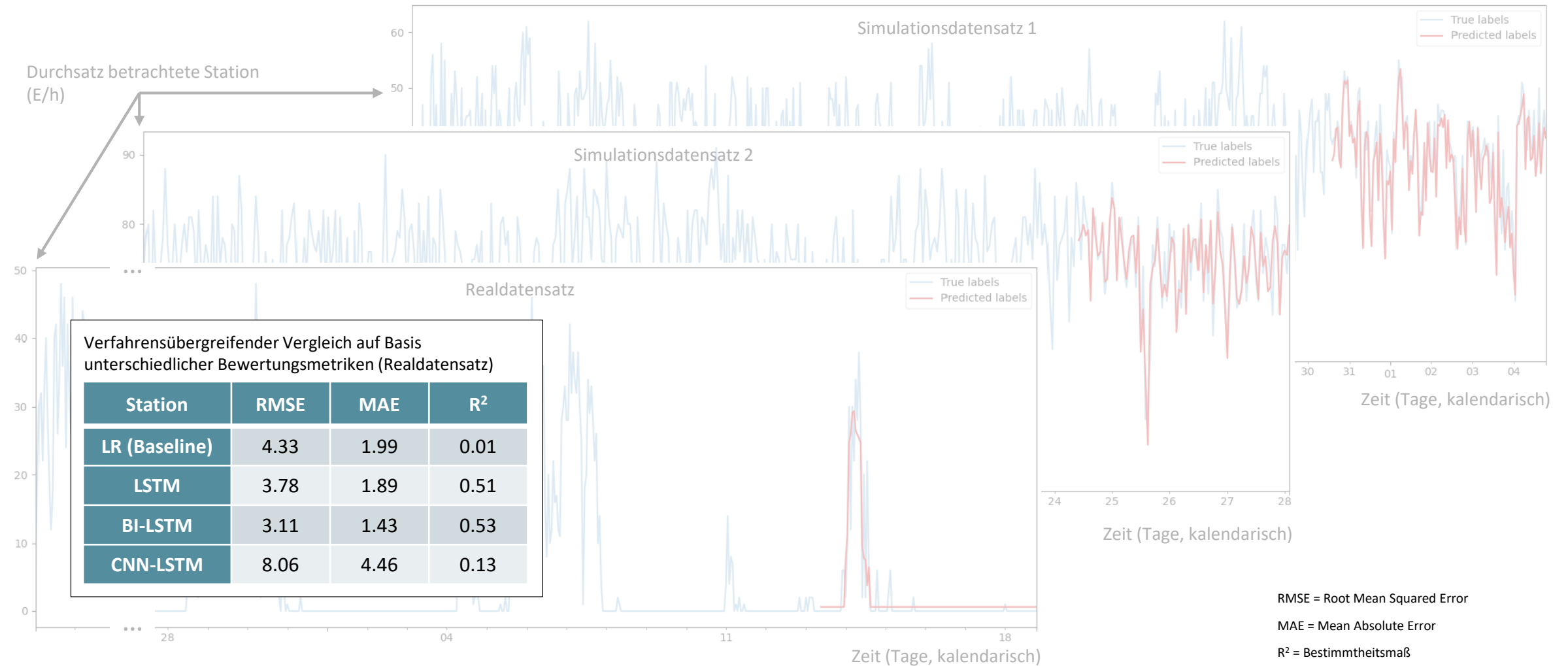
LSTM = Long Short Term Memory
NN = Neuronales Netz (engl. Neural Network)
CNN = Convolutional Neural Network

Ergebnisse & Zusammenfassung

ERGEBNISSE. VISUELL & NUMERISCH.



ERGEBNISSE. LERNVERFAHREN (I/II).



ERGEBNISSE.

LERNVERFAHREN (II/II).

- **RNN-Modelle** weisen signifikant **bessere Performance als lineare Regression** bei der Vorhersage der Ausbringung von FFS.
 - RNN beherrschen Umgang mit Nichtlinearitäten in den Daten.
 - Rekurrente Verbindungen, die dem Netzwerk effektives Gedächtnis bieten. Dadurch effektivere Nutzung von Informationen aus der weiteren Vergangenheit.
- Nach Hyperparametertuning bestehen sämtliche Modelle aus **5 hidden Layern**.
 - Größere Modellkomplexität bei Vermeidung Overfitting.
- **BI-LSTM das Lernverfahren mit größter Eignung.**
 - BI-LSTM erzielt nochmals bessere Ergebnisse als LSTM.
 - Umkehr der Richtung des Informationsflusses ermöglicht es, die Menge der verfügbaren Informationen für das Netzwerk zu erhöhen
 - CNN-LSTM weist schlechteste Performance auf:
 - CNN-LSTM bestehen aus CNN-Layern, die den LSTM-Layern vorangestellt sind, wodurch das Netzwerk theoretisch in der Lage ist, sowohl robuste Merkmalsextraktion als auch Merkmalsinterpretationen über Zeitstufen hinweg zu durchzuführen.
 - In dieser Anwendung jedoch nicht geeignet, da stark anfällig für das Overfitting. Problem konnte auch durch Hinzufügen von mehr Eingangsdaten und weiteren Regularisierungsmethoden nicht gelöst werden.

Verfahrensübergreifender Vergleich auf Basis unterschiedlicher Bewertungsmetriken (Realdatensatz)

Station	RMSE	MAE	R ²
LR (Baseline)	4.33	1.99	0.01
LSTM	3.78	1.89	0.51
BI-LSTM	3.11	1.43	0.53
CNN-LSTM	8.06	4.46	0.13

RMSE = Root Mean Squared Error

MAE = Mean Absolute Error

R² = Bestimmtheitsmaß

ERGEBNISSE. STELLSCHRAUBEN BEI DER PRAKTISCHEN UMSETZUNG.

Infrastruktur

Daten

▪ Datenverfügbarkeit

- Planungsinformationen
- Betriebsdaten
- Instandhaltungsdaten

▪ Datenstruktur

- Standardisierung

▪ Datenqualität

- Vollständigkeit
- Detailierungsgrad

Ressourcen

▪ Tools

- Data Analytics Software
- Programmierumgebungen
- Backend – Frontend –
Lösungen

▪ Rechenkapazität

▪ Speicherkapazität

Mitarbeiter

Prozesse

▪ Commitment

- Vision, Mission, Strategie,
konkrete Use Cases

▪ Transparenz & Vertrauen

- Show Cases
- Erklärbare KI

Kompetenz

▪ Neue Rollen

- Instandhalter 4.0
- Mitarbeiter-Know How im
Bereich Data Analytics,
Coding

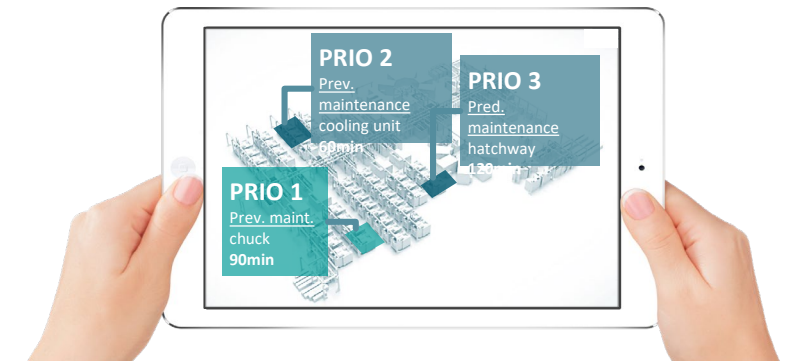
▪ Change-Management

- Weiterbildung
- Freiraum für Try & Error
- Fehlerkultur

Es ist wichtiger, die Prozesse zu standardisieren als das Objekt, welches transportiert wird.

Präskriptive Instandhaltung...

- Kann die Auslastung des Instandhaltungspersonals verbessern
- Basiert auf *Factory Physics*
- Nutzt Maschinelle Lernverfahren
- Funktioniert in einfachen wie in komplexen Produktionssystemen
- Stellt große Anforderungen an (Daten)-Infrastruktur und Mitarbeiter



Die vorgestellte Methode kann weitere einen Beitrag zur Nachhaltigkeit und Kostenreduzierung leisten, indem Anlagen in nicht benötigten IH-Zeitfenstern heruntergefahren werden und so der Bedarf an Energie- und Medienversorgung sinkt.



- Biedermann, H. (1987): Organisation zur Realisierung der Instandhaltungsplanung. In: Hubert Biedermann (Hg.): Planung in der Instandhaltung. Köln: TÜV Media, S. 173–187.
- Budai, G.; Dekker, R.; Nicolai, R. P. (2008): Maintenance and Production: A Review of Planning Models. In: Khairy A. H. Kobbacy und D. N. Prabhakar Murthy (Hg.): Complex System Maintenance Handbook, Bd. 99. London: Springer (Springer Series in Reliability Engineering), S. 321–344.
- Gits, C. (1992): Design of maintenance concepts. In: International Journal of Production Economics 24 (3), S. 217–226.
- Koops, L. (2020): Optimized Maintenance Decision-Making – A Simulation-supported Prescriptive Analytics Approach based on Probabilistic Cost-Benefit Analysis. In: Proceedings of the Virtual European European Conference of the Prognostics and Health Management Society, S. 1-14.
- Matyas, K. (2002): Ganzheitliche Optimierung durch individuelle Instandhaltungsstrategien. In: Industrie Management 18 (2), S. 13–16.
- Ni, J.; Jin, X. (2012): Decision support systems for effective maintenance operations. In: CIRP Annals 61 (1), S. 411–414.
- Radner, R.; Jorgenson, D. W. (1963): Opportunistic Replacement of a Single Part in the Presence of Several Monitored Parts. In: Management Science 10 (1), S. 70–84.
- Schröder, W. (2010): Ganzheitliches Instandhaltungsmanagement. Aufbau, Ausgestaltung und Bewertung. Wiesbaden: Gabler Verlag (Gabler research Techno-ökonomische Forschung und Praxis).

**BMW
GROUP**



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT.