



Fabian Bohnen, Jochen Deuse

Produktionsnivellierung in der Kleinserienfertigung

Die Produktionsnivellierung gilt als Basiselement des Toyota Produktionssystems bzw. der Lean Production. Wesentliche Voraussetzungen für die erfolgreiche Umsetzung konventioneller Nivellierungsansätze sind eine begrenzte Produktvarianz in Verbindung mit verhältnismäßig verlässlichen Stückzahlprognosen und regelmäßigen Kundenabrufen. Aus diesem Grund ist gegenwärtig die Großserienfertigung das primäre Anwendungsgebiet der Produktionsnivellierung. Um die Potenziale einer nivellierten Fertigung auch für Kleinserienfertiger nutzbar zu machen, wurde am Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme der Technischen Universität Dortmund eine entsprechende Systematik entwickelt. Der nachfolgende Beitrag gibt einen Überblick der entwickelten Systematik.

1. Einleitung

Die Produktionsnivellierung (japan. Heijunka) stellt ein Basiselement des Toyota Produktionssystems bzw. der Lean Production dar [1]. Ziel der Produktionsnivellierung ist eine hinsichtlich Produktionsmengen und -mix harmonisierte Fertigung. Realisiert wird dies, indem Fertigungsaufträge und Kundenabrufe voneinander entkoppelt werden und das Produktionsvolumen gleichmäßig verteilt in kleinen Losen und in möglichst konstantem Mix gefertigt werden [2].

Im Rahmen konventioneller Nivellierungsansätze wird so jedes Produkt bzw. jede Produktvariante in einem sich zyklisch wiederholenden Muster gefertigt. Die Frequenz, in der sich dieses Muster wiederholt, spiegelt sich in der Kennzahl EPEI (Every Part Every Interval) wider [2].

Durch die Nivellierung werden die zur Verfügung stehenden Kapazitäten gleichmäßig ausgelastet, Variabilität in

der Produktion reduziert und es entsteht ein stabiler, planbarer Produktionsrhythmus [1]. Primäres Anwendungsgebiet der Produktionsnivellierung ist gegenwärtig die Großserienfertigung. Grund hierfür ist die dort in der Regel vorzufindende begrenzte Variantenvielfalt in Verbindung mit verhältnismäßig regelmäßigen Kundenabrufen, welche Voraussetzung für die erfolgreiche Anwendung konventioneller Nivellierungsansätze ist [3].

2. Systematik zur Nivellierung in der Kleinserienfertigung

Um die positiven Effekte einer nivellierten Produktion auch für die variantenreiche Kleinserienfertigung nutzbar zu machen, wurde am Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme der Technischen Universität Dortmund im Rahmen eines zweijährigen Forschungsvorhabens eine systematische Vorgehensweise entwickelt. Diese basiert auf Ansätzen zur Produktionsni-

vellierung, die im Bereich der Großserienfertigung bereits als Stand der Technik bezeichnet werden können, passt diese aber an die in der Kleinserienfertigung vorzufindenden Rahmenbedingungen an.

Statt einer Nivellierung auf Produktbasis, wie sie aus der Großserienfertigung bekannt ist, wird das zu nivellierende Produktspektrum in eine handhabbare Anzahl von Produktfamilien zerlegt. Aufbauend darauf wird ein Nivellierungsmuster auf Produktfamilienbasis generiert, in dem ausgewählte Produktfamilien in einem sich zyklisch wiederholenden Intervall gefertigt werden. Analog zur Nivellierung in der Großserie wird die Länge dieses Intervalls als EFEI-Wert bezeichnet (Every Family Every Interval). Die entwickelte Vorgehensweise setzt sich aus vier aufeinander aufbauenden Schritten zusammen (vgl. Bild 1), die nachfolgend detaillierter beschrieben werden.

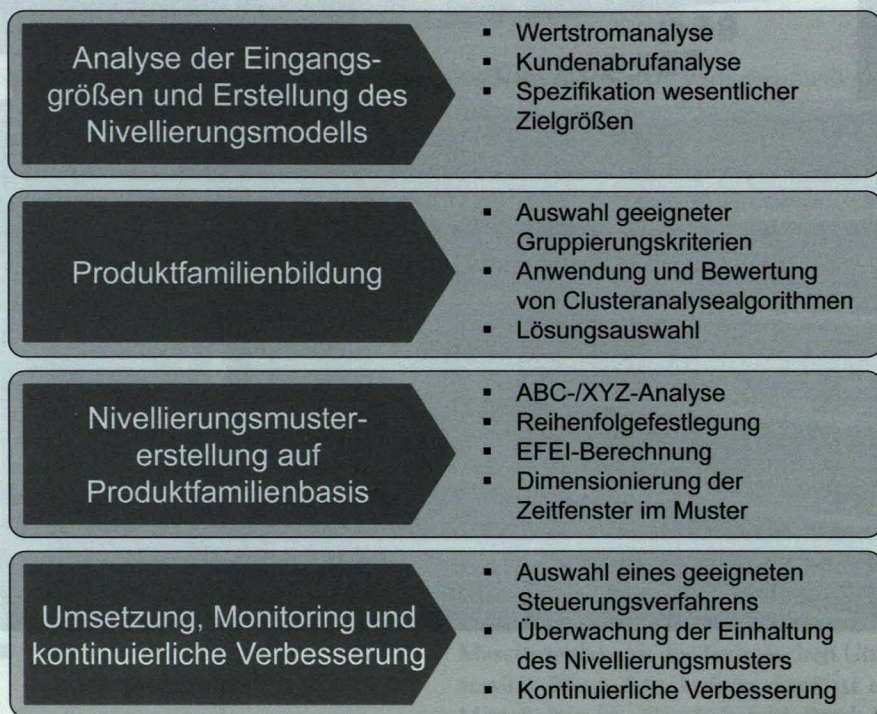


BILD 1: SYSTEMATISCHE VORGEHENSWEISE ZUR PRODUKTIONSNIVELLIERUNG IN DER VARIANTENREICHEN KLEINSERIENFERTIGUNG

2.1 Analyse der Eingangsgrößen und Spezifikation des Nivellierungsmodells

Die zentrale Basis der entwickelten Vorgehensweise bildet eine detaillierte Wertstromanalyse. Diese ermöglicht u. a. die transparente Visualisierung von Material- und Informationsflüssen im Ist-Zustand und die Entwicklung eines verbesserten Soll-Zustands. Darüber hinaus können mit Hilfe der Wertstromanalysemethodik Engpässe im Wertstrom identifiziert werden, die mögliche Ansetz- bzw. Einsterungspunkte für eine Nivellierung darstellen.

Ergänzt wird die Wertstromanalyse durch eine Kundenabrufanalyse. Aufbauend auf den Erkenntnissen aus Wertstrom- und Kundeabrufanalyse werden im sog. Nivellierungsmodell wesentliche Zielgrößen spezifiziert. Hierbei werden u. a. der angestrebte Umfang der Nivellierung (bspw. 80% der Gesamtkapazität) sowie Richtgrößen hinsichtlich des Detaillierungsgrades der Nivellierung (bspw. Nivellierung auf Stunden-, Schicht- oder Tagesbasis) festgelegt [4].

2.2 Produktfamilienbildung

Mit der Produktfamilienbildung wird das Ziel verfolgt, das variantenreiche Produktspektrum für die Nivellierung

in eine handhabbare Anzahl von Produktfamilien zu zerlegen.

Hierbei ist durch die Auswahl geeigneter Gruppierungskriterien sicherzustellen, dass sich Produkte und Produktvarianten einer Produktfamilie zusammen fertigen lassen, d. h. dass innerhalb der Produktfamilien nur minimale bzw. idealerweise keine Rüstzeiten anfallen.

Mögliche Kriterien, die sich vor dem Hintergrund dieser Zielsetzung zur Produktfamilienbildung eignen, sind bspw. Gleichteilverwendung bzw. Stücklistenähnlichkeit oder ähnliche Arbeitsinhalte [4].

Die konkrete Auswahl der Gruppierungskriterien erfolgt entsprechend des jeweiligen Anwendungsfalls.

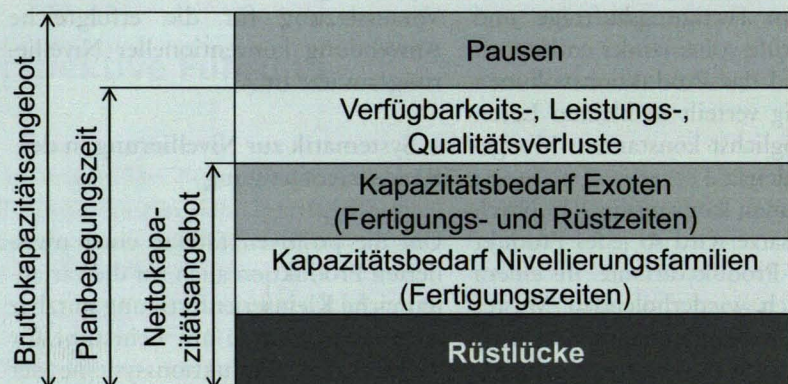
Die Produktfamilienbildung erfolgt mit Hilfe von Clusteranalyseverfahren, da mit einer großen Anzahl von Produkten und Produktvarianten zu rechnen ist, die anhand einer Vielzahl von Attributen zu gruppieren sind. Zudem ist vorab weder die genaue Anzahl der zu bildenden Produktfamilien bekannt, noch eine Zuordnung von Produkten und Produktvarianten zu Produktfamilien gegeben. Um eine möglichst optimale Aufteilung des Produktspektrums auf Familien zu gewährleisten, werden verschiedene Clusteranalysealgorithmen angewendet.

Die mit den jeweiligen Algorithmen erzeugten Lösungen werden anhand formaler und aus dem Anwendungsfall abgeleiteter Kriterien verglichen und bewertet. Hierzu wird ein sog. Wünschbarkeitsindex verwendet, der in diesem Fall als geometrisches Mittel von insgesamt vier Bewertungsfunktionen definiert ist [5].

In diesen Funktionen spiegeln sich wesentliche Anforderungen an die Produktfamilienbildung wider. Anforderungen, die auf diese Weise berücksichtigt werden, sind eine möglichst große Homogenität der Produktfamilien, eine begrenzte Partitionsgröße sowie die gleichmäßige Aufteilung des Produktspektrums auf die Familien in Verbindung mit einer möglichst geringen Anzahl sehr kleiner Familien.

2.3 Erstellung des Nivellierungsmusters

Der entwickelten Systematik liegt die Annahme zugrunde, dass die Nivel-



$$\text{Anzahl möglicher Nivellierungszyklen} = \frac{\text{Rüstlücke}}{\text{Rüstzeit für einen Nivellierungszyklus}}$$

BILD 2: RÜSTLÜCKEN- UND NIVELLIERUNGSZYKLUSBERECHNUNG (SCHEMATISCH)

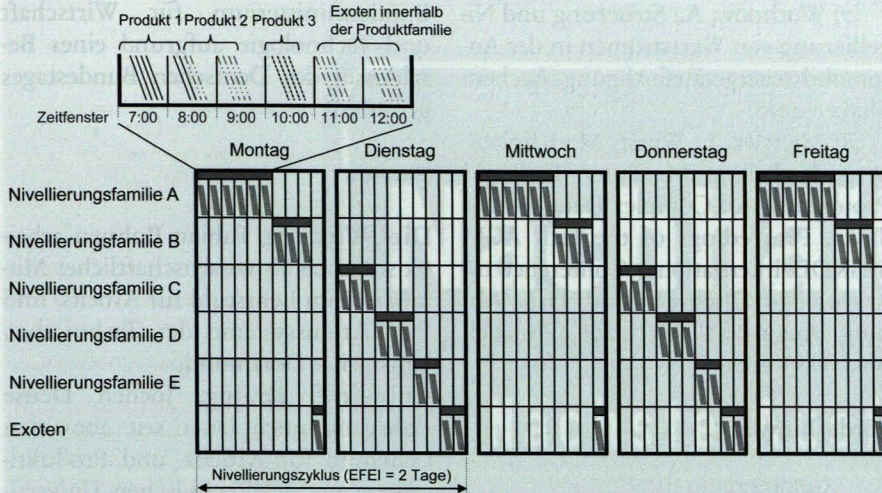


BILD 3: EXEMPLARISCHES NIVELLIERUNGSMUSTER AUF PRODUKTFAMILIENBASIS [6]

lierung an exakt einer Stelle im Wertstrom, idealerweise dem Engpass, ansetzt und ein Aggregat bzw. Arbeitsplatz diesen Engpass darstellt, den sämtliche Fertigungsaufträge einmal passieren. Wesentliche Schritte zur Nivellierungsmustererstellung sind eine ABC-/XYZ-Analyse auf Familienbasis, die Festlegung einer rüstzeitoptimalen Reihenfolge für die in das Muster einzuplanenden Familien, die Berechnung und Festlegung des EFEI-Wertes sowie die Berechnung der Zeitfenster im Nivellierungsmuster.

Die ABC-/XYZ-Analyse dient der Auswahl von Produktfamilien, die zyklisch in das Nivellierungsmuster eingeplant werden (nachfolgend als Nivellierungsfamilien bezeichnet). Hierzu werden Verbräuche aggregiert und eine volumenbezogene Segmentierung der Familien durchgeführt, die um eine Analyse der Verbrauchsstetigkeit ergänzt wird. Als Nivellierungsfamilien eignen sich vorwiegend Familien, die mit hoher Stetigkeit ein hohes Produktionsvolumen ausmachen, sog. Rennerfamilien. Alle weiteren Familien werden als Exotenfamilien im Nivellierungsmuster in Form eines pauschalen Zeitfensters berücksichtigt.

Nach der Auswahl der Nivellierungsfamilien wird für diese eine rüstzeitoptimale Reihenfolge festgelegt. Hierdurch wird die Gesamtrüstzeit bestimmt, die für einen Zyklus erforderlich ist, in dem alle Nivellierungsfamilien einmal gefertigt werden. Ein solcher Zyklus wird nachfolgend als Nivellierungszyklus bezeichnet.

Die Gesamtrüstzeit für einen Nivellierungszyklus wird für die EFEI-Berechnung genutzt. Hierzu wird die

Rüstlücke ermittelt, die sich aus dem Nettokapazitätsangebot abzüglich des Kapazitätsbedarfs für die Fertigung der Nivellierungs- und der Exotenfamilien berechnet (vgl. Bild 2). Der Quotient aus Rüstlücke und Gesamtrüstzeit für einen Nivellierungszyklus gibt die mögliche Anzahl von Nivellierungszyklen im Betrachtungszeitraum an. Hieraus ergibt sich ein theoretisch möglicher EFEI-Wert, der ggf. unter Berücksichtigung von Mindestlosgrößen anzupassen ist.

Basierend auf der EFEI-Bestimmung erfolgt die Dimensionierung der Zeitfenster im Nivellierungsmuster. Hierzu wird der für die jeweiligen Nivellierungsfamilien erforderliche Kapazitätsbedarf gleichmäßig auf die Nivellierungszyklen aufgeteilt, deren Anzahl sich wiederum aus dem zuvor festgelegten EFEI-Wert ergibt. Auf diese Weise entsteht ein Nivellierungsmuster, das - wie in Bild 3 exemplarisch dargestellt - visualisiert werden kann.

Im Rahmen der Nivellierungsmustererstellung besteht zudem die Möglichkeit, dass die verfügbare Rüstlücke durch das Nivellierungsmuster nicht vollständig ausgenutzt wird. In diesem Fall kann die verbleibende Rüstlücke

genutzt werden, indem große Zeitfenster im Nivellierungsmuster geteilt und Nivellierungsfamilien mehrfach in einem Nivellierungszyklus gefertigt werden.

2.4 Umsetzung

Im Rahmen der Umsetzung werden Fertigungsaufträge entsprechend der aktuellen Auftragslage den Produktfamilien zugeordnet und in das Nivellierungsmuster eingeplant. Darüber hinaus bedarf es unter Berücksichtigung der jeweils vorliegenden Rahmenbedingungen ggf. der Auswahl eines Steuerungsverfahrens. Verfahren, die sich grundsätzlich in Verbindung mit einer Produktionsnivellierung eignen, sind das Kanban- oder das Conwip-Verfahren [7]. Ein weiterer Aspekt der Umsetzung ist die Überwachung der Einhaltung des Nivellierungsmusters und das Reagieren auf Abweichungen im Rahmen des kontinuierlichen Verbesserungsprozesses (vgl. Bild 4).

3. Zusammenfassung

Die zuvor beschriebene systematische Vorgehensweise ermöglicht es, die Methode der Produktionsnivellierung auch in der variantenreichen Kleinserienfertigung anzuwenden. Zur Unterstützung bei der Umsetzung wurden am Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme für die Produktfamilienbildung und die Nivellierungsmustererstellung prototypische DV-Werkzeuge entwickelt. Für die Produktfamilienbildung wird die Open-Source-Software RapidMiner genutzt [8].

Die Nivellierungsmustererstellung hingegen wurde in MS Excel programmiertechnisch umgesetzt. Die entwickelten DV-Werkzeuge wurden im Rahmen des Forschungsvorhabens mit realen Daten erfolgreich erprobt und werden zusammen mit dem Abschluss-

	Zielzustand	Istzustand	Abgleich Ziel- und Istzustand
EFEI Rennerfamilien	1 Tag	1 Tag	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/>
Fertigung Exoten	an fixen Tagen	an fixen Tagen	<input checked="" type="radio"/> <input type="radio"/>
Volumenschwankungen bei Rennerfamilien	< 10%	≈ 20%	<input type="radio"/> <input checked="" type="radio"/>

keine Abweichung Abweichung erkannt

BILD 4: MÖGLICHE KRITERIEN ZUR ÜBERWACHUNG DER EINHALTUNG DES NIVELLIERUNGSMUSTERS [4]

bericht voraussichtlich ab Januar 2011 frei verfügbar sein.

4. Literatur

[1] Liker, J.K.: The Toyota way. New York: McGraw-Hill, 2004.

[2] Lippolt, C.R.; Furmans, K.: Sizing of Heijunka-Controlled Production Systems with Unreliable Production Processes. Koch, Tomasz (Hrsg.): Lean Business Systems and Beyond. Boston: International Federation for Information Processing, 2008, S. 11-19.

[3] Slomp, J.; Bokhorst, J.A.C.; Germs, R.: A Lean Production Control System for High-Variety/Low-Volume Environments. Production Planning & Control 20 (2009) 7, S. 586-595.

[4] Buhl, M.; Bohnen, F.; Deuse, J.; Schneider, R.: Effiziente Kleinserienfertigung durch Produktionsnivellierung. Productivity Management 14 (2009) 4, S. 19-22.

[5] Weihs, C.; Szepannek, G.: Distances in Classification. LNAI (2009), Nr. 5633, S. 1-12.

[6] Deuse, J.; Birkmann, S.; Harms, T.: Einsatz der Gruppentechnologie zur Nivellierung in der variantenreichen Kleinserie. Industrie Management 23 (2007) 6, S. 45-48.

[7] Wuthnow, A.: Steuerung und Nivellierung von Wertströmen in der Automobilsteuergerätefertigung. Aachen: Shaker, 2010.

[8] Mierswa, I.; Wurst, M.; Klinkenberg, R.; Scholz, M.; Euler, T.: Rapid Prototyping for Complex Data Mining Tasks. Proceedings of the 12th ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, August 20 - 23, 2006, Philadelphia, USA 2006.

Förderhinweis

Gefördert durch:



**Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie**

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Das IGF-Vorhaben (15865 N/I) der Forschungsvereinigung Gesellschaft für Verkehrsbetriebswirtschaft und Logistik (GVB) e.V. wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung (IGF) vom

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

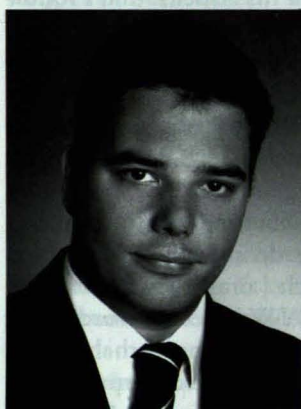
Autoren:

Dipl.-Wirt.-Ing. Fabian Bohnen arbeitet seit 2008 als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme der Technischen Universität Dortmund.

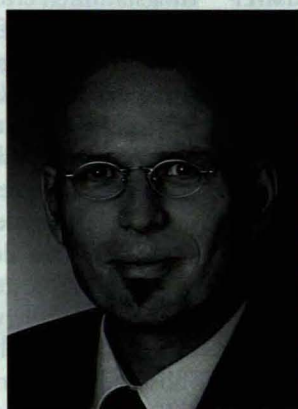
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Jochen Deuse (Jahrgang 1967) leitet seit 2005 den Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme der Technischen Universität Dortmund. Zuvor war er in leitender Funktion für die Bosch-Gruppe im In- und Ausland tätig.

Kontakt:

Technische Universität Dortmund,
Fakultät Maschinenbau
Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme
Leonhard-Euler-Str. 5
D-44227 Dortmund
Tel.: 0231 755 4844
Fax: 0231 755 2649
fabian.bohnen@tu-dortmund.de
www.aps.mb.tu-dortmund.de



**Dipl.-Wirt.-Ing.
Fabian Bohnen**
TU Dortmund
Lehrstuhl für Arbeits-
und Produktionssysteme



**Univ.-Prof. Dr.-Ing.
Jochen Deuse**
TU Dortmund
Leiter d. Lehrstuhls für
Arbeits- und Produkti-
onssysteme