

KI in der Produktion: Wie Process Mining die Energieeffizienz in der Produktion verbessert

Einblicke aus dem Projekt HeatTransPlan

Katharina Brenning – 24. Juni 2025

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



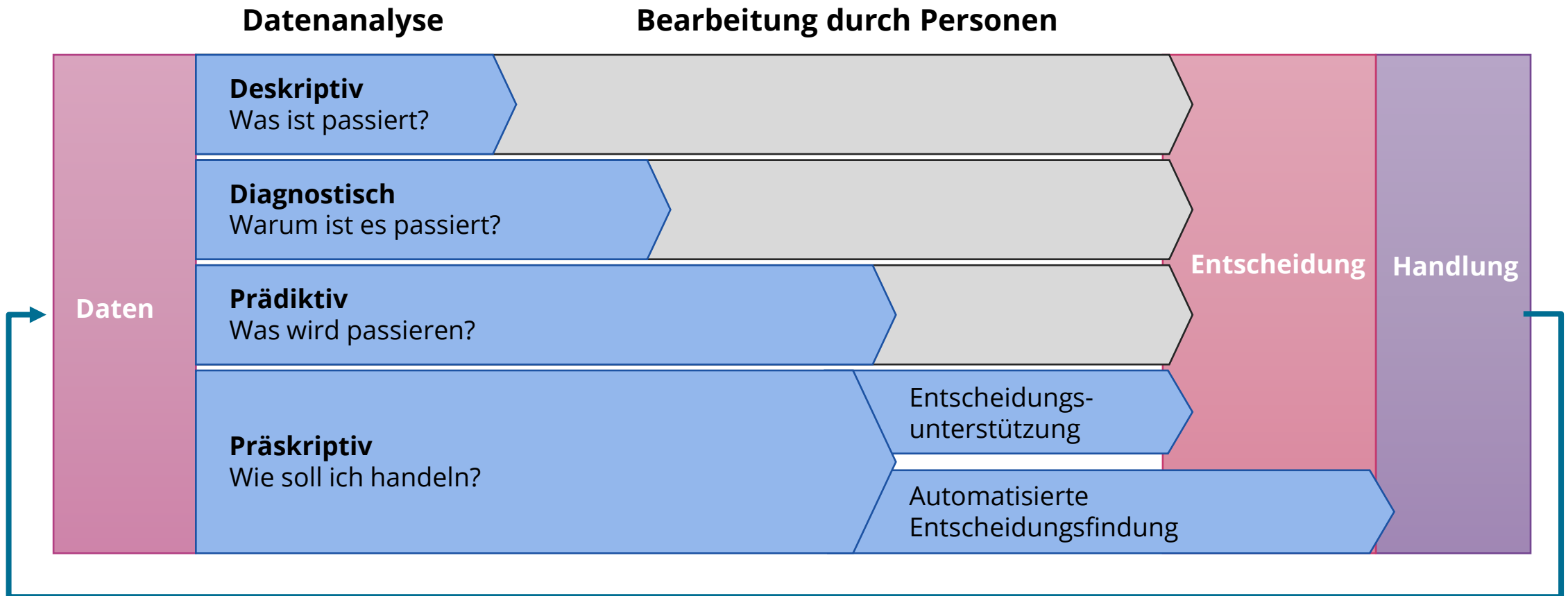
Was ist Process Mining?

Process Mining ermöglicht die datengetriebene Analyse von Prozessen.

- Process Mining verbindet die Methoden des Geschäftsprozessmanagement mit den Methoden der Data Science.
- Alle Prozessaktivitäten, die unter Zuhilfenahme von Anwendungssystemen durchgeführt werden, können analysiert werden.
- Process Mining erzeugt das reale Abbild von Prozessen.

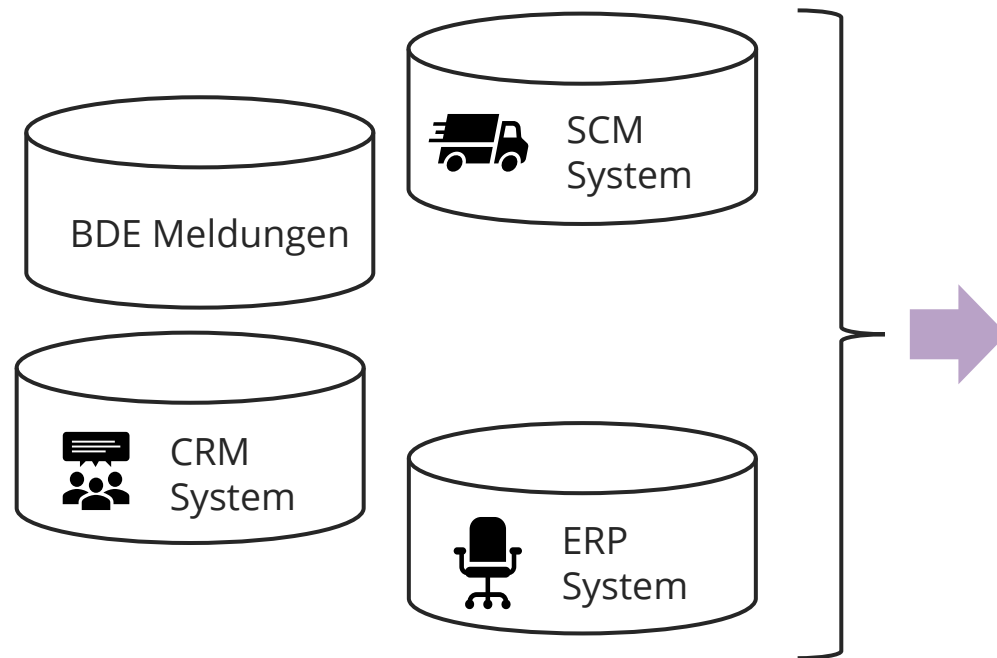
Prozess: inhaltlich abgeschlossene, zeitlich und sachlogisch geordnete Folge von Aktivitäten, die unter Einsatz von Informationen und Ressourcen durch Menschen und Maschinen ausgeführt wird.

Process Mining kann verschiedene Fragestellungen beantworten



Wo sind die Prozessdaten zu finden?

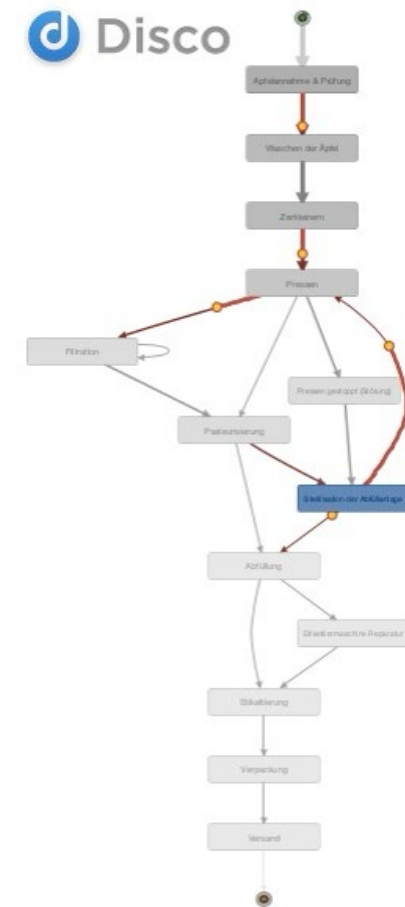
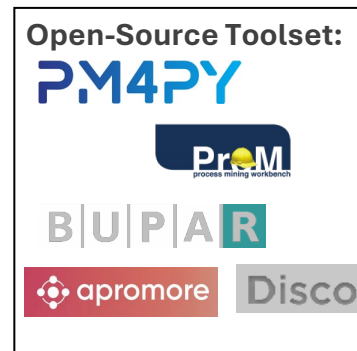
Identifikation relevanter Datenquellen und involvierter Systeme, die mit dem Prozess in Verbindung stehen!



Case ID	Activity	Timestamp	Resource
Case1	Apfelannahme & Prüfung	2025-06-16 07:00:00	Wareneingang (Mitarbeiter)
Case1	Waschen der Äpfel	2025-06-16 07:15:00	Waschanlage
Case1	Zerkleinern	2025-06-16 07:30:00	Zerkleinerer
Case1	Pressen	2025-06-16 07:50:00	Presse
Case1	Filtration	2025-06-16 08:30:00	Filteranlage
Case1	Pasteurisierung	2025-06-16 08:50:00	Pasteurisierungsanlage
Case1	Sterilisation der Abfüllanlage	2025-06-16 09:10:00	CIP-Anlage
Case1	Abfüllung	2025-06-16 09:40:00	Abfüllanlage
Case1	Etikettierung	2025-06-16 10:10:00	Etikettiermaschine
Case1	Verpackung	2025-06-16 10:30:00	Verpackungsteam
Case1	Versand	2025-06-16 11:00:00	Versandteam
Case2	Apfelannahme & Prüfung	2025-06-16 08:00:00	Qualitätsprüfer
Case2	Waschen der Äpfel	2025-06-16 08:15:00	Waschanlage
Case2	Zerkleinern	2025-06-16 08:30:00	Zerkleinerer
Case2	Pressen	2025-06-16 09:00:00	Presse
Case2	Filtration	2025-06-16 09:45:00	Filteranlage

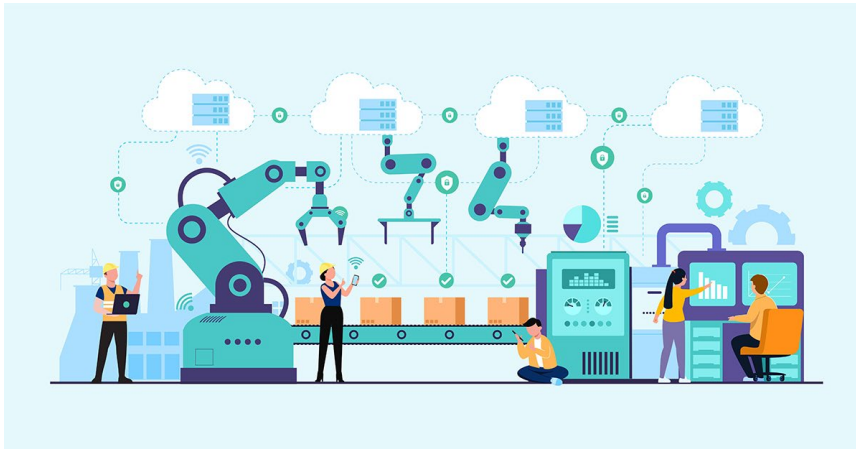
Beispielanwendung: Produktionsprozess Apfelsaft

Case ID	Activity	Timestamp	Resource
Case1	Apfelannahme & Prüfung	2025-06-16 07:00:00	Wareneingang (Mitarbeiter)
Case1	Waschen der Äpfel	2025-06-16 07:15:00	Waschanlage
Case1	Zerkleinern	2025-06-16 07:30:00	Zerkleinerer
Case1	Pressen	2025-06-16 07:50:00	Presse
Case1	Filtration	2025-06-16 08:30:00	Filteranlage
Case1	Pasteurisierung	2025-06-16 08:50:00	Pasteurisierungsanlage
Case1	Sterilisation der Abfüllanlage	2025-06-16 09:10:00	CIP-Anlage
Case1	Abfüllung	2025-06-16 09:40:00	Abfüllanlage
Case1	Etikettierung	2025-06-16 10:10:00	Etikettiermaschine
Case1	Verpackung	2025-06-16 10:30:00	Verpackungsteam
Case1	Versand	2025-06-16 11:00:00	Versandteam
Case2	Apfelannahme & Prüfung	2025-06-16 08:00:00	Qualitätsprüfer
Case2	Waschen der Äpfel	2025-06-16 08:15:00	Waschanlage
Case2	Zerkleinern	2025-06-16 08:30:00	Zerkleinerer
Case2	Pressen	2025-06-16 09:00:00	Presse
Case2	Filtration	2025-06-16 09:45:00	Filteranlage



Verbindung von Produktions- & Energiedaten

Produktionsdaten

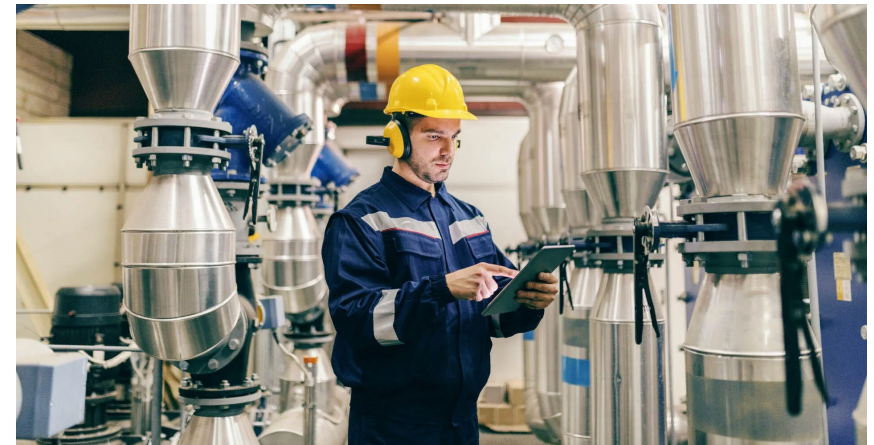


Production Control System (ERP, MES, SCADA, BDE, ...)

Process Mining



Energiedaten



Energy Management System (EMS)

→ In vielen Fällen sind Daten bereits vorhanden, doch es fehlt die passende Verknüpfung.

Welche Energiedaten können genutzt werden?

Thermische Energie

Elektrische Energie

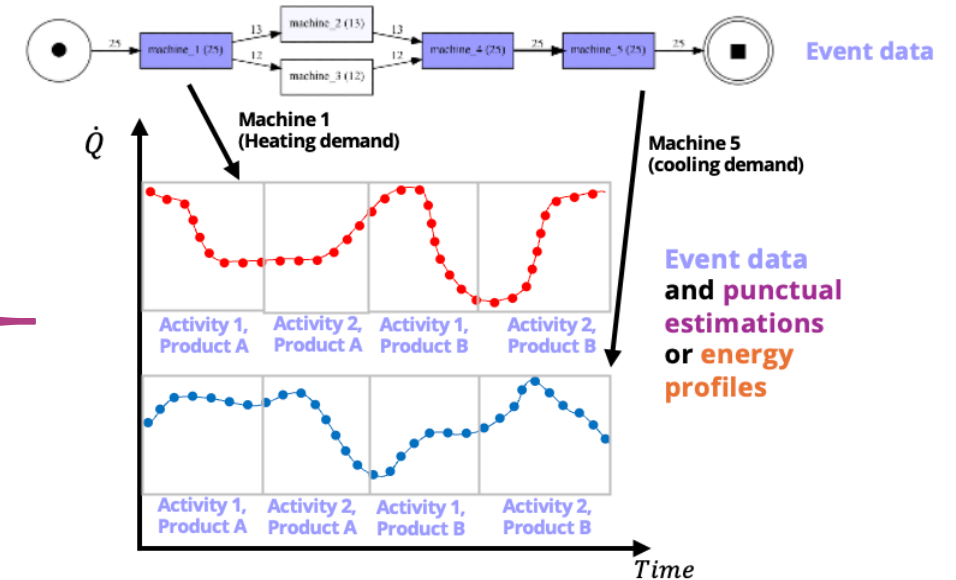
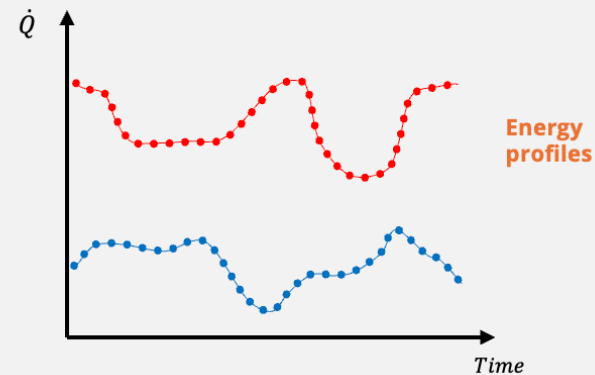
....

1. Punktueller Messungen

Data Collection Sheet		
Machine	Type of demand	$\dot{Q}$
1	Heating	90 Kw
2	Cooling	50 Kw

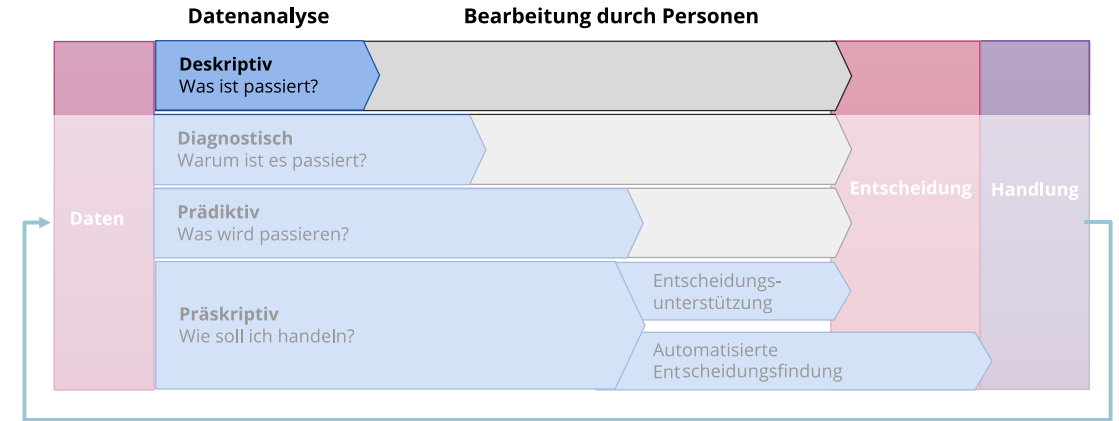
Punctual
estimations

2. Energieprofile



Deskriptiv: Was ist passiert?

Ziel: Verstehen und Transparenz schaffen



Beispiele:

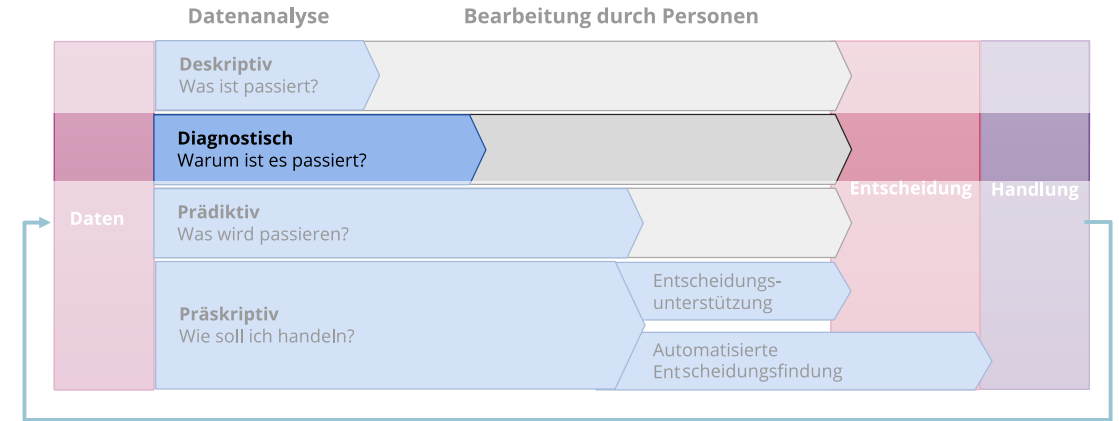
- Energieverbrauch je Prozessschritt, Maschine oder Produkt
- Energiekennzahlen (z. B. kWh pro Liter Apfelsaft)
- Visualisierung von Energieflüssen im Prozess (Energy Sankey, Heatmaps)
- Lastprofile im Tages-, Wochen- oder Chargenverlauf



Nutzen: Grundlage für Benchmarking, Kostenrechnung, Nachhaltigkeitsberichte

Diagnostisch: Warum ist es passiert?

Ziel: **Ursachen verstehen und Anomalien erkennen**



Beispiele:

- Warum hatte eine Charge einen überdurchschnittlichen Stromverbrauch?
- Korrelation zwischen Ausschuss und Energieverbrauch?
- Analyse von Maschinen-Stillständen mit erhöhtem Leerlaufverbrauch
- Ursachen für abweichende Temperaturverläufe bei Pasteurisierung



Nutzen: Energie- und Prozessverluste identifizieren, gezielte Verbesserungen

Prädiktiv: Was wird passieren?

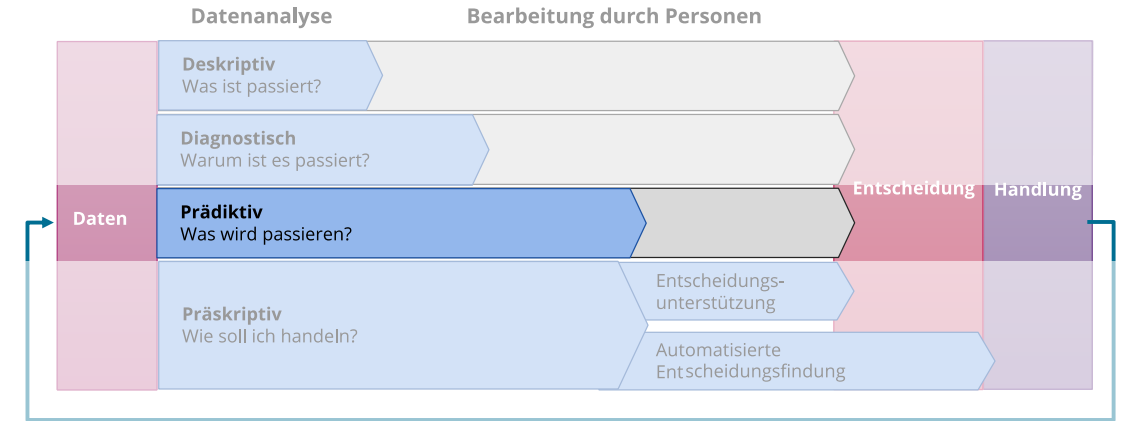
Ziel: Zukunft prognostizieren

Beispiele:

- Prognose des Energieverbrauchs basierend auf Auftrags- oder Produktionsplanung
- Vorhersage von Energiebedarfsspitzen zur Lastvermeidung
- Anomalieerkennung bei Energieprofilen (→ Predictive Maintenance)
- Vorhersage von Abweichungen der Produktqualität durch Temperaturverlauf

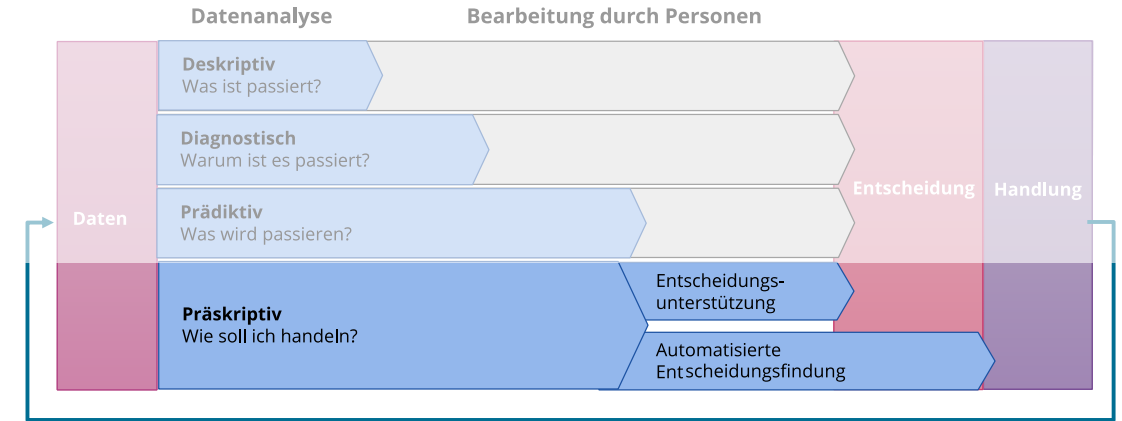


Nutzen: Planungssicherheit, Energiebedarfssteuerung, Ausfallprävention



Präskriptiv: Wie soll ich handeln?

Ziel: Handlungsempfehlungen geben



Beispiele:

- Optimale Startzeit für energieintensive Prozesse (z. B. wenn Stromtarife niedrig sind)
- Vorschläge zur Auftragsreihenfolge für geringeren Energieverbrauch (z.B. Produktionsplanung)
- Echtzeit-Steuerung von Prozessparametern zur Reduktion von Energieverlusten
- Empfehlung zur Wartung oder Nachjustierung von Maschinen basierend auf Energiedaten



Nutzen: Automatisierte Entscheidungsunterstützung, Energieeffizienzsteigerung

Energy-Aware Process Mining in der Anwendung

Chancen



- ✓ Erhöhung der **Prozesstransparenz** und des Prozessverständnisses
- ✓ **Energy-Aware Production Planning:** Planung der Produktionsschritte unter Berücksichtigung des **Energieverbrauchs**
- ✓ **Simulation** von „Was-Wäre-Wenn“-Szenarien
- ✓ Berechnung von Energieverbrauch und CO2-Abdruck und dessen Zuordnung zum Produkt

Herausforderungen



- Prozessdaten in **unterschiedlichen IT-Systemen**
- **Verständnis** für **Process Mining** entwickeln
- **zeitlich präzise** und **eindeutige Zuordnung** zwischen Energie- und Prozessdaten
- **Fehlende Daten**, manuelle Messungen/Schätzungen

Process Mining Maturity Model

Organization <i>Organization enables PM</i>	Data Foundation <i>Environment enables PM</i>	Peoples' Knowledge <i>People understand PM</i>	Scope of the PM Activity <i>Holistic application of PM</i>	Governance <i>Guidelines for PM application</i>
Purpose ... describes the clarity of the purpose of PM use cases in the organization and their long-term strategies and vision.	Process-oriented Information Systems ... describes the maturity of used information systems regarding their process-oriented behavior.	Handling PM Tools ... describes the ability on how well the employees can identify and use the appropriate tool.	Discovery ... describes how well the organization can create process models from event logs.	Method and Tool Governance ... describes how well guidelines are defined on who can and must use which tools or methods.
Center of Excellence for PM ... describes how deep PM is embedded in the organization.	Data Accessibility ... describes how fast data access can be given to relevant entities.	Technical Basics ... describes how much general knowledge of IT topics the employees have.	Analysis ... describes the maturity of the data-driven analysis of processes regarding dimensions such as time, quality, complexity or costs.	Roles and Responsibilities ... describes the maturity of policies that define actors and tasks for PM in organizations.
Process Centricity ... describes how intensively the organization operates cross-functional.	Scope of the Data ... describes how much data is collected and how well it is annotated with additional (process) information.	Data Preparation ... describes how well the data can be processed to increase its information content.	Monitoring and Controlling ... describes how mature the ongoing monitoring and control of processes is, incl. the means of key process indicators.	Process Governance ... describes the maturity of standards and guidelines for process decisions.
Evidence Centricity ... describes how intensively the organization operates data-driven.		Classic Data Mining ... describes how much knowledge about the general handling of large data sets exists in the organization.	Operating Advanced Use Cases ... describes the degree of how advanced application scenarios, e.g., prediction or prescription, are used in the organization.	Data Governance ... describes the maturity of guidelines for management and control over the use of (process) data.
Change Centricity ... describes to which degree the organization is open for change and how structured the change is carried out.		PM Basics ... describes how much basic knowledge on PM, such as PM techniques, process representations, algorithms is present in the organization.		
Methods of PM Project Phases ... describes the maturity of methods in the organization to structure tasks of PM project phases.		Advanced Application ... describes how much knowledge on PM for use cases beyond the main techniques (discovery, conformance, enhancement) is present in the organization.		

Legend:

Factor
Element
PM = Process Mining

Link zum Reifegradmodell
inklusive der unterschiedlichen
Reifegradstufen:

Scan me!



Overview of the Process Mining Maturity Model (P3M)

Vielen Dank!



Katharina Brennig

Research Assistant & PhD Student

katharina.brennig@upb.de
go.upb.de/DataAnalytics

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Referenzen

- Becker, J., & Schütte, R. (2004). Handelsinformationssysteme: domänenorientierte Einführung in die Wirtschaftsinformatik. MI Wirtschaftsbuch.
- Dumas, M., La Rosa, M., Mendling, J., & Reijers, H. A. (2018). Fundamentals of Business Process Management. 2. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer.
- Wil M. P. van der Aalst, Josep Carmona: Process Mining Handbook. Lecture Notes in Business Information Processing 448, Springer 2022, ISBN 978-3-031-08847-6
- Jiang, Y., Yin, S., Li, K., Luo, H., & Kaynak, O. (2021). Industrial applications of digital twins. *Philosophical Transactions of the Royal Society A*, 379(2207), 20200360.
- Yu, W., Patros, P., Young, B., Klinac, E., & Walmsley, T. G. (2022). Energy digital twin technology for industrial energy management: Classification, challenges and future. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 161, 112407.
- Walden, J. V., Wellig, B., & Stathopoulos, P. (2023). Heat pump integration in non-continuous industrial processes by Dynamic Pinch Analysis Targeting. *Applied Energy*, 352, 121933.
- Lau, W. L., Reizes, J., Timchenko, V., Kara, S., & Kornfeld, B. (2015). Heat and mass transfer model to predict the operational performance of a steam sterilisation autoclave including products. *International journal of heat and mass transfer*, 90, 800-811.
- Jildeh, Z. B., Wagner, P. H., & Schöning, M. J. (2021). Sterilization of objects, products, and packaging surfaces and their characterization in different fields of industry: The status in 2020. *physica status solidi (a)*, 218(13), 2000732.