

Einsatz der Gruppentechnologie zur Nivellierung in der variantenreichen Kleinserie

Jochen Deuse, Stephan Birkmann, Universität Dortmund und
Thomas Harms, Robert Bosch GmbH



Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse leitet den Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme der Universität Dortmund.



Dipl.-Inform. Stephan Birkmann arbeitet als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Dortmund, Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme.



Dr.-Ing. Thomas Harms ist Mitarbeiter im Zentralbereich Fertigungs- und Investitionsplanung bei der Robert Bosch GmbH und Projektleiter für das Thema „Nivellierung in der Kleinserie“.

dar. In der Serienproduktion hat sich hierfür die Methode „Produktionsnivellierung“ (Heijunka) bewährt. Im Rahmen dieses Artikels wird ein Ansatz vorgestellt, der es mithilfe der Gruppentechnologie ermöglicht, dieses Konzept auch für die variantenreiche Kleinserie nutzbar zu machen. Dafür werden die charakteristischen Randbedingungen des Fertigungstyps „variantenreiche Kleinserienfertigung“ mit den Umsetzungsvoraussetzungen der Produktionsnivellierung in der Massen- und Serienfertigung abgeglichen. Angewendet wurde dieser Ansatz in einem Produktionswerk der Robert Bosch GmbH.

Die in der Kleinserienproduktion häufig vorherrschende hohe Variantenvielfalt stellt ein seit langem ungelöstes Problem für die Optimierung der Kapazitätsauslastung in der Produktion dar. In den letzten Jahren ist die Anforderung nach kundenindividuellen Lösungen zu

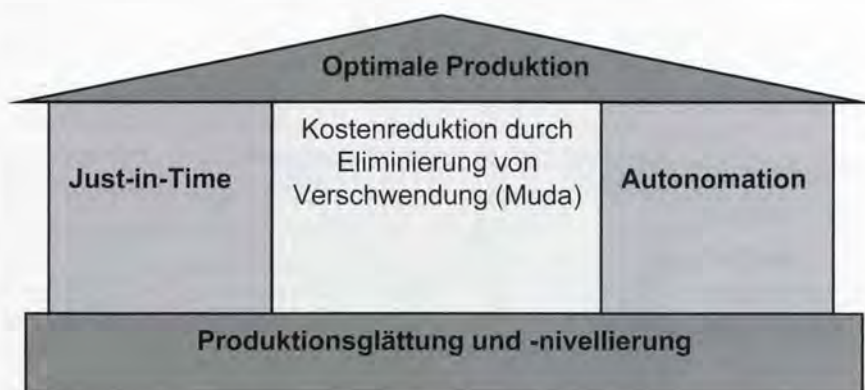
Massenproduktpreisen weiter gestiegen. Aufgrund dessen steigt der Druck, das Problem der Verschwendung in der variantenreichen Kleinserienproduktion mithilfe der etablierten Methoden der Lean Production zu untersuchen.

Bei hoher Variantenvielfalt und zu meist geringer Wiederholhäufigkeit pro Variante kann es je Variante zu einer stark schwankenden Nachfrage kommen, die über alle Varianten die Kapazitätsanforderungen an die Produktion beschreibt. Die Folge sind erhebliche Stillstandzeiten der Anlagen durch vermehrte Umrüstvorgänge zwischen den Varianten. Um am Markt trotzdem eine möglichst kurze Lieferzeit garantieren zu können, hat sich im Rahmen der Lean Production die Produktionsnivellierung (Heijunka) als Methode der Produktionsplanung bewährt.

In Bild 1 sind die Grundbausteine des Toyota Produktionssystems dargestellt. Heijunka bildet dabei eine wichtige Basis für ein schlankes Pro-

In der variantenreichen Kleinserienproduktion stellt die Optimierung der Kapazitätsauslastung in der Produktion ein ungelöstes Problem

Bild 1: Die Grundbausteine des TPS [1].



Kontakt:

Universität Dortmund
Lehrstuhl für Arbeits- und
Produktionssysteme
Leonhard-Euler-Straße 5
44227 Dortmund
Tel.: 0231 / 755-5768
E-Mail: birkmann@
aps.mb.uni-dortmund.de

duktionssystem. Auf diese Weise wird die Produktion strukturiert und die Gefahr einer Überlastung durch chaotische Auftragseingabe so weit wie möglich reduziert. Der erreichte Ausgleich des Arbeitspensums dient als Grundlage für weitere bewährte Methoden der Lean Production. Dies sind die Standardarbeit und Kanban.

Die Grundidee der Nivellierung basiert darauf, innerhalb eines festgelegten Intervalls jedes Produkt bzw. jede Variante zu produzieren. Die Intervalllänge sollte dabei möglichst kurz sein. Innerhalb jedes Intervalls werden die Produkte in der gleichen Reihenfolge produziert und somit die Produktionsmenge als auch der Produktionsmix geglättet.

Durch den Aufbau von Beständen an Endprodukten in Form von Supermärkten können Schwankungen des Markts innerhalb definierter Grenzen abgepuffert werden. Die eigene Produktion kann jedoch durch die regelmäßige Fertigung jedes Produkts beruhigt betrieben werden. Zugleich bietet die Produktionsnivellierung den Vorteil, dass die vorgelagerten Produktionsstufen durch die Regelmäßigkeit der Abrufe entlastet werden. Diese Entlastung kann wiederum zur Reduzierung der Puffergrößen zwischen den Produktionsstufen genutzt werden.

Auch wenn Heijunka ursprünglich für die Fertigung kleiner Stückzahlen vieler Modelle konzipiert wurde, übersteigt die heute in der Kleinserie häufig

geforderte Variantenvielfalt das Maß der Umsetzungsfähigkeit [2]. Viele der möglichen Produktvarianten in der Kleinserie werden mit so geringer Stückzahl nachgefragt, dass eine regelmäßige Produktion dieser Varianten nicht sinnvoll ist. Varianten kennzeichnen hier Gegenstände ähnlicher Form und/oder Funktion mit in der Regel hohen Anteilen an identischen Gruppen oder Teilen, welche in funktionellen oder strukturellen Merkmalsausprägungen voneinander abweichen [3].

Die größten Komplikationen bereitet die Variantenvielfalt der eigentlichen Fertigung und Montage [4]. Mengeneffekte, wie sie in der Massen- und Großserienfertigung anzutreffen sind, und daraus resultierende Rationalisierungspotenziale werden angesichts der geringen Losgröße selten erreicht. Des Weiteren führen unterschiedliche Arbeitsfolgen und -dauern einzelner Varianten zu wechselnden Engpässen und Auslastungsschwankungen im Produktionsbereich [4]. Diese zu vermeiden, ist eines der Ziele der Produktionsnivellierung, welches die Erfordernis einer Transformation dieses Konzepts verstärkt.

Anwendung des Nivellierungskonzepts in der variantenreichen Kleinserie

Für die Umsetzung des vorgestellten Nivellierungskonzepts in der variantenreichen Kleinserie ist die Schaffung

einiger Rahmenbedingungen erforderlich. Toyota verzichtet auf große Lose, um Flexibilitätsvorteile auszunutzen und gleichmäßige Auslastungen von Mensch und Maschine umzusetzen [5]. In der Kleinserienfertigung stellt die Umstellung auf kleine Losgrößen meist kein größeres Problem dar. Allerdings lassen sich häufig wechselnde Serien bei geringer Auflagenhöhe nur durch minimale Rüstzeiten wirtschaftlich realisieren.

Neben diesen Gemeinsamkeiten bestehen jedoch auch zahlreiche Differenzen. Die Pull-Fertigungssteuerung und das Kanban-Prinzip sind zwei eng mit der Nivellierung verbundene Methoden [6]. Untersuchungen bzgl. der Einsetzbarkeit von Kanban in der Kleinserie besagen, dass lediglich im Rahmen einer standardisierten Variantenfertigung eine wirtschaftliche Realisierung möglich ist [7]. Eine Bedingung für die Transformation von Heijunka auf die variantenreiche Kleinserie ist somit die Verwendung einer begrenzten Anzahl an Bauteilen bis zu einer bestimmten Fertigungsstufe.

Rein kundenindividuelle Varianten, welche jeweils nach Auftragseingang separate Konstruktionstätigkeiten erfordern, lassen allerdings keine Vorkhaltung von Pufferbeständen zu [7]. In der variantenreichen Kleinserie lässt sich die Fertigung solcher Erzeugnisse nicht gänzlich vermeiden. Da eine Umsetzung von Kanban in diesen Fällen nicht möglich ist, bietet sich eine

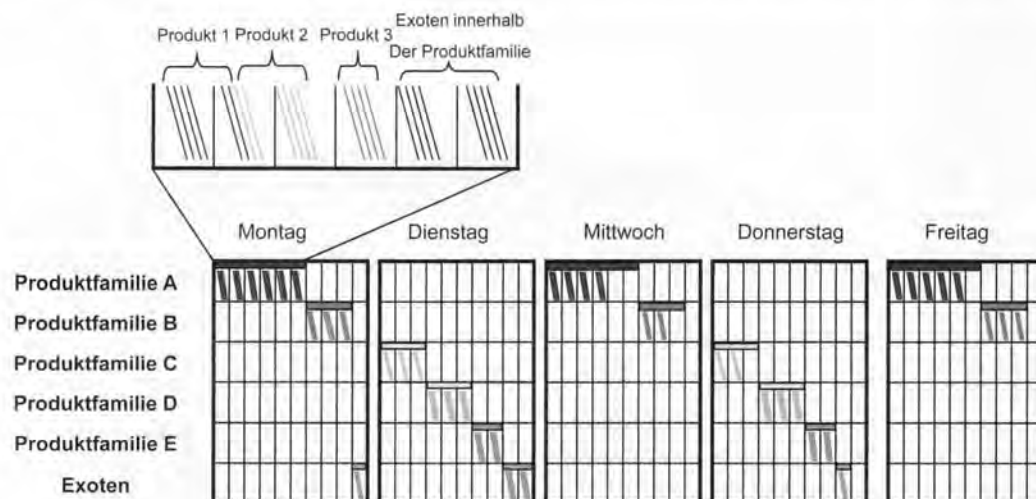


Bild 2: Nivellierung auf Produktfamilien-Ebene mithilfe eines Heijunka-Boards [Quelle: Robert Bosch GmbH]

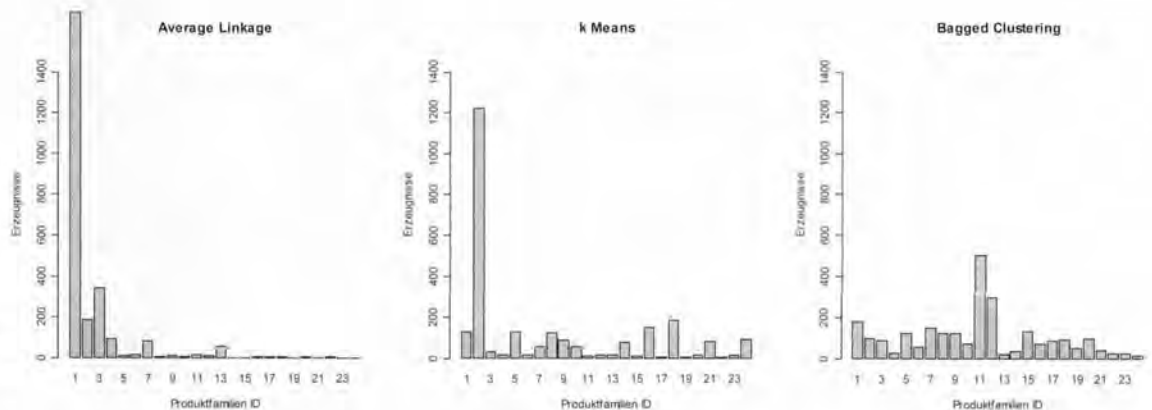


Bild 3: Verteilung der 2549 Produkte auf 24 Familien.

unabhängige Herstellung dieser Güter in separaten Fertigungszellen oder in vorab speziell dafür geplanten Zeitfenstern an.

Konzept der Nivellierung auf Basis von Produktfamilien

Nachdem nun die allgemeinen Randbedingungen für die Nutzung einer Produktionssteuerung nach dem Nivellierungskonzept dargestellt wurden, wird im Folgenden die Anwendung der Gruppentechnologie (GT) zur Umsetzung erläutert.

Die Gruppentechnologie beschäftigt sich mit dem Erkennen und Finden ähnlicher Objekte oder Prozesse und deren Gruppierung anhand ähnlicher Eigenschaften [8]. Die Formierung von Produktfamilien, welche in dem durchzuführenden Produktionsprozess nivelliert werden sollen, erfolgt aufgrund großer Ähnlichkeit der Prozessanforderungen einzelner Produkte. Werden Produkte zusammengefasst, welche ähnliche Anforderungen an Abläufe stellen, lassen sich Rationalisierungen realisieren, wodurch trotz einer enormen Variantenvielfalt eine effiziente und wirtschaftliche Produktion ermöglicht wird.

Für die Nivellierung können mithilfe der Gruppentechnologie mehrere Produkte so zusammengefasst werden, dass auf Basis dieser Produktfamilien nivelliert werden kann. Im Detail funktioniert dies wie folgt: Zur Nivellierung werden die Produktfamilien über das gewählte Zeitintervall nach den

gewohnten Kriterien verteilt (Bild 2). Zur Produktion werden dann aus jeder Familie die Produkte gewählt, für die aktuell ein Auftrag vorliegt. Pro Zyklus wird somit nur eine Untermenge der Produkte aus jeder Produktfamilie tatsächlich produziert. Aus diesem Grund sollte innerhalb einer Produktfamilie die Rüstzeit zwischen den Produkten möglichst gering sein.

In der variantenreichen Kleinserienfertigung wird zur Realisierung einer wirtschaftlichen Fertigung und Komplexitätsreduzierung, neben kundenindividuell neu gestalteten Produkten, das Baukastenprinzip eingesetzt. Dieses stellt auch eine Voraussetzung für die Transformationsfähigkeit der Produktionsnivellierung auf die variantenreiche Kleinserie dar. Die unterschiedlichen Kompositionen einer begrenzten Anzahl an Komponenten führt zu einer großen Variantenzahl. Bei der Gruppierung wird sich dieser Sachverhalt zu Nutzen gemacht. Gruppieren werden Produkte, welche aus einem identischen Teilespektrum bestehen und somit ähnliche Stücklisten aufweisen.

Festlegung der Produktfamilien

Im Folgenden werden kurz die allgemeinen Arbeitsschritte zur Bestimmung von Produktfamilien mithilfe der Gruppentechnologie beschrieben. Angewendet wurde das Vorgehen in einem Produktionswerk der Robert Bosch GmbH. Die Ergebnisse aus diesem Projekt wer-

den im Anschluss vorgestellt. Der Ablauf gliedert sich in vier Schritte:

- **Aufbereitung der Rohdaten:** Die Produktdaten, z.B. Stücklisten, werden in eine standardisierte Matrixform gebracht.
 - **Definition eines Ähnlichkeitsmaßes:** Mit dem Ähnlichkeitsmaß wird die Ähnlichkeit der einzelnen Produkte zueinander berechnet. Die Auswahl des Maßes ist abhängig vom Verwendungszweck der Nivellierung und vom Skalenniveau der Datenbasis. Die Ergebnisse dieses Schritts werden in einer Distanzmatrix abgelegt.
 - **Durchführung der Clusteranalyse:** Verschiedene Verfahren der Clusteranalyse werden auf ihre Anwendbarkeit untersucht. Dabei ist zu ermitteln, welcher mathematische Algorithmus auf den gegebenen Daten die besten Familien für die Nivellierung bildet. Hierfür werden mit einer Auswahl von Verfahren Produktfamilien gebildet.
 - **Interpretation der Cluster:** Im letzten Schritt werden die berechneten Produktfamilien auf Basis unterschiedlicher Kriterien bewertet und somit ein Verfahren bzw. die Parameter für ein Verfahren ausgewählt. Die Bewertungskriterien können die berechenbare Homogenität der Produktfamilien aber auch der Erfüllungsgrad praxisrelevanter Randbedingungen sein.
- Für die Aufbereitung der Rohdaten wurden zu Beginn des Projekts die

Stücklisten der 2549 zu nivellierenden Produkte in eine binäre Matrixform gebracht. Dabei wurden vier Bauteilklassen als relevant identifiziert.

Für den Vergleich der Stücklisten wurde das Ähnlichkeitsmaß von Jaccard für binäre Daten gewählt [9]. Die Distanzmatrix wurde dabei nicht nur auf Basis der Stücklisteninformationen berechnet, auch das Segmentierungskriterium Bearbeitungszeit erwies sich als sinnvoller Ansatz, da in dem Produktionsprozess die Realisierung eines Fließprinzips angestrebt wird. Die einheitliche Taktung der Produkte einer Familie ermöglicht zum einen eine taktgebundene Anlieferung von den Komponenten, welche zur Fertigung in dieser Produktionsstufe erforderlich sind. Zum anderen werden die Fertigerzeugnisse im Anschluss an die Bearbeitung taktweise weitertransportiert. Als Ähnlichkeitsmaß für Zeitdaten wurde die euklidische Distanz gewählt. Auf Basis des Ähnlichkeitsmaßes von Jaccard und der euklidischen Distanz wurde schließlich über eine Gewichtung der beiden Matrizen eine „Gesamt-Distanzmatrix“ berechnet.

Die Clusteranalyse wurde dann mit bekannten hierarchischen Verfahren wie Complete, Average und Singel Linkage, aber auch mit der Methode nach Ward, k-Means oder sogar Self-Organizing Maps (SOM) durchgeführt.

Evaluiert wurden die einzelnen Verfahren mit dem C-Index [10]. Die Verfahren Average Linkage, K-Means und Bagged Clustering lieferten dabei auf den realen Daten der Robert Bosch GmbH die besten Ergebnisse. Außerdem wurde noch die gleichmäßige Verteilung der Produkte auf die Produktfamilien, eine Familienanzahl von 10 bis 30 und die praktische Interpretierbarkeit als Bewertungskriterium gewählt. In Bild 3 wurden mit jedem der drei besten Verfahren (nach C-Index) jeweils 24 Produktfamilien gebildet. Zu erkennen ist, dass die Produkte mit Bagged Clustering (rechts) am besten auf die Familien verteilt werden.

Im Anschluss an die Auswertung wurden allgemeingültige Regeln für die Einsortierung neuer Produkte in die gebildeten Familien abgeleitet. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass auch neue Produkte im Sinne der gebildeten Familien klassifiziert werden können. Die gebildeten Familien konnten nun für die Nivellierung, wie sie in Bild 2 beschrieben wurde, verwendet werden.

Zusammenfassung

Die Schaffung der Voraussetzungen für eine Transformation der aus der Serienproduktion bekannten Produktionsplanungsmethode Heijunka in die variantenreiche Kleinserie ist über die Bildung von Produktfamilien gelungen. Dabei kann die zur Gruppierung benötigte Datenbasis ohne größere zusätzliche Datenaufnahmen aus bestehenden Daten gewonnen werden. Es hat sich allerdings auch gezeigt, dass die so gewonnenen Familien durch erfahrene Produktionsplaner validiert werden müssen, da es nicht möglich ist sämtliche prozessrelevanten Informationen in den Eingangsdaten der Algorithmen zu kodieren. Außerdem ist es gelungen neue Produkte über die Ableitung von Klassifikationsregeln in die bestehenden Produktfamilien einzugliedern.

Literatur

- [1] Glenday, I.: Moving to Flow. In: IEE Manufacturing Engineer 84 (2005) 2, S. 20-23.
- [2] Ohno, T.: Das Toyota Produktionssystem. Frankfurt/Main 1993.
- [3] Firchau, N.L., Franke, H.-J., Huch, B., Menge, M.: Variantenmanagement: Variantenvielfalt in Produkten und Prozessen erfolgreich beherrschen. In: Firchau, N.L., Franke, H.-J., Huch, B., Hesselbach, J. (Hrsg.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. München 2002.
- [4] Hesselbach, J., Menge, M.: Methoden der Variantenbeherrschung in der Produktion. In: Firchau, N.L., Franke, H.-J., Huch, B., Hesselbach, J. (Hrsg.): Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. München 2002.
- [5] Becker, H.: Phänomen Toyota - Erfolgsfaktor Ethik. Berlin 2006.
- [6] Lödding, H.: Verfahren der Fertigungssteuerung. Berlin 2005.
- [7] Zäpfel, G., Hödlmoser, P.: Kanban-Konzept bei Variantenfertigung. In: Zeitschrift für Betriebswirtschaft 62 (1992) 4, S. 437-457.
- [8] Vajna, S.: Gruppentechnologie und CIM. In: CIM 5 (1992) 6, S. 4-11.
- [9] Steinhausen, D., Langer, K.: Clusteranalyse. Einführung in Methoden und Verfahren der automatischen Klassifikation. Berlin 1977.
- [10] Hubert, L.J., Levin, J.R.: A General Statistical Framework for Assessing Categorical Clustering in Free Recall. In: Psychological Bulletin 83 (1976) 6, S. 1072-1080.

Schlüsselwörter:

Gruppentechnologie, Lean Production, Heijunka, Produktfamilien, variantenreiche Kleinserie

Using a Group Technology Approach to Level a Low Volume and High Mix Production

Regarding the optimisation of capacity utilisation the increasing product diversity has been an unsolved problem in job lot production for a long time. State of the art for solving such problems is the concept Heijunka, which means "levelled production". The application of group technology offers the possibility to utilise this concept with regard to a low volume and high mixed production. In this context the characteristics of job lot production are investigated. Referring to these characteristics the concept Heijunka used in mass and serial production is adapted. The approach was applied in collaboration with Robert Bosch GmbH.

Keywords:

group technology, lean production, Heijunka, production levelling, low volume high mix