

---

# Process Mining in einer Produktion mit kundenanonymer Bevorratung

## Heuristischer Ansatz zur Vergabe von Case IDs\*

Christian Urnauer,  
Victoria Gräff und  
Joachim Metternich

Institut für Produktionsmanagement,  
Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW)

Technische Universität Darmstadt  
Otto-Berndt-Straße 2  
64287 Darmstadt



TECHNISCHE  
UNIVERSITÄT  
DARMSTADT



### \*Danksagung

Das Projekt “Method for simulation-based value stream optimization for high-mix serial production” (ME 4323/7-1) wird durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) gefördert.

Veröffentlicht unter der Lizenz CC BY 4.0 International

---

---

## Process Mining für die Produktion

---

Prozessmodelle werden eingesetzt, um ein qualitatives Verständnis für den Prozess zu schaffen [1], indem ein idealisiertes Bild der Realität erzeugt wird. Dabei erfolgt die Visualisierung der Abfolge von Prozessschritten eines Material- oder Informationsflusses. Das Erstellen von Prozesskarten kann durch den Einsatz von Process Mining Techniken automatisiert werden. Dabei werten Discovery Algorithmen Zeitstempel aus, um Prozesse und Prozessverbindungen zu rekonstruieren. Die Verfügbarkeit von Daten aus der Produktion nimmt durch die voranschreitende Digitalisierung stetig zu [2], wodurch die Relevanz solcher datengestützter Analysen wächst. Dieser Artikel stellt einen heuristischen Ansatz zur Vorverarbeitung nicht-korrelierter Zeitstempeldaten aus der Produktion vor, um mit diesen den Einsatz von Process Mining zu ermöglichen.

### Ablauf von Process Mining

Der Ablauf von Process Mining startet mit der Datenbeschaffung. Entlang aller Prozesse der Produktion werden die relevanten Zeitstempel identifiziert und aus den verschiedenen Speicherorten extrahiert. Im Zielformat sind Prozesse („Activities“) verschiedenen Produkten, Fertigungsaufträgen oder anderen Material- bzw. Informationsflusseinheiten („Cases“) in chronologischer Folge zugeordnet, wie in Abbildung 1 dargestellt. Wichtig für die Verarbeitung mittels Process Mining ist dabei eine Korrelation der Daten durch einen Identifikator (einer „Case ID“).

Case ID	Activity	Start	Ende
1573	Biegen	11.01.2019 13:57	11.01.2019 14:22
1304	Pulvern	17.01.2019 08:11	17.01.2019 08:50
1573	Pulvern	17.01.2019 08:11	17.01.2019 08:50
1304	Drücken	28.01.2019 09:48	28.01.2019 10:07
1573	Drücken	28.01.2019 09:48	28.01.2019 10:07
2013	Biegen	14.02.2019 12:03	14.02.2019 13:37
2013	Pulvern	25.02.2019 07:44	25.02.2019 08:13
...	...	...	...

Abbildung 1: Beispielhafter Auszug eines Ereignislogs zur Produktion von Schreibplatten

Ausgewertet wird der vorbereitete Ereignislog durch Discovery Algorithmen, welche aus den Datenpunkten ein Prozessmodell rekonstruieren [3], mit dem die reale Produktion beschrieben und analysiert werden kann (vgl. Abbildung 2).

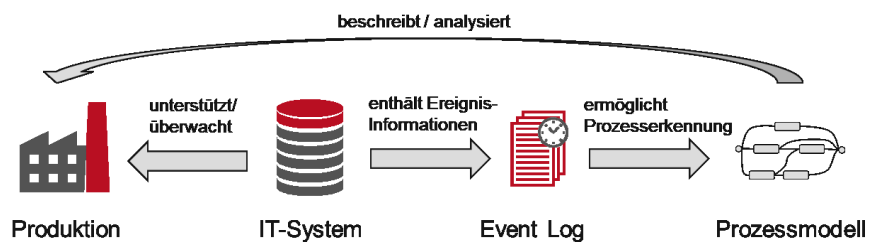


Abbildung 2: Process Mining zur Analyse der Produktion (Quelle: Urnauer und Metternich (2019) [4])

## Anwendung von Process Mining in der Produktion

Das Unternehmen HSPI Management Consulting führt eine Datenbank mit Process Mining Anwendungen und stellt fest, dass der Einsatz dieser Techniken zunehmend größere Aufmerksamkeit erfährt. In seinen Ursprüngen wird Process Mining insbesondere zur Modellierung von Geschäftsprozessen in administrativen Bereichen eingesetzt. Unter den erfassten Einsatzgebieten der HSPI Datenbank sind die beiden Hauptanwendungsfelder der Finanzsektor (26 %) und der Gesundheitssektor (22 %), gefolgt von Anwendungen in Industrieunternehmen (19 %) [5]. In der wissenschaftlichen Literatur finden sich bisher nur wenige Anwendungsfälle in Produktion und Logistik [6–13]. Eine Schwierigkeit liegt regelmäßig darin, die vorliegenden Daten miteinander zu verknüpfen und in das richtige Format zu überführen.

### Herausforderung der Case ID Vergabe in der Produktion

Zur Anwendung von Process Mining in der Produktion ist es notwendig, eine Case ID zu vergeben, welche eine Materialflusseinheit definiert, die durch die analysierten Prozesse fließt. In einer durchweg auftragsbezogenen Produktion kann ein Erzeugnis in jedem Bearbeitungsschritt anhand seiner gleichbleibenden Auftragsnummer nachvollzogen werden. Gleiches gilt für die Fertigung des Sekundärbedarfs – also der Bedarf an Komponenten, Baugruppen und Teilen zur Fertigung des Produkts, die in einem solchen Umfeld individuell für jeden Auftrag erfolgt [14]. Diese Zuordnung wird erschwert, wenn die Produktion durch kundenanonyme Vorfertigung zur Bevorratung auf mehreren Wertschöpfungsstufen geprägt ist, wie beispielhaft in Abbildung 3 symbolisiert. Für dieses Umfeld ist die Beauftragung von Fertigungslosen an den einzelnen Bearbeitungsprozessen unter individuellen Auftragsnummern charakteristisch, welche nicht in Zusammenhang mit den Auftragsnummern der übrigen Bearbeitungsprozesse stehen. In diesem Artikel wird ein Beitrag dazu geleistet, eine Produktion für Process Mining zugänglich zu machen, in der keine durchgängige Verknüpfung von Produkt- zu Prozessdaten möglich ist.

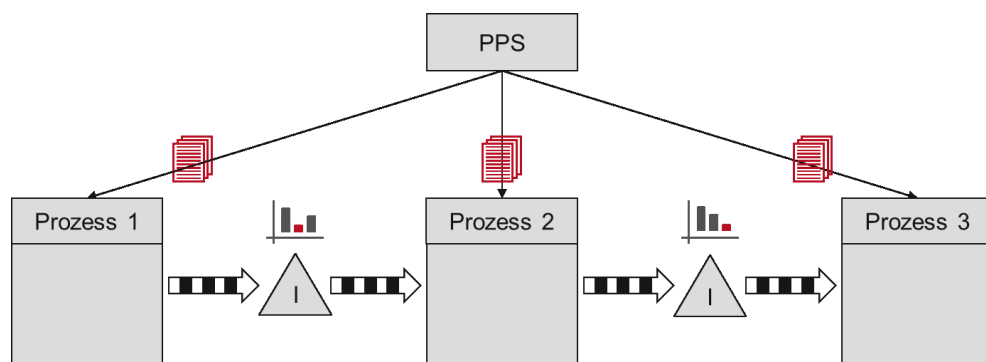


Abbildung 3: Produktion mit kundenanonymer Bevorratung auf mehreren Wertschöpfungsstufen

---

## Heuristischer Ansatz zur Vergabe von Case IDs

---

### Problemformulierung

Gegeben sind  $n$  Prozesse  $P_i$  mit vorgelagerten Beständen  $B_i$ . Für jeden Prozess liegen Ereignisse in zeitlich aufsteigender Reihenfolge vor. Die Bestandsmenge in den Puffern zwischen den Prozessen ist zu einem Zeitpunkt innerhalb des betrachteten Intervalls gegeben. Ziel ist es, die Ereignisse der Prozesse durch die Vergabe von Case IDs miteinander zu verknüpfen, um sie einer Analyse mittels Process Mining zugänglich zu machen.

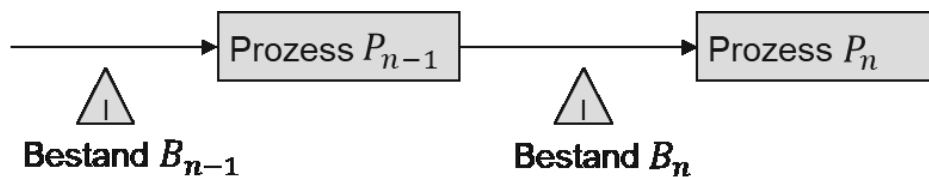


Abbildung 4: Problembeschreibung

### Annahmen

Der Lösungsansatz unterliegt folgenden Annahmen und Vereinfachungen:

- (1) Es entsteht keine Verwirbelung der Reihenfolge innerhalb der Bestände. Die Prozesse bedienen sich an den ihnen vorgelagerten Beständen gemäß dem First-in-First-out (FIFO)-Prinzip.
- (2) Es gibt keinen Ausschuss in den Prozessen.
- (3) Die betrachteten Materialflusseinheiten sind nach Produktfamilien gruppiert, in denen jedes Produkt alle Prozesse durchläuft.

Liegt eine push-gesteuerte Produktion mit unkontrollierten Beständen - wie in Abbildung 3 dargestellt - vor, so stellt insbesondere Annahme (1) eine starke Vereinfachung dar, welche es bei der Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen gilt.

### Lösungsansatz

Zunächst werden alle losweise gebündelten Aufträge vereinzelt. Anschließend beginnt die ID-Vergabe mit dem ersten Case des letzten Prozesses  $P_n$  mit dem Wert 1. Von diesem ausgehend werden alle Ereignisse des Prozesses hochgezählt. Die Case IDs des vorgelagerten Prozesses  $P_{n-1}$  werden ebenfalls hochgezählt, beginnen jedoch bei  $1 + B_n$ . Der nächste Vorgänger  $P_{n-2}$  beginnt wiederum bei  $1 + B_n + B_{n-1}$  und so fort. Mathematisch ist also jeder Startwert  $C_{1,i}$  folgendermaßen berechenbar:

$$C_{1,i} = 1 + \sum_{i+1}^n B_i \quad \forall i \in [1, \dots, n-1]$$

und  $C_{1,n} = 1$

---

## Anwendungsfall: Produktion von Schreibplatten

---

Zur besseren Verständlichkeit wird nachfolgend ein Anwendungsfall beschrieben, in welchem die vorgestellte Heuristik angewendet wird.

### Produktionsumgebung

Beim vorliegenden Anwendungsfall wurde Process Mining zur Prozessaufnahme im Rahmen einer datengestützten Wertstromanalyse [4] für das Produkt „Schreibplatten“ eingesetzt. Der Fertigungsprozess besteht aus den Prozessschritten *Biegen*, *Pulvern*, *Drücken*, *Montage* und *Verpacken*, wobei die ersten drei Prozessschritte nicht von jedem Produkt durchlaufen werden (vgl. Abbildung 5). Jedes Halbzeug kann anhand seiner Artikelnummer einem Produkttypen zugeordnet werden.

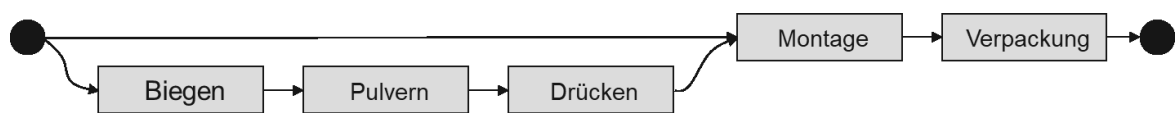


Abbildung 5: Prozessmodell für die Produktion von Schreibplatten

Die Aufträge für die einzelnen Bearbeitungsschritte werden durch den Disponenten auf Basis einer Mindestbestandsmeldung der Lagerverwaltung für das entsprechende Halbzeug ausgelöst. Die Mitarbeiter werden an ihren Arbeitsplätzen mit Hilfe eines Tablets über den nächsten Fertigungsauftrag informiert. Über dieses melden die Mitarbeiter den Start- und Endzeitpunkt eines Auftrags an die Betriebsdatenerfassung zum Zweck einer leistungsgebundenen Entlohnung. Die so erfassten Zeitstempel werden zur Anwendung von Process Mining genutzt. Die losweise auf Lager gefertigten Vorprodukte werden in jedem Prozessschritt nach dem FIFO-Prinzip entnommen. Der Fertigungsauftrag enthält Informationen über den genauen *Produkttyp* und die zu fertigende *Losgröße*. Es liegt jedoch keine direkte Korrelationsmöglichkeit zur Nachverfolgung eines individuellen Produkts vor. Aus diesem Grund wird der zuvor beschriebene heuristische Ansatz zur ID-Vergabe eingesetzt.

### Case ID Vergabe am Beispiel der Prozesse Verpacken und Montage

Im Anwendungsfall werden die Bestände der letzten Stichtagsinventur verwendet, welche auch den Startpunkt des Betrachtungszeitraums markiert. Anhand des Beispiels in Abbildung 6 wird nachfolgend das Vergabeprinzip der Case IDs erklärt. Im abgebildeten Ausschnitt liegen zwei Fertigungsaufträge (FA) für *Verpacken*, ein Auftrag für *Montage* und ein Bestand von 30 montierten Teilen des Typs A vor. Am Stichtag wird nicht produziert.

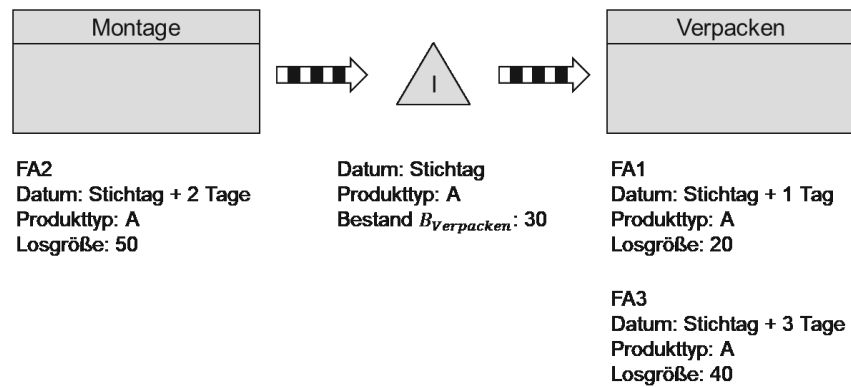


Abbildung 6: Beispiel zum Vergabeprinzip der Case IDs

### 1. Prozess Verpacken ( $P_n$ )

Ein Tag nach dem Stichtag wird ein Los von 20 Produkten aus dem Anfangsbestand  $B_{Verpacken}$  entnommen und verpackt (FA1). Aus diesem Los werden 20 Cases konstruiert, welchen die IDs 1 bis 20 zugeordnet werden. Der zugehörige Montageprozess liegt vor dem Stichtag, sodass zu diesem keine Datenpunkte im Betrachtungszeitraum vorliegen. Der nächste Fertigungsauftrag am Prozess Verpacken (FA3) beinhaltet 40 Cases. Ihnen werden die IDs 21 bis 60 zugeordnet. Die ersten 10 entstammen ebenfalls dem Anfangsbestand  $B_{Verpacken}$ , während die Cases 31 bis 60 aus dem Montageauftrag FA2 stammen.

### 2. Prozess Montage ( $P_{n-1}$ )

Die ID Vergabe am Prozess Montage beginnt mit  $C_{1, Montage} = 1 + B_{Verpacken} = 31$ . Die 50 Cases des Loses in FA2 werden vereinzelt und erhalten die IDs 31 bis 80. Der Betrachtungshorizont des Beispiels endet hier, der Verpackungsprozess der Cases 61 bis 80 ist im Datensatz nicht mehr enthalten. Nur die Ereignisse mit den Case IDs 31 bis 60 durchlaufen im vorliegenden Beispiel den vollständigen Prozess.

Case	Activity	Case	Activity	Case	Activity
1	Verpacken	31	Montage	61	Montage
2	Verpacken	31	Verpacken	62	Montage
...	...	32	Montage	...	...
29	Verpacken	32	Verpacken	79	Montage
30	Verpacken	...	...	80	Montage
		59	Montage		
		59	Verpacken		
		60	Montage		
		60	Verpacken		

Abbildung 7: Ergebnis der ID Vergabe im Beispiel

Nach diesem Prinzip können im Anwendungsfall aus jedem Fertigungsauftrag einzelne Cases extrahiert und durch die ID Vergabe einer Verarbeitung mittels Process Mining zugänglich gemacht werden. Im vorliegenden Anwendungsfall wird der Zeitraum von der letzten Stichtagsinventur (18.05.2018) bis zum Tag der Datenbeschaffung (27.06.2019) betrachtet. Auch wenn es sich um einen Wertstrom mit vergleichsweise geringer Komplexität handelt, kann

der Einsatz von Process Mining einen bei der analogen Prozessaufnahme nicht erfassten Prozess aufdecken und eine wesentlich verbesserte Quantifizierung gewährleisten. Es wird festgestellt, dass die Kundennachfrage 43 % niedriger als in der ersten Annahme liegt und dass Produktfamilie 2 einen 21 % geringeren Anteil am Gesamtvolumen hat als zunächst geschätzt. Daraus wird ersichtlich, dass die Befähigung eines Datensatzes zum Einsatz von Process Mining Techniken durch die heuristische Vergabe von Case IDs einen großen Mehrwert zur Analyse einer Produktion birgt. Wichtig für die Anwendung ist jedoch, dass man alle weiteren Ergebnisse vor dem Hintergrund der getroffenen Annahmen interpretieren muss. Weiterer Forschungsbedarf ist aus diesem Grund in Strategien zur kurzfristigen Erzeugung belastbarer Daten für Process Mining zu sehen. Darüber hinaus ist das Potenzial des Einsatzes von Process Mining in Produktion und Logistik weiter zu erforschen.

---

## Literatur

---

1. Mikleš, J; Fikar, M.: Process Modelling, Identification, and Control. Springer, Berlin 2007.
2. Weinreich, U.: Lean Digitization. Digitale Transformation durch agiles Management. Springer Gabler, Berlin, Heidelberg 2016.
3. van der Aalst, W.: Process mining. Data science in action. Springer, Heidelberg 2016.
4. Urnauer, C; Metternich, J.: Die digitale Wertstrommethode. Process Mining als digitale Stütze der Wertstromanalyse. **Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb** 117 (2019) 12, S. 855–858.
5. HSPI Management Consulting: Process mining. A Database of Applications 2018. [http://ganj-ie.iust.ac.ir:8081/images/a/ad/Process\\_mining\\_database\\_applications\\_2018b.pdf](http://ganj-ie.iust.ac.ir:8081/images/a/ad/Process_mining_database_applications_2018b.pdf). Zugriff am 02.12.2019.
6. Knoll, D; Reinhart, G; Prüglermeier, M.: Enabling value stream mapping for internal logistics using multidimensional process mining. **Expert Systems with Applications** 124 (2019), S. 130–142.
7. Lee, S.-k; Kim, B; Huh, M; Cho, S; Park, S; Lee, D.: Mining transportation logs for understanding the after-assembly block manufacturing process in the shipbuilding industry. **Expert Systems with Applications** 40 (2013) 1, S. 83–95.
8. Rozinat, A; Jong, I.S.M. de; Gunther, C; van der Aalst, W.M.P.: Process Mining Applied to the Test Process of Wafer Scanners in ASML. **IEEE Trans. Syst., Man, Cybern. C** 39 (2009) 4, S. 474–479.
9. Park, J; Lee, D; Zhu, J.: An integrated approach for ship block manufacturing process performance evaluation: Case from a Korean shipbuilding company. **International Journal of Production Economics** 156 (2014), S. 214–222.
10. Saravanan, M; Rama Sree, R.: Application of Process Mining in Automobile. A Case Study for MG Motors. **International Journal of Advanced Research in Computer Science** 1 (2011) 5, S. 685–690.
11. Son, S; Yahya, B; Song, M; Choi, S; Hyeon, j; Lee, B; Jang, Y; Sung, N.: Process Mining for Manufacturing Process Analysis. A Case Study. **Proceeding of the 2nd Asia Pacific Conference on Business Process Management** (2014).
12. Stanula, P; Metternich, J; Glockseisen, T.: Selbstlernendes, dezentrales Produktionssystem in der Kleinserienfertigung. Integration von Technologien der Datenanalyse zur Optimierung der Produktionsplanung und -steuerung in der Kleinserienfertigung 114 (2019) 6, S. 332–335.
13. Paszkiewicz, Z.: Process Mining Techniques in Conformance Testing of Inventory Processes. An Industrial Application. **Proceedings of the international conference on business information systems** (2013), S. 302–313.
14. Schuh, G; Schmidt, C.: Produktionsmanagement. Handbuch Produktion und Management 5: VDI-Buch. Springer Vieweg, Berlin 2014.