

*Working Papers*



Technische Hochschule  
Ingolstadt

*Zukunft in  
Bewegung*



*Prof. Dr. Jürgen Schröder*

## ***Das modifizierte Heijunka***

### ***Notwendige Anpassungen der Methode des Produktionsausgleichs***

#### ***Abstract***

Die Produktionsnivellierung nach dem Vorbild der Heijunka-Methode bekommt sowohl in der wissenschaftlichen Betrachtung als auch der industriellen Anwendung eine zunehmende Bedeutung. Nur durch die konsequente Anwendung der Methodik bekommt ein PULL-System seine eigentliche Effizienz. Die Umsetzung der Produktionsnivellierung ist allerdings mit vielen Restriktionen verbunden. Es ist deshalb erforderlich, die Methode an die Gegebenheiten anzupassen. Sowohl im Produktentstehungsprozess als auch in der Anwendung der Methode sind Maßnahmen zu ergreifen, um die Einsparpotentiale nutzen zu können und die Komplexität der Steuerung der Lieferkette zu reduzieren.

Der vorliegende Artikel stellt die Methode vor, zeigt deren Voraussetzungen und Grenzen auf und gibt für notwendige Anpassungen Empfehlungen.

*„Es gibt nichts, was wir nicht schaffen, kompliziert zu machen! Es ist eine Kunst, es wieder zu vereinfachen!“*

*Unbekannte Quelle*

平  
準  
化

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	4
<b>2</b>	<b>Heijunka - Methode</b> .....	7
2.1	Wirkungsweise.....	8
2.2	Prinzip .....	11
2.2.1	Nivellieren und glätten.....	11
2.2.2	EPEI (Every Part Every Interval).....	13
2.2.3	ABC-/XYZ-Analyse.....	15
2.2.4	Kundentakt .....	16
2.2.5	Modifizierter Kanban im Heijunka-Konzept.....	17
2.2.6	Heijunka im Wertstrom.....	23
2.2.7	Overflow-Board .....	25
2.2.8	Produktionsmuster.....	26
2.2.9	Reihenfolgebildung und -optimierung.....	29
2.2.10	Heijunka – Box.....	31
2.2.11	Heijunka-Prozessbeschreibung .....	32
2.3	Bestände und Zyklusmenge.....	33
<b>3</b>	<b>Voraussetzungen und Grenzen der Methode</b> .....	34
3.1	Kleinserienfertigung .....	34
3.2	Schwankungen bei großen Mengenbedarfen .....	34
3.3	Einmal-Abrufe (CKD-Versand) .....	36
3.4	Gesamtanlageneffektivität (Original Equipment Effectiveness).....	36
3.5	Vorlauf .....	37
3.6	Ersatzteilerfertigung .....	38
3.7	Indexwechsel .....	39
3.8	Verpackungsarten des Kunden.....	39
3.9	Sonderprozesse (Wartung/ Musterproduktion) .....	40
3.10	Abtaktung und Verkettung.....	42
3.11	Fehlende Möglichkeit zum Bestandsaufbau .....	43
<b>4</b>	<b>Empfohlene Anpassungen</b> .....	44
4.1	Kanban für Kaufteile in der Produktionsversorgung.....	44
4.2	Lieferanten-Kanban / Vendor Managed Inventory .....	46

4.3	Routenzug.....	46
4.4	Arbeitsplatzgestaltung.....	48
<b>5</b>	<b>Software-Lösungen.....</b>	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>Güte der Nivellierung.....</b>	<b>51</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>52</b>
	<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>54</b>

## Abbildungen

Abbildung 1:	Phasen der Heijunka-Methode.....	11
Abbildung 2:	Glätten und nivellieren der Produktion.....	13
Abbildung 3:	Beispiel einer Häufigkeitsverteilung ungeplanter Anlagenstillstände .....	19
Abbildung 4:	Zusammenhang zwischen Zyklusmenge, Sicherheits- und Schwankungsbestand .....	22
Abbildung 5:	Nachschubgesteuertes PULL-System .....	23
Abbildung 6:	Sequentielles PULL-System.....	24
Abbildung 7:	Beispiel Overflow-Board .....	25
Abbildung 8:	Beispiel der Anwendung des modifizierten Bauschuldverfahrens (priorisierte Gleichverteilung) .....	28
Abbildung 9:	Verschiebung der Startposition im Produktionsmuster.....	28
Abbildung 10:	Beispiel Übergabe an Heijunka-Box.....	31
Abbildung 11:	Beispiel einer Heijunka-Box.....	32
Abbildung 12:	Beispielhafte Prozessbeschreibung Heijunka (Nachschubgesteuertes PULL-System).....	32
Abbildung 13:	Beispiel einer Produktion vor und nach der Nivellierung .....	33
Abbildung 14:	Wirkungsweise der Produktionsnivellierung.....	8
Abbildung 15:	Zusammenhang Durchlaufzeit und Reaktionsfähigkeit bei Schwankungen des Bedarfes .....	10
Abbildung 16:	Auswirkungen von Erzeugnis-Varianten mit unterschiedlichen Verpackungen.....	40
Abbildung 17:	Ideale Arbeitsplatzgestaltung.....	48
Abbildung 18:	Beispiel einer im SAP ERP realisierten Heijunka-Lösung.....	49
Abbildung 19:	Nutzung von Pegging Informationen.....	50
Abbildung 20:	Beispielhafte Gegenüberstellung entscheidungsrelevanter Merkmale.....	51

## Formeln

Formel 1: Berechnung des durchschnittlichen Tagesbedarfes an Fertigerzeugnissen einer Anlagen-Produktfamilie pro Periode.....	12
Formel 2: Berechnung der Kennzahl EPEI (Every Part Every Interval) .....	13
Formel 3: Variationskoeffizient .....	15
Formel 4: Berechnung des Kundentaktes.....	16
Formel 5: Berechnung der Kanban-Anzahl.....	18
Formel 6: Berechnung des Sicherheitsbestandes anhand von Störzeiten .....	19
Formel 7: Einfache Erhöhung des Sicherheitsbestandes.....	20
Formel 8: Erhöhung des Sicherheitsbestandes um die maximale Abweichung vom Durchschnittswert .....	20
Formel 9: Erhöhung des Sicherheitsbestandes um die mehrfache Standardabweichung ...	21
Formel 10: Berechnung der Kanban-Anzahl bei Qualität sichernden Mindestlosgrößen .....	22
Formel 11: Berechnung eines Pitch .....	26

## Algorithmen

Algorithmus 1: Modifiziertes Bauschuldverfahren (priorisierte Gleichverteilung) .....	27
---	----

# 1 Einleitung

Die europäische Automobilindustrie befindet sich nach der sogenannten „zweiten Revolution in der Automobilproduktion“, der sich in den 1990er Jahren anschließenden „Lean“-Welle und den in den letzten Jahren erscheinendem Harbour-Report<sup>1</sup> mit seinen standardisierten Personalproduktivitätskennzahlen HPV<sup>2</sup>, EHPV<sup>3</sup> und MV<sup>4</sup> erneut vor großen Herausforderungen. Einmal mehr erlebt die Automobilbranche bereits seit geraumer Zeit einen starken strukturellen Wandel.<sup>5</sup> Der Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA) und OLIVER WYMAN beschreiben die aktuelle Situation in ihrer gemeinsamen Pressekonferenz am 13.12.2012 wie folgt:

„Zunehmende Modell- und Variantenvielfalt bei zugleich kürzeren Produktlebenszyklen, umfangreiche Modularisierungs- und Baukastenstrategien, hohe Dynamik beim Einsatz neuer Technologien im Auto, neue Entwicklungsschwerpunkte rund um Elektromobilität sowie starker Kostendruck und hohe Kapitalintensität haben die Zusammenarbeit von OEMs sowie Zulieferern nachhaltig verändert – und damit auch ihre Wertschöpfungsanteile.“<sup>6</sup>

Laut der Studie „FAST 2025 – Struktur der Automobilindustrie 2025“<sup>7</sup> wird im Produktionsbereich eine Verschiebung des durchschnittlichen Wertschöpfungsanteils der Zulieferer von 65 auf 71 Prozent erwartet.

Zunächst wurden in der ersten „Lean“-Welle als leicht umsetzbar erscheinende Elemente des Toyota-Produktionssystems kopiert. Nachdem anwendenden Unternehmen feststellen mussten, dass die Umsetzung ausschließlich ausgewählter Methoden nicht den versprochenen Erfolg brachte<sup>8</sup>, konzentrierte man sich auf die ganzheitliche Betrachtung des Systems.

Von vielen unbeachtet blieb, dass für die japanische Industrie bereits das „Post Lean Production“-Zeitalter aufgrund des demographischen Wandels und der zunehmenden Unzufriedenheit der Mitarbeiter seit den 90er Jahren begonnen hat. Laut NISHIYAMA sind dies<sup>9</sup>:

---

<sup>1</sup> The Harbour Report™ ist eine weltweit anerkannte Benchmark-Analyse zur Produktivität in der Automobilindustrie

<sup>2</sup> HPV (Hours per Vehicle): Diese Kennzahl gibt alle direkten und indirekten Personalaufwendungen mit definierter Fertigungstiefe in einer Fabrik zur Herstellung eines Fahrzeuges an.

<sup>3</sup> EHPV (Engineered Hours per Vehicle): Diese Kennzahl EHPV misst den konstruktivbedingten Arbeitsinhalt eines Fahrzeuges

<sup>4</sup> MV (Manufacturing Variable): Diese Kennzahl misst den nicht konstruktiv bedingten Arbeitsinhalt eines Fahrzeuges

<sup>5</sup> WYMAN, O.; VDA [2012]: GEMEINSAME PRESSEINFORMATION VON OLIVER WYMAN UND VDA zur Studie „FAST 2025 - Future Automotive Industry Structure vom 13.12.2012, S. 1

<sup>6</sup> a.a.O.

<sup>7</sup> vgl. Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA) [2005]: Band 45: FAST 2025 - Future Automotive Industry Structure, Berlin 2012

<sup>8</sup> vgl. Liker, J. K. [2004]: The Toyota Way. McGraw-Hill 2004, S. 13

<sup>9</sup> Nishiyama, T. [2006]: Betriebliche Weiterbildung für industrielle Arbeiter in Japan - Produktionsmanagement und Qualifikationsformen in der japanischen verarbeitenden Industrie. Erschienen in: HAAK, René (Hg.):

- Lean Balance und Restrukturierung im Produktionsmanagement,
- Auflockerung der wirtschaftlichen Verbundgruppen im Unternehmen und Anpassungen der Betriebsorganisation sowie
- die Abflachung der Positionshierarchie, der Auflockerung der bisherigen Verschlankung und die partielle Humanisierung der Arbeit in der Arbeitsorganisation.

Seit Anfang der Jahrtausendwende entwickelten die europäischen Unternehmen verstärkt ihre eigenen Produktionssysteme. Nahezu alle in den letzten Jahren so entstandenen Systeme basieren auf den elementaren Säulen „Takt“ – „Flow“ – „Pull“ – „Perfektion“. Hierbei steht

- „Takt“ für die Ausrichtung aller Prozesse am Kundentakt,
- „Flow“ für das Fließen des Materials mit geringsten Beständen,
- „Pull“ für ein verbrauchsorientiertes Ziehen des Materials und
- „Perfektion“ für einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess.

Diese elementaren Säulen werden von einem Fundament der grundlegenden Methoden getragen. Fast alle Modelle verfügen neben der „Standardisierung“ und der „Eliminierung von Verschwendung“ über die „Glättung und Nivellierung der Produktion“ als grundlegende Voraussetzungen.

Die nivellierte Produktion, das sogenannte Heijunka<sup>10</sup>, ist zwingend notwendig, um eine gleichmäßige Auslastung in allen Fertigungsstufen der unternehmensübergreifenden Wertschöpfungskette zu erreichen. Ohne Einführung dieser Methode ist eine Harmonisierung des Produktionsflusses bei minimalen Beständen nicht möglich.<sup>11</sup>

Gerade Zulieferunternehmen (1st- und 2nd-tier) haben sich bisher kaum überwinden können, diese Methode zu implementieren. Die Begründung des Managements liegt oftmals in der erforderlichen Abtaktung der Prozessschritte, welche i.d.R. höhere Investitionen in Anlagen erfordern. Erfahrungen zeigen, dass kaum ein Unternehmen die zu erwartenden Einsparungen über die Laufzeit eines Projektes bei Einführung einer Produktionsnivellierung kalkuliert.

Einige der zu nennenden Kosteneinsparungspotentiale sind:

- Geringere logistische Aufwendungen,
- Flächengewinn für weitere Wertschöpfung durch geringere Bestände an unfertigen Erzeugnissen im Prozess<sup>12</sup>,

---

Arbeitswelten in Japan. München: Ludicum, S.181-219 (= Japanstudien - Jahrbuch des Deutschen Instituts für Japanstudien; 18), S. 213

<sup>10</sup>Heijunka (jap. 平準化) wortwörtlich übersetzt „Nivellierung“, in japanischen Produktionskonzepten wird der Begriff als „nivellierte Produktion“ verwendet.

<sup>11</sup> vgl. Dickmann, P. (Hrsg.) [2009]: Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen. 2. akt. und erw. Aufl., Berlin Heidelberg 2009, S. 248f.

<sup>12</sup> Anmerkung des Autors: An dieser Stelle sei angemerkt, dass die Kennzahl „Umsatzrendite pro Quadratmeter vorhandener Produktionsfläche“ deutlich aussagefähiger ist als die der reinen „Kosten pro Quadratmeter Produktionsfläche“.

- Nutzung von Einkaufspotentialen durch kontinuierliche und gleichmäßige Abrufe bei den Lieferanten mit den damit verbundenen Bestandsreduzierungen,
- kürzere Durchlaufzeiten und die damit verbundene Reaktionsfähigkeit auf Störungen zu reagieren, und
- Reduzierung der Komplexitätskosten.

Hingegen werden Anlagen mit hohen Investitionsvolumen mit immer mehr unterschiedlichen Projekten geplant und zeitweise auch überplant, um eine möglichst hohe Auslastung bei niedrigen Investitionen zu erhalten. Die Produktion im Kundentakt wird hierdurch nahezu unmöglich. Eine nach der Festlegung des Anlagenkonzeptes erforderliche Änderung zur Implementierung einer Produktionsnivellierung ist nur mit hohen Aufwendungen und Kompromissen möglich. Der Nivellierungsansatz muss folglich bereits im Produktentstehungsprozess verankert werden. Das Konzept der „fertigungsgerechten Produktgestaltung“ muss diesem Ansatz Rechnung tragen und bekommt somit eine hohe Bedeutung für Entwicklung, Konstruktion und Fertigungsplanung. Als Konsequenz bleibt festzuhalten, dass das Heijunka-Prinzip nicht von heute auf morgen eingeführt werden kann, sondern dass es sich um eine strategische Unternehmensentscheidung handelt, die eine lange Übergangsphase mit konsequenter Durchsetzung erfordern kann.

Das Zukunftsprojekt Industrie 4.0<sup>13</sup> der Bundesregierung hat das Ziel, eine intelligente Fabrik (Smart Factory) wertschöpfungsorientiert und unternehmensübergreifend mittels technischer Möglichkeiten, Cyber-physische Systeme und dem Internet der Dinge, zu gestalten. Ein Handlungsfeld ist die „Beherrschung komplexer Systeme“.<sup>14</sup> Ein Ansatz, der in der wissenschaftlichen Diskussion nicht vernachlässigt werden sollte, ist nicht nur die Abbildung der Realität, sondern auch die sinnvolle Anpassung der Prozesse. Die Implementierung einer nivellierten Produktion in einem Wertschöpfungsnetzwerk nach dem Vorbild der Heijunka-Methode kann einen wesentlichen Beitrag zur Komplexitätsreduzierung leisten. Dies gilt auch für die erforderlichen IT-Systeme.

In dem vorliegenden Working Paper wird zunächst das Heijunka-Prinzip in seiner ursprünglichen Form vorgestellt. Unter Berücksichtigung der vorhandenen Gegebenheiten in der Zulieferindustrie werden anschließend die Voraussetzungen und Grenzen der Methode aufgezeigt. Hieraus wird ein System entwickelt, welches die Möglichkeiten zu einer nachhaltigen Implementierung aufzeigt.

---

<sup>13</sup> Vgl. Bundesministerium für Bildung und Forschung [2013]: Zukunftsprojekt Industrie 4.0 vom 04.03.2013 <http://www.bmbf.de/de/19955.php> aufgerufen am 26.08.2013

<sup>14</sup> Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (Hrsg.) [2013]: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern - Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, April 2013, S. 46ff.



## 2 Heijunka - Methode

Heijunka ist die Methode zur nivellierten Produktionsplanung und -steuerung im Toyota Produktionssystem.<sup>15</sup> Die Methode verfolgt das Ziel, die vorhandene Produktionskapazität bestmöglich auszunutzen.<sup>16</sup> Hierbei werden Kundenabrufe von Fertigungsaufträgen so entkoppelt, dass das Produktionsvolumen in gleichbleibenden kleinen Losen in einer festgelegten Sequenz aufgeteilt wird.<sup>17</sup> Somit wird sichergestellt, dass es zu einer deutlichen Beruhigung der Produktion kommt. Diese ist zwingend erforderlich, um Elemente des Toyota-Produktionssystems, wie z.B. Kanban<sup>18 19</sup> effizient einzusetzen, da dieses Instrument der Pull-Steuerung bei starken Schwankungen sehr schnell an seine Grenzen stößt.<sup>20</sup>

Bei der Anwendung der Methode ist davon auszugehen, dass die festgelegte Sequenz ein Idealzustand ist. Auch im Toyota Produktionssystem kommt es zu Störungen oder Hindernisse, die ein Eingreifen in die ideal nivellierte und geglättete Produktionsreihenfolge erfordern.<sup>21</sup> Beispielhaft können dies Fehlteile oder Anlagenstörungen sein. Der Kerngedanke richtet sich am Erreichen des Idealzustandes aus. Kann die geplante Reihenfolge nicht eingehalten werden, so ist zu klären, warum dies nicht möglich ist. Probleme werden transparent. Die Heijunka-Methode ist folglich nicht nur ein Instrument, um die Produktion und die Lieferkette zu beruhigen, sondern auch eine Methode, um Probleme sichtbar zu machen, die es dann zu lösen gilt.<sup>22</sup>

Im Gegensatz zu herkömmlichen Systemen hat die Heijunka-Methode nicht den geringsten Bestand, sondern eine gleichmäßige Auslastung der Produktion mit kurzen Durchlaufzeiten zum Ziel. Die Methode wirkt genau entgegengesetzt zum Peitscheneffekt<sup>23 24</sup> und reduziert die Durchlaufzeit dramatisch. Die Bestände schwanken, um die Produktion zu beruhigen und nicht umgekehrt. Erstaunlicherweise ist bei der Analyse in vielen Unternehmen folgender Sachverhalt festzustellen:

---

<sup>15</sup> Vgl. Veit, M. [2010]: Modelle und Methoden für die Bestandsauslegung in Heijunka-nivellierten Supply Chains, Dissertation, erschienen in: Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme des Karlsruher Instituts für Technologie, Band 74, Karlsruhe 2010, S. 20

<sup>16</sup> Vgl. Buch, F.; Deuse, J. [2011]: Herausforderungen der variantenreichen Fließmontage – TU Dortmund, erschienen in: Industrielle Montage, Eine Informationsschrift der Arbeitsgemeinschaft: Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme Prof. Dr. Deuse, TU Dortmund, Industrieberatung Montage Prof. B. Lotter, Oberderdingen, LP-Montagetechnik GmbH, Erlangen, K + S Anlagenbau GmbH, Lengenwang / Allgäu, Hans Pausch GmbH & Co KG, Erlangen; Ausgabe 1, 2011, S. 4

<sup>17</sup> a.a.O.

<sup>18</sup> Kanban (jap. *かんばん*) bedeutet „Karte“ und ist ein einfaches Instrument der Pull-Steuerung, um verbrauchtes Material wieder aufzufüllen. In diesem Zusammenhang wird oft das „Supermarkt-Prinzip“ genannt.

<sup>19</sup> Siehe [Kap. 2.2.5](#)

<sup>20</sup> vgl. Liker, J. K. [2009]: Der Toyota Weg, 6. leicht veränderte Aufl., München 2009, S. 172

<sup>21</sup> vgl. Rother, M.: Die Kata des Weltmarktführers: Toyotas Erfolgsmethoden, Frankfurt/Main 2009, S. 100f.

<sup>22</sup> ebda.

<sup>23</sup> vgl. Forrester, J. W. [1958]: Industrial Dynamics. A major breakthrough for decision makers. erschienen in: Harvard Business Review, 36 (1958), S. 37-66

<sup>24</sup> auch Forrester- oder Bullwhip-Effekt genannt

1. Die Schwankungen der Kundenbedarfe, insbesondere bei den Volumenartikeln, sind viel geringer sind als behauptet.
2. Die häufigen starken Schwankungen in der Produktion entstehen i.d.R. durch das eigene Produktionsplanungssystem, welches u.a. Losgrößen, Wiederbeschaffungszeiten und Anlagenauslastungen bei niedrigsten Beständen berücksichtigt.
3. Der Behauptung, dass mit Einführung der Heijunka-Methode die Bestände steigen werden, muss man eindeutig widersprechen. Zu hohe Sicherheitsbestände in allen Stufen, geringe Anlageneffektivität, zu große Lose, aufwendige und mit geringen Ressourcen ausgestattete Qualitätsprüfungen, als Folge starke Schwankungen bei den Bedarfen an Kaufteilen, usw. führen zu unnötig hohen Reichweiten.

Die Heijunka-Methode ist in sich logisch und einfach nachvollziehbar. Die Schwierigkeit besteht in der Umsetzung in den Köpfen und den Fertigungssteuerungen der bestehenden IT-Systeme.

## 2.1 Wirkungsweise

Die Heijunka-Methode ist ein ganzheitlicher unternehmensübergreifender Ansatz, der sich ausschließlich am Kundenbedarf orientiert. Eigentlich steht dieses Konzept im Widerspruch zur eigentlichen „Just-in-Time“-Philosophie. Es werden Bestände an Fertigerzeugnissen vorsorglich vorgehalten, um eventuelle Schwankungen aufzufangen. Um aber die Instrumente des Toyota-Produktionssystems wirklich effektiv und effizient einsetzen zu können, ist das Nivellieren und Glätten der Produktion unausweichlich.



Abbildung 1: Wirkungsweise der Produktionsnivellierung

Die wesentlichen Effekte sind dabei die Komplexitätsreduzierung, die Planbarkeit von abgestimmten, gleichmäßigen Produktionsprozessen und den daraus resultierenden gering schwankenden Anliefermengen der Lieferanten.

Die Fertigungssteuerung wird mittels der Methode wesentlich einfacher und vor allem transparenter. Material- und Informationsfluss sind deckungsgleich. Ein Eingreifen wird wesentlich seltener erforderlich als in herkömmlichen MRP-basierten Systemen. Damit reduzieren sich folglich auch Fehlentscheidungen, die zu Lieferunfähigkeit oder zu hohen Beständen führen können. Letztendlich reduziert sich der personelle Steuerungsaufwand erheblich. Betrachtet man den Aufwand einer Produktion im eingeschwungenen Zustand ohne Einsatz der Methode, so stellt man fest, dass ein nicht unerheblicher Aufwand in der Fertigungssteuerung auch für regelmäßig wiederkehrende Aufgaben betrieben wird. Gerade hier sollte der Aufwand minimiert und dafür stärker in Produktanlaufphasen investiert werden.

In den wertschöpfenden Fertigungsprozessen tritt durch die Nivellierung eine deutliche Beruhigung auf. Über das Heijunka-Board gegebene Fertigungsaufträge ändern sich in den Zyklen deutlich seltener. Die gleichbleibende Rüstreihenfolge kann über das Produktionsmuster so optimiert werden, dass Einrichter bereits weitere Vorgänge des Rüstens noch bei Betrieb der Anlage vorbereiten und somit die Dauer eines Rüstvorganges weiter reduzieren können. Einrichter – häufig auch Anlagenbediener genannt – werden nicht selten für jede einzelne Maschine eingesetzt. Die fachspezifischen Tätigkeiten, für die er ausgebildet und auch bezahlt wird, reichen i.d.R. nicht aus, um ihn voll auszulasten. Eine exemplarisch durchgeführte Analyse der Tätigkeiten bei zwei verschiedenen Unternehmen zeigte, dass weniger als 50% der zur Verfügung stehenden Arbeitszeit die notwendige Qualifikation erforderte. Mit einer entsprechenden Abstimmung der Produktionsmuster gleicher Anlagen lassen sich Einrichter-Teams bilden, die bei Störungen und vor allem bei Rüstvorgängen gleichzeitig an einer Anlage agieren. Dies führt folglich meistens zu einer deutlichen Beschleunigung der Beseitigung einer Störung und zu einer drastischen Verkürzung der Dauer eines Rüstvorganges.

Die Materialversorgung der einzelnen Produktionslinien erfolgt nicht selten über einen Transport-Kanban aus dem Kaufteile-Lager. Hierzu werden die Kanban-Kreisläufe entsprechend dimensioniert. Bei einem stark schwankenden Verbrauch, z.B. durch die Produktion große Lose, kann kurzfristig ein erhöhter Bedarf entstehen. Dieser hat zur Folge, dass eine höhere Anzahl an Kanban sich im Kreislauf befinden muss, um einen möglich Abriss in der Materialversorgung zu verhindern. Konsequenz hieraus ist dann folglich, dass der notwendige Platz an der Linie vorhanden sein muss, um alle Behälter unterzubringen. Durch die Nivellierung der Produktion kann sich die Anzahl benötigter Kanban und somit der Flächenbedarf reduzieren.

Bedeutender ist der Effekt einer Nivellierung auf die Lieferanten. Schnellläufer-Artikel unterliegen in herkömmlichen Systemen nicht selten starken Schwankungen bezogen auf Anlieferfrequenz und deren Mengen, also dem eigentlich wahrgenommenen Bull-Whip-Effekt. Ein typisches Symptom ist, dass der Lieferant den Spitzen nicht folgen

kann. Es kommt zu Teillieferungen und oftmals zu Fehlteilen in der Produktion. Ein erhöhter Dispositionsaufwand entsteht durch die individuelle Abstimmung zwischen dem, was der Lieferant tatsächlich liefern kann und dem, was tatsächlich benötigt wird, um die Produktion zu versorgen. Der Disponent wird zum „Teilejäger“. Erfahrungsgemäß erhöht dieser den Sicherheitsbestand für dieses Zulieferteil. Es soll damit verhindert werden, die ungewollte Feinsteuerung erneut durchführen zu müssen. Wird auf diese Weise keine befriedigende Lösung gefunden, so erfolgt eine Änderung des Produktionsplanes unter Berücksichtigung der eigenen Lieferfähigkeit zum Kunden.

Nicht selten wird bei einem aufgetretenen Teilemangel der Lieferant aufgefordert, seine Sicherheitsbestände anzuheben. I.d.R. reagiert der Lieferant selbst und erhöht seine Bestände, um einen Konflikt mit seinem Kunden zu verhindern. Die Nivellierung wirkt diesem Zustand entgegen. Wird das nivellierte Produktionsmuster eingehalten, so ergeben sich auch kaum schwankende Abrufe bzw. Bestellungen bei den zuliefernden Teile-Lieferanten. Es ist leicht nachvollziehbar, dass sich hier Kostensenkungspotentiale bzgl. eines sich in regelmäßigen Abständen gleichmäßigen Transportvolumens ergeben. Bei den Beständen und bei der Produktion des Lieferanten lassen sich ebenfalls Kosten reduzieren. Die Lieferzuverlässigkeit erhöht sich trotz gesunkener Bestände.

Insgesamt werden bei einer konsequenten Anwendung die Bestände in der gesamten Supply Chain reduziert. Grundsätzlich gilt, dass je früher ein Prozess gestartet werden muss, desto höher ist die Wahrscheinlichkeit einer Änderung des eigentlichen Bedarfes.

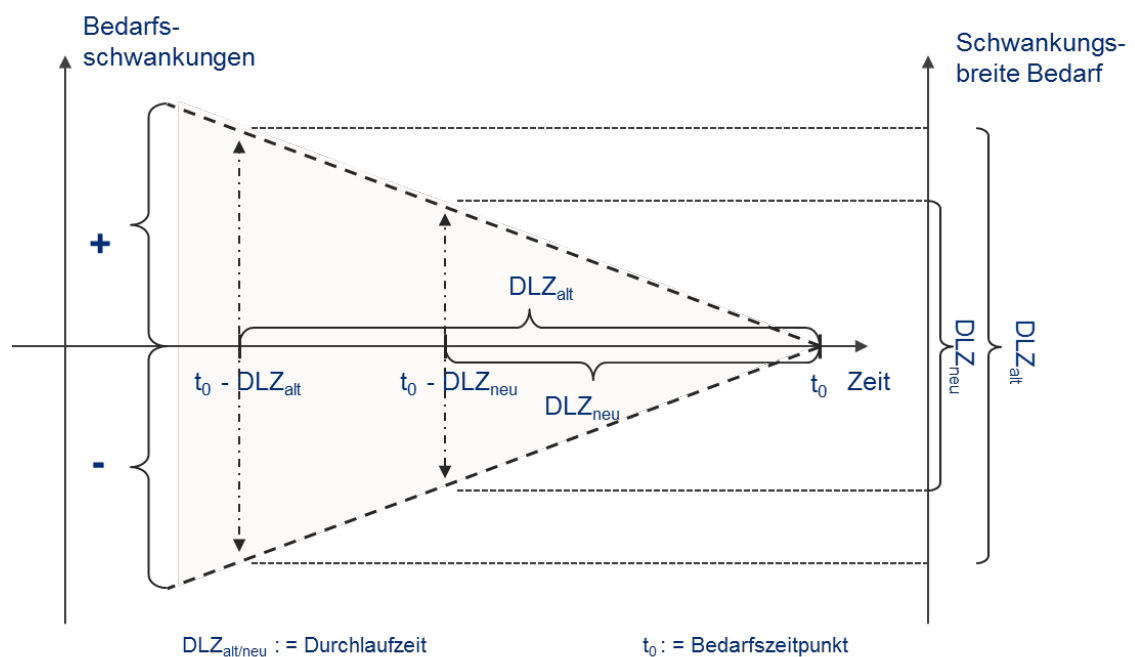


Abbildung 2: Zusammenhang Durchlaufzeit und Reaktionsfähigkeit bei Schwankungen des Bedarfes

Bestehen geringere Bestände in der Supply Chain, reduziert sich folglich auch die Durchlaufzeit. Die Nivellierung der Produktion reduziert Bestände im Prozess und auch bei den Lieferanten. Es muss also später mit der eigenen Produktion, aber auch der Produktion der Zukaufteile der Lieferanten begonnen werden. Auf Änderungen im Kundenbedarf kann folglich besser reagiert werden. Bei einer nicht nivellierten Produktion kommt es durch die Risiken einer erhöhten Nachfrage zu einem Zuschlag und zu einer nochmaligen Erhöhung des eigentlichen Bestandes an Zukaufteilen und unfertigen und fertigen Erzeugnissen.

Bei einer Einführung der Nivellierung muss das Verständnis vorherrschen, dass es sich um einen Prozess handelt, der sich über mehrere Monate strecken kann, bis die Wirkungen sichtbar werden.

## 2.2 Prinzip

Die Heijunka-Methode unterscheidet zwei Phasen.<sup>25</sup> Zunächst wird das System dimensioniert. In der operativen Phase wird die Fertigung gesteuert und kontrolliert.

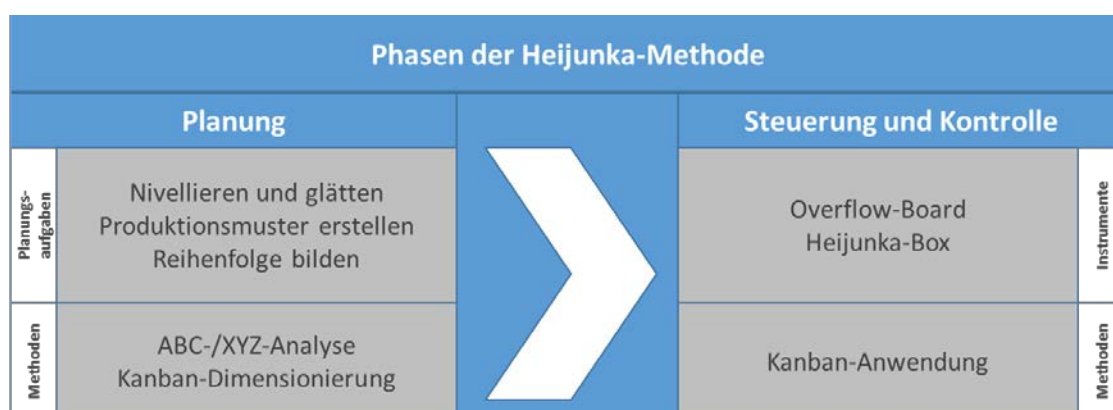


Abbildung 3: Phasen der Heijunka-Methode

### 2.2.1 Nivellieren und glätten

Zunächst werden alle Erzeugnis-Varianten definiert, die auf der zu steuernden Anlage produziert werden. Diese bilden ohne Berücksichtigung eventuell später notwendiger Anpassungen die Anlagen-Produktfamilie. Eine 1:1 Beziehung zwischen Anlage und Fertigungserzeugnis ist für die spätere Reihenfolgebildung notwendig. Existieren mehrere Anlagen für die Herstellung einer Erzeugnis-Variante, so sind diese jeweils direkt zuzuordnen.

Anhand der Bedarfe des Kunden werden die täglichen Produktionsmengen pro Erzeugnis-Variante der Anlagen-Produktfamilie für einen definierten Zeithorizont

<sup>25</sup> Vgl. Veit, M. [2010]: Modelle und Methoden für die Bestandsauslegung in Heijunka-nivellierten Supply Chains, Dissertation, erschienen in: Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme des Karlsruher Instituts für Technologie, Band 74, Karlsruhe 2010, S. 21f.

ermittelt, der sogenannten Nivellierung. Hierbei werden die vorhandenen Abrufe und die zugehörigen Vorschauen in Abhängigkeit der betrachteten Periode berücksichtigt.

Der durchschnittliche Tagesbedarf an Fertigerzeugnissen einer Anlagen-Produktfamilie pro Periode berechnet sich wie folgt:

$$B_T^{niv} := \frac{\sum_i \sum_t FE_{Anz}^i(t)}{\sum_t AT_{Prod}(t)}$$

*Formel 1: Berechnung des durchschnittlichen Tagesbedarfes an Fertigerzeugnissen einer Anlagen-Produktfamilie pro Periode*

mit

$B_T^{niv}$	durchschnittlicher Tagesbedarf an Fertigerzeugnissen der betrachteten Anlagen-Produktfamilie
$i$	Erzeugnis-Variante $i = 1, \dots, N$ einer definierten Produktfamilie
$t$	Periode $t = 1, \dots, T$
$\sum_i \sum_t FE_{Anz}^i(t)$	Anzahl aller zu liefernden Erzeugnis-Varianten pro Periode
$\sum_t AT_{Prod}(t)$	Anzahl der Produktionstage pro Periode

Danach werden die Tagesmengen der einzelnen Erzeugnis-Varianten in tägliche Produktionszyklen unterteilt, der sogenannten Glättung. Je höher die Anzahl der Zyklen ist, desto stärker wirkt die Glättung im gesamten Prozess. Durch die Bildung einer geeigneten, nicht unbedingt trivialen, Reihenfolge mit den erforderlichen Zyklus-Mengen pro Erzeugnis-Variante entsteht das Produktionsmuster.

Anzumerken sei an dieser Stelle, dass es sich um die Ideal-Reihenfolge handelt. In der Praxis werden immer wieder Eingriffe notwendig. Es ist zu hinterfragen, warum es zu dem notwendigen Eingriff gekommen ist und wie dies zukünftig verhindert werden kann.

### 1. Nivellieren

Unterteilen in Tagesmengen

MaterialNr	monatlich benötigte Stückzahl	Nivellierungsanweisung (20 Arbeitstage) zur Produktion der gleichen täglichen Stückzahl
A 123456	2000	täglich 100
B 123457	1600	täglich 80
C 123458	400	täglich 20

### 2. Glätten

Tagesmenge wird in weitere Teilmengen unterteilt

MaterialNr	Tagesproduktion	4 Produktionszyklen Tagesproduktion wird in 4 Teile eingeteilt
		täglich wird 4 x ein Produktionszyklus mit
A 123456	100	25 Stück
B 123457	80	20 Stück
C 123458	20	5 Stück
		durchlaufen

### 3. Erhöhung der Zyklenzahl

Häufigeres Heranziehen

MaterialNr	Tagesproduktion	Produktion mit hoher Zyklenzahl (mit 20 Zyklen)
		täglich wird 20x ein Produktionszyklus mit
A 123456	100	5 Stück
B 123457	80	4 Stück
C 123458	20	1 Stück
		durchlaufen

### 4. Anzustrebende Form

A - B - A - B - A - C - A - B - A - B

Abbildung 4: Glätten und nivellieren der Produktion<sup>26</sup>

## 2.2.2 EPEI (Every Part Every Interval)

Die Dauer eines sich wiederholenden Produktionsmusters wird durch die Kennzahl „Every Part Every Interval“, kurz EPEI, beschrieben. Diese ist ein Indikator für die Flexibilität der Produktion, bei dem Bearbeitungs- und Rüstzeiten ins Verhältnis zur verfügbaren Arbeitszeit unter Berücksichtigung der technischen Verfügbarkeit gesetzt werden. In Anlehnung an ERLACH berechnet sich die Kennzahl für eine Anlage wie folgt<sup>27</sup>:

$$EPEI := \frac{\sum_i BZ_i(t) + \sum_i RZ_i(t)}{Anl_{verf} \sum_t AZ(t)}$$

Formel 2: Berechnung der Kennzahl EPEI (Every Part Every Interval)

<sup>26</sup> Takeda, H. [2004]: Das synchrone Produktionssystem, 4. Auflage, Frankfurt a.M. 2004, S. 44 ff.

<sup>27</sup> Vgl. Erlach, K. [2010]: Wertstromdesign – Der Weg zur schlanken Fabrik, 2. aktualisierte Auflage, Berlin Heidelberg 2010, S. 73f.

mit

$BZ_i$	Bearbeitungszeit der Erzeugnis-Variante $i$
$RZ_i$	Rüstzeit
$i$	Erzeugnis-Variante $i = 1, \dots, N$
$t$	Periode $t = 1, \dots, T$
$\sum_t AZ(t)$	Arbeitszeit pro Periode, i.d.R. in Tagen
$Anl_{verf}$	technische Anlagenverfügbarkeit (ohne Rüstzeiten)

Je kleiner die Kennzahl EPEI ist, desto mehr Zyklen werden innerhalb einer Periode (Schicht, Tag bzw. Woche) durchlaufen. Ziel ist folglich, möglichst kleine Losgrößen mit minimalen Rüstzeitunterbrechungen zu erreichen. Hierdurch können kurze Durchlaufzeiten mit geringen Beständen und hohe Wertschöpfungsanteile erzielt werden.

Im Idealzustand entstehen keine Zeitverluste durch das Rüsten der Anlage, so dass die „Losgröße 1“ ohne Verlust an Ausbringungsmenge pro Zeiteinheit produziert werden kann. In diesem Fall nimmt die Kennzahl EPEI den kleinsten möglichen Wert an. Dies ist nur dann sinnvoll, wenn eine Einheit des Fertigerzeugnisses auch einer Verpackungseinheit entspricht. Ist dies nicht der Fall, so wird die minimale Losgröße durch die Menge der kleinsten Versandeinheit bestimmt.

Die Wirkung der Nivellierung und Glättung in mehrstufigen Fertigungsprozessen wird abgeschwächt, wenn die Zyklusmengen einer Erzeugnis-Variante zu einem Los innerhalb des Produktionsmusters zusammengefasst werden. Dies hat zwar eine Reduzierung der Rüstvorgänge zur Folge, führt aber in den vorgelagerten Prozessen wieder zu einer Verstärkung der Schwankungen.

Diejenigen Erzeugnis-Varianten, die aufgrund des geringen Bedarfes - bezogen auf eine Verpackungseinheit - nicht regelmäßig in einem Zyklus produziert werden können oder größeren Schwankungen in den einzelnen Bedarfsmengen unterliegen, werden als „Exoten“ bezeichnet. Für die Produktion der benötigten „Exoten“ werden unabhängig von deren Varianten feste Zeiten im Produktionsmuster definiert.

Eine Verbesserung der Kennzahl EPEI wird im Wesentlichen durch drei Maßnahmen erreicht:

- Erhöhung der Zyklenzahl durch Reduzierung der Losgrößen
- Reduzierung der Rüstzeiten vom letzten einwandfreien Stück der vorangegangenen Erzeugnis-Variante bis zum ersten einwandfreien Stück



der nachfolgenden durch Anwendung der Methode Single Minute exchange of Die<sup>28 29</sup>, kurz SMED, und

- Verbesserung der technischen Verfügbarkeit.

### 2.2.3 ABC-/XYZ-Analyse

Um festzustellen, welche Erzeugnis-Varianten der Anlagen-Produktfamilie für eine feste Einplanung in einem Zyklus geeignet sind, wird zunächst eine ABC-Analyse auf Basis der im Zeithorizont benötigten Mengen durchgeführt. Dabei werden die Mengen der einzelnen Erzeugnis-Varianten absteigend sortiert und in die Kategorien A (höchste Mengen), B (mittlere Mengen) und C (kleinere Mengen) geeignet unterteilt.<sup>30</sup> Es schließt sich eine XYZ-Analyse an, die die Schwankungen der Mengen der einzelnen Erzeugnis-Varianten innerhalb des Zeithorizontes ermittelt. Hierzu wird für jede Variante der Variationskoeffizient berechnet.<sup>31</sup>

Es gilt:

$$V_i = \frac{\sigma_i}{\bar{X}_i}$$

Formel 3: Variationskoeffizient<sup>32</sup>

wobei

$$\bar{X}_i = \frac{1}{M} \sum_j X_{i,j}$$

(arithmetisches Mittel)

$$\sigma_i = \sqrt{\frac{1}{N_i} \sum_j (X_{i,j} - \bar{X}_i)^2}$$

(Standardabweichung)

mit

$i$	Erzeugnis-Variante $i = 1, \dots, N_i$
$j$	Bedarfsposition $j$ der Erzeugnis-Variante $i$ mit $j = 1, \dots, M$
$X_{i,j}$	Bedarfsmenge der Erzeugnis-Variante $i$ an der Position $j$
$\bar{X}_i$	arithmetisches Mittel der Bedarfsmengen der Erzeugnis-Variante $i$
$\sigma_i$	Standardabweichung der Erzeugnis-Variante $i$

<sup>28</sup> Methode zum Werkzeugwechsel im einstelligen Minutenbereich, entwickelt von Shingo, S.

<sup>29</sup> Dillon, A. P.; Shingo, S. [1985]: A Revolution in Manufacturing: The Smed System: Single-minute Exchange of Die System, Stamford, Conn., 1985, S1 ff.

<sup>30</sup> vgl. Schulte, C. [2013]: Logistik - Wege zur Optimierung der Supply Chain, 6. überarb. Auflage, München 2013, S. 311 ff.

<sup>31</sup> ebda.

<sup>32</sup> ebda.

Erzeugnis-Varianten, die geringe Schwankungen, demnach einen geringen Wert des Variationskoeffizienten  $V_i$ , aufweisen, werden als X-Teile, diejenigen mit mittleren Schwankungen als Y-Teile und diejenigen mit starken Schwankungen als Z-Teile bezeichnet. Je größer der Variationskoeffizient ist, desto stärker schwankt die betreffende Erzeugnis-Variante. Es eignen sich folglich diejenigen Erzeugnis-Varianten besonders gut für eine Nivellierung und Glättung, deren Bedarfsmengen hoch und deren Schwankungen gering sind. Sollen Schwankungen über den Fertigwaren-Bestand aufgefangen werden, so gilt es zu entscheiden, welche Erzeugnis-Varianten fest in das Produktionsmuster eingehen und welche als Exoten definiert werden.

Es ist leicht nachzuvollziehen, dass stark schwankende Erzeugnis-Varianten mit hohen Bedarfsmengen die Bestände erhöhen, sofern diese in den Produktionszyklus regelmäßig aufgenommen werden. Erfahrungsgemäß ist dies der Ausnahmefall, kann aber nicht ausgeschlossen werden.

Bereits ab dem 2nd-tier<sup>33</sup> lässt sich feststellen, dass i.d.R. keine täglichen Bedarfe für die einzelnen Erzeugnis-Varianten vorliegen. Es ist deshalb in diesem Fall sinnvoll, die XYZ-Analyse nicht auf Tages- sondern auf Wochen-Bedarfen durchzuführen.

#### 2.2.4 Kundentakt

Der gesamte Prozess vom Wareneingang über die eigene Produktion bis hin zum Versand hat sich am Kundentakt zu orientieren. Somit kann sichergestellt werden, dass das Material fließt.<sup>34</sup>

Für die ausgewählten Erzeugnis-Varianten einer Anlagen-Produktfamilie wird der Kundentakt für eine definierte Periode (z.B. Monat oder Jahr) wie folgt ermittelt:

$$K_T := \frac{\sum_t PZ(t)}{\sum_i \sum_t FE_{Anz}^i(t)}$$

Formel 4: Berechnung des Kundentaktes<sup>35</sup>

wobei gilt:

$$PZ(t) := \begin{cases} 1 & \text{bei Produktion gem. Fabrikkalender} \\ 0 & \text{sonst} \end{cases}$$

<sup>33</sup> 2nd-tier entspricht dem produzierenden Unternehmen, welches sich in der Hierarchie in der 2. Stufe unterhalb des Herstellers für das Produkt für den Konsum befindet.

<sup>34</sup> vgl. Takeda, H. [2004]: Das synchrone Produktionssystem, 4. Auflage, Frankfurt a.M. 2004, S. 110f.

<sup>35</sup> Vgl. Erlach, K. [2010]: Wertstromdesign – Der Weg zur schlanken Fabrik, 2. aktualisierte Auflage, Berlin Heidelberg 2010, S. 47ff.

mit

$\sum_t PZ(t)$       Summe der verfügbaren Produktionszeiten innerhalb der Periode  $T$

$K_T$       Kundentakt (i.d.R. in der Dimension [sek])

$i$       Erzeugnis-Variante  $i = 1, \dots, N$

$t$       Periode  $t = 1, \dots, T$

$\sum_i \sum_t FE_{Anz}^i(t)$       Summe der zu liefernden Erzeugnisse pro Periode  $T$

Analog kann der Kundentakt  $K_T$  auch durch Division der täglichen Produktionszeit durch den durchschnittlichen Tagesbedarfes  $B_T^{niv}$  ermittelt werden.

Die kapazitive Auslegung der Anlagen orientiert sich am Kundentakt. Im Idealfall verfügen die Anlagen in den aufeinander folgenden Fertigungsschritten über genau die Ausbringungsmenge pro Zeiteinheit unter Berücksichtigung der Anlagenverfügbarkeit, die dem Kundentakt entspricht.

## 2.2.5 Modifizierter Kanban im Heijunka-Konzept

Jede produzierte Verpackungseinheit einer Erzeugnis-Variante ist mit einem Kanban<sup>36</sup> gekennzeichnet.

Für jede Erzeugnis-Variante ist ein in sich geschlossener Kanban-Kreislauf einzurichten. Exoten-Varianten sind mit einem sogenannten „Event-Kanban“ zu versehen. Unmittelbar vor der Verladung ist der Kanban anzunehmen und zur Nachproduktion einzusteuern. Der Kanban wird nach der Herstellung an das nachproduzierte Gebinde (Verpackungseinheit) angebracht. Anschließend wird das Gebinde in das Erzeugnis-Lager transportiert.

---

<sup>36</sup> Kanban (jap. *かんぱん*) bedeutet „Karte“ und ist ein einfaches Instrument der Pull-Steuerung, um verbrauchtes Material wieder aufzufüllen. In diesem Zusammenhang wird oft das „Supermarkt-Prinzip“ genannt.

Um die Anzahl der benötigten Kanban im Kreislauf zu ermitteln, wird i.d.R. folgende Formel, ggf. auch ohne Berücksichtigung der Reichweite einer Kanban-Einheit, verwendet:

$$X_{i,K} = \left[ \frac{\overline{B}_{i,T} \cdot (t_{i,W} + t_{i,Z}) \cdot (1 + s_i)}{M_{i,K}} \right]^+, \forall i = 1, \dots, N$$

mit

$$t_{i,Z} = \left( \frac{M_{i,K}}{\overline{B}_{i,T}} \right)$$

Formel 5: Berechnung der Kanban-Anzahl<sup>37</sup>

wobei

$X_{i,K}$	Anzahl der Kanbans pro Regelkreis der Erzeugnis-Variante $i$
$\overline{B}_{i,T}$	durchschnittlicher Bedarf an Teilen pro Periode der Erzeugnis-Variante $i$
$t_{i,W}$	Wiederbeschaffungszeit der Erzeugnis-Variante $i$
$t_{i,Z}$	Reichweite eines Kanban der Erzeugnis-Variante $i$
$s_i$	Sicherheitsfaktor der Erzeugnis-Variante $i$
$M_{i,K}$	Menge an Teilen pro Kanban der Erzeugnis-Variante $i$
$[ ]^+$	kleinste ganze Zahl $\geq X_{i,K}$

entsprechen.

Der Sicherheitsfaktor  $s_i$  wird i.d.R. geschätzt, u.U. auch durch Kunden vorgegeben. Es besteht allerdings auch die Möglichkeit, diesen teilweise zu berechnen. Hierzu wird eine Häufigkeitsverteilung über die ungeplanten Anlagenstillstände und deren Dauer erstellt. Anhand dieser ergibt sich die Aussage, dass nahezu alle Stillstände innerhalb einer bestimmten Zeit beseitigt werden können. Wird die Häufigkeit ungeplanter Anlagenstillstände gem. Abb. 2 zu Grunde gelegt, so ergibt sich, dass 95 % aller Stillstände bereits nach 60 Minuten und 99,9 % aller Stillstände nach 120 Minuten beseitigt wurden. Je nach Risikobereitschaft kann der Sicherheitsbestand  $s_i$  festgelegt werden.

---

<sup>37</sup> Vgl. Klug, F. [2010]: Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik Im Automobilbau, Springer Berlin Heidelberg 2010, S. 128

Es gilt:

$$s_i = \frac{D_i}{K_T \overline{B_{i,T}}}$$

Formel 6: Berechnung des Sicherheitsbestandes anhand von Störzeiten

wobei

- $s_i$  störungsbedingter Zuschlag der Erzeugnis-Variante  $i$   
 $D_i$  Dauer der ungeplanten Stillstände der Erzeugnis-Variante  $i$   
 $K_T$  Kundentakt

bedeuten.

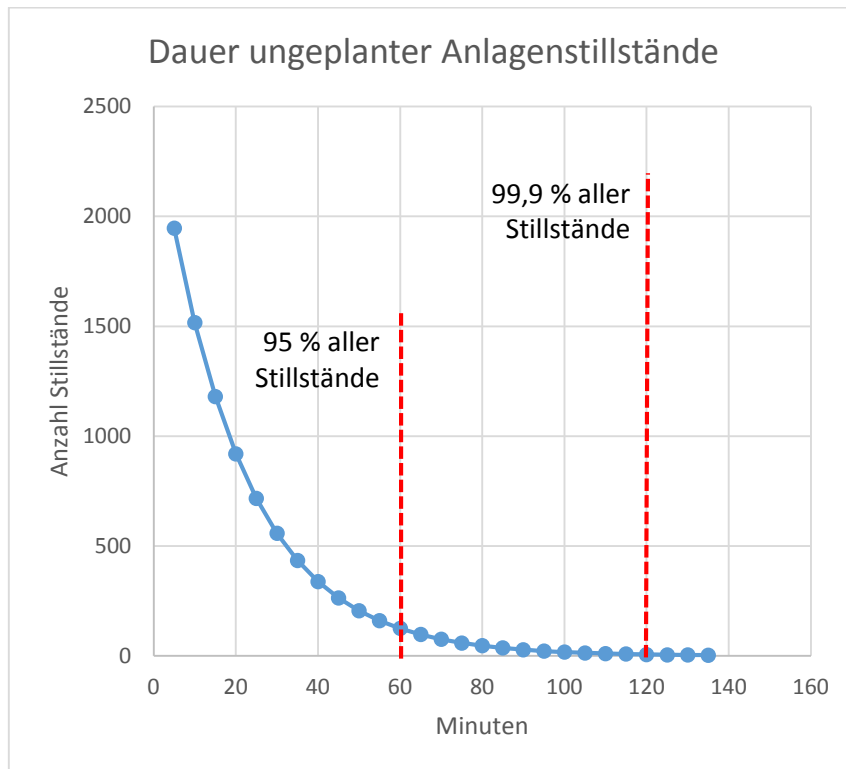


Abbildung 5: Beispiel einer Häufigkeitsverteilung ungeplanter Anlagenstillstände

Durchaus kann es sinnvoll sein, auch Fehlteile bei den aufzufangenden Störungen aufzunehmen.

Würde man für den Bedarf an Teilen einer Erzeugnis-Variante (keine Exoten) pro Periode  $\overline{B_{i,T}}$  den durchschnittlichen errechneten Bedarf ansetzen, besteht aufgrund über dem Durchschnitt liegender Bedarfe die Gefahr einer Lieferunfähigkeit. Um dem entgegenzuwirken, gibt es drei bekannte Möglichkeiten, den schwankenden Bedarf an Teilen einer Erzeugnis-Variante pro Periode anzupassen.

### Möglichkeit 1: Pauschale Erhöhung des Sicherheitsfaktors $s_i$

$$s_i^* = s_i + \mu_i \text{ mit } 0 \leq \mu_i \leq 1$$

*Formel 7 Einfache Erhöhung des Sicherheitsbestandes*

wobei

- $s_i^*$  Pauschal erhöhter Sicherheitszuschlag der Erzeugnis-Variante  $i$
- $\mu_i$  pauschaler Zuschlag für Schwankungen der Erzeugnis-Variante  $i$
- $s_i$  störungsbedingter Zuschlag der Erzeugnis-Variante  $i$

Durch die Erhöhung des Sicherheitsfaktors  $s_i$  um einen geschätzte Schwankungsbedarf  $\mu_i$  wird die Anzahl der benötigten Kanban erhöht. Dieses Vorgehen ist mit einer sehr hohen Ungenauigkeit und daher mit Risiko verbunden. Der Zuschlag  $\mu_i$  muss regelmäßig überprüft und, sofern erforderlich, nach oben oder unten angepasst werden.

### Möglichkeit 2: Ansatz des maximalen Bedarfes innerhalb der Periode

$$s_i^{**} = s_i + \delta_i$$

*Formel 8: Erhöhung des Sicherheitsbestandes um die maximale Abweichung vom Durchschnittswert*

mit

$$\delta_i = \frac{\left( \max_{i,T} B_{i,T} - \overline{B_{i,T}} \right)}{\overline{B_{i,T}}}, \quad 0 \leq \delta_i \leq 1$$

wobei

- $s_i^{**}$  um die maximale Abweichung vom Durchschnittbedarf erhöhter Sicherheitszuschlag der Erzeugnis-Variante  $i$
- $s_i$  störungsbedingter Zuschlag der Erzeugnis-Variante  $i$
- $\delta_i$  Pufferbestand der Erzeugnis-Variante  $i$  auf Basis der maximalen Abweichung vom durchschnittsbestand
- $B_{i,T}$  Bedarf an Teilen pro Periode der Erzeugnis-Variante  $i$
- $\overline{B_{i,T}}$  Durchschnittsbedarf an Teilen pro Periode der Erzeugnis-Variante  $i$

entsprechen.

Es wird nicht der durchschnittliche Bedarf einer Erzeugnis-Variante, sondern der maximale Abruf berücksichtigt. Dieses ist die sicherste Vorgehensweise, diese kann bei stärkeren Schwankungen zu einer erhöhten Kanban-Anzahl im Kreislauf und folglich zu hohen Beständen führen.

### Möglichkeit 3: Berücksichtigung einer mehrfachen Standardabweichung

$$s_i^{***} = s_i + \varepsilon_i$$

Formel 9: Erhöhung des Sicherheitsbestandes um die mehrfache Standardabweichung

mit

$$\varepsilon_i = \frac{\alpha \sigma_i}{B_{i,T}}, \quad 0 \leq \varepsilon_i \leq 1$$

wobei

$s_i^{***}$	um die mehrfache Standardabweichung erhöhter Sicherheitszuschlag der Erzeugnis-Variante $i$
$s_i$	störungsbedingter Zuschlag der Erzeugnis-Variante $i$
$\varepsilon_i$	Pufferbestand der Erzeugnis-Variante $i$ auf Basis der $\alpha$ -fachen Standardabweichung $\sigma_i$
$\sigma_i$	Standardabweichung der Erzeugnis-Variante $i$
$\alpha$	Faktor der Standardabweichung

bezeichnen.

In Anlehnung am SMALLEY<sup>38</sup> wird der durchschnittliche Bedarf einer Erzeugnis-Variante  $B_{i,T}$  als Zyklusmenge und  $\alpha \sigma_i$  als Puffer- bzw. Schwankungsbestand bezeichnet. Mit einer Wahrscheinlichkeit von 95,2 % (bzw. 99,7 %) werden bei Anwendung der 2-fachen (bzw. 3-fachen) Standardabweichung alle Bedarfsschwankungen über den Pufferbestand aufgefangen.<sup>39</sup>

<sup>38</sup> vgl. Smalley, A. [2005]: Produktionssysteme glätten, Lean Management Institut, Mülheim an der Ruhr 2005, S. 20 ff.

<sup>39</sup> ebda.

In mehreren Projekten hat sich die Anwendung der mehrfachen Standardabweichung (Möglichkeit 3) als zweckmäßig erwiesen, da die Ausrichtung an der maximalen Abrufmenge zu einer deutlichen Bestandserhöhung über einen längeren Zeitraum führen kann. Weiterhin kommt es vor, dass sich die geplanten benötigten Mengen zu einem bestimmten Bedarfszeitpunkt in den wöchentlichen Bedarfsmeldungen verändern.

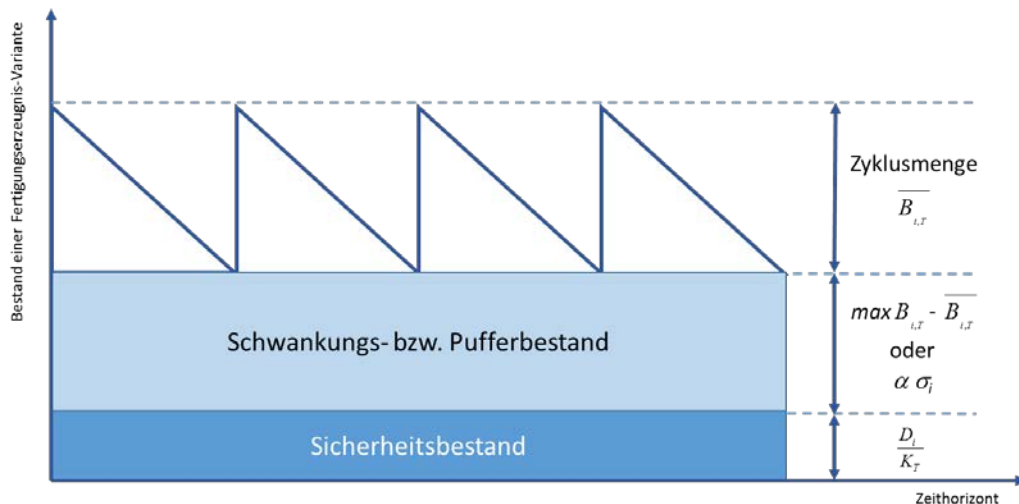


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Zyklusmenge, Sicherheits- und Schwankungsbestand<sup>40</sup>

Die Anzahl der benötigten Kanban  $X_{i,K}$  im Kreislauf kann sich zusätzlich durch qualitätssichernde Maßnahmen erhöhen. So kann im Fertigungsprozess einer Chargenfertigung eine dokumentationspflichtige Prüfung notwendig sein, die eine Freigabe des Loses bedingt. Vorhandene Prüfkapazitäten und Wirtschaftlichkeit, z.B. bei einer zerstörenden Prüfung, bestimmen die Mindestlosgröße. Es gilt in diesem Fall zur Berechnung der benötigten Kanban  $X_{i,K}$  zusätzlich die Nebenbedingung

$$X_{i,K} \geq \left[ \frac{L_{i,\min}}{M_{i,K}} \right]^+, \forall i = 1, \dots, N$$

Formel 10: Berechnung der Kanban-Anzahl bei Qualität sichernden Mindestlosgrößen

mit

- $L_{i,\min}$  Mindestlosgröße der Erzeugnis-Variante  $i$
- $X_{i,K}$  Anzahl der Kanbans pro Regelkreis der Erzeugnis-Variante  $i$
- $M_{i,K}$  Menge an Teilen pro Kanban der Erzeugnis-Variante  $i$
- $[ ]^+$  kleinste ganze Zahl  $\geq X_{i,K}$ .

<sup>40</sup> vgl. Smalley, A. [2005]: Produktionssysteme glätten, Lean Management Institut, Mülheim an der Ruhr 2005, S. 22 f.



## 2.2.6 Heijunka im Wertstrom

Im Gegensatz zu den klassischen PPS-Methoden, bei dem alle, zumindest mehrere Anlagen, individuell über das Fertigungssteuerungssystem gesteuert werden, wird in der Heijunka-Methode nur an einem Punkt im Produktionsfluss, dem sogenannten Schrittmacher, die Reihenfolge vorgegeben. Alle vorgelagerten Prozesse werden über Kanban und alle nachgelagerten über einen Fifo-Prozess mit Mengenbegrenzung (Fifo-Bahnen) selbst gesteuert.

Folglich lassen sich folgende Steuerungsprinzipien identifizieren<sup>41</sup>:

### Nachschubgesteuertes PULL-System

In einem „Nachschubgesteuerten PULL-System“ wird der letzte Fertigungsschritt über die Heijunka-Methode gesteuert.

Dieses Prinzip findet am häufigsten Anwendung. Es hat den Vorteil, dass bei Fehlmengen oder bei qualitativ schlechten Teilen, auch diese Menge als verbraucht angesehen wird und eine Nachproduktion selbststeuernd über den Kanban angestoßen wird. Bei einer hohen Anzahl an Vorfertigungs-Varianten kommt dieses System allerdings schnell an seine Grenzen. Bestände an Komponenten und die dafür notwendigen Flächen wachsen rasch an.

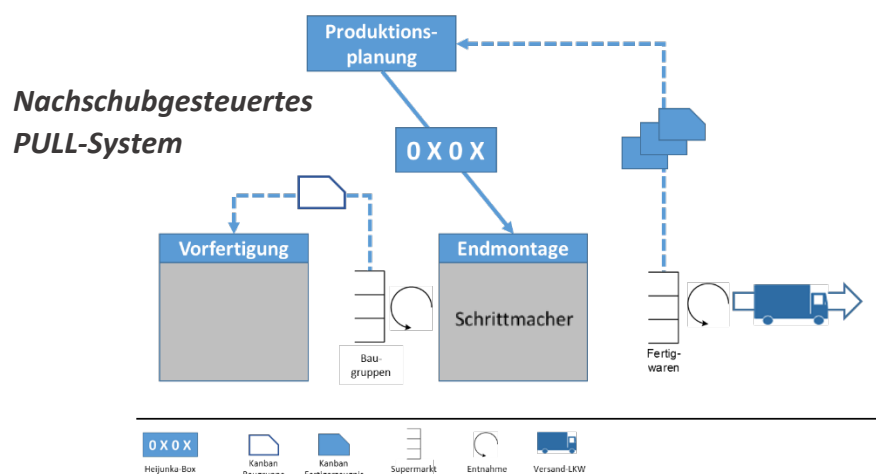


Abbildung 7: Nachschubgesteuertes PULL-System

### Sequentielles PULL-System

In einem „Sequentiellen PULL-System“ befindet sich der zu steuernde Schrittmacher in einem der vorgelagerten Fertigungsprozesse. Ausgehend von dieser Fertigungsstufe steuern sich alle nachfolgenden Prozesse über Fifo-Bahnen selbst. Auf diesen laufen die verschiedenen Varianten in der vorgegebenen Reihenfolge. Auch hier ist eine indirekte Steuerung nach Verbrauch integriert. Ist der Maximal-Bestand an vorhandenen Pufferplätzen auf der Fifo-Bahn erreicht, muss der vorlagerte Fertigungsschritt angehalten werden, um einen Überlauf zu verhindern.

<sup>41</sup> vgl. Smalley, A. [2005]: Produktionssysteme glätten, Lean Management Institut, Mülheim an der Ruhr 2005, S. 17 ff.

Dieses Verfahren wird in der Packagesteuerung<sup>42</sup>, die sehr den Grundprinzipien einer Conwip(Constant Work-In-Process) -Steuerung<sup>43</sup> entspricht, verwendet. Es werden somit möglichst niedrige Bestände an Baugruppen und Komponenten im Gesamtprozess erreicht. Somit werden geringe Durchlaufzeiten mit erheblichen Flächenreduzierungen erreicht.

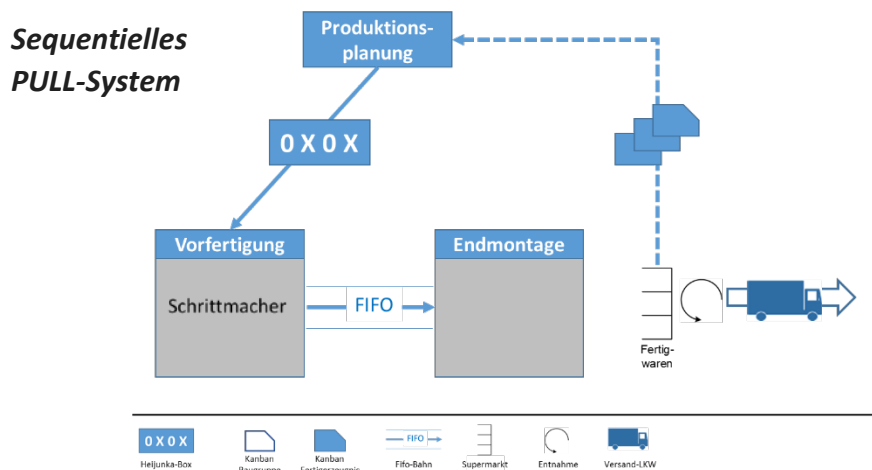


Abbildung 8: Sequentielles PULL-System

Bei instabilen Prozessen mit Ausschuss bzw. Nacharbeit kann diese Systematik zu Problemen führen. Die am Schrittmacher-Prozess eingeplanten Mengen kommen im Verlauf des Fertigungsprozesses nur teilweise in der Endmontage an. Dies führt zu Über- bzw. Unterbeständen, da die geforderten Gebindemengen für die jeweilige Erzeugnis-Variante nicht erreicht werden. Bei einer hohen Anzahl verschiedener Komponenten hat dies zur Folge, dass zusätzliche Stellplätze für angebrochene Behälter der Komponenten vorgehalten werden müssen. Hinzu kommt, dass die nicht vollständig gefüllten Gebinde der Erzeugnis-Variante ebenfalls zwischengepuffert werden müssen. Um das Fifo-Prinzip<sup>44</sup> einzuhalten, muss bei erneuten Beginn der Endmontage mit der jeweiligen Komponentenvariante als erstes der angebrochene Behälter an Komponenten an die Endmontage-Linie gebracht und geleert werden. Dieser Prozess erfordert von den Mitarbeitern eine hohe Disziplin. In einem eingeschwungenen Zustand ist davon auszugehen, dass sich von jeder Komponente ein angebrochener Behälter in der Nähe der Endmontage-Linie befindet. Bei mehreren unterschiedlichen Baugruppen, die gleichzeitig zur Fertigung der Erzeugnis-Variante benötigt werden, kommt hinzu, dass unterschiedliche Mengen gepuffert werden müssen. Es kann dazu führen, dass sogar volle Behälter zwischengepuffert

<sup>42</sup> vgl. Schröder, J. [2004]: Packagesteuerung - Ein Instrument zur effektiven Steuerung von variantenreichen Großserien, erschienen in: Arbeitsberichte – Working Papers der Hochschule Ingolstadt, Heft Nr. 6, Ingolstadt Juli 2004

<sup>43</sup> Vgl. Jodlbauer, H. [2008]: Produktionsoptimierung - Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung, Springer Wien, 2., erw. Auflage 2008, S. 225 ff.

<sup>44</sup> Fifo-Prinzip: First in First out

werden müssen, da die andere benötigte Baugruppe nicht in ausreichender Stückzahl vorhanden ist.

Es wäre zu einfach, die Weitergabe nur einwandfreier Komponenten zu fordern. Die Realität zeigt, dass es immer wieder zu qualitätsbedingten Ausfällen kommt. Das sequentielle PULL-System kommt folglich nur dann in Frage, wenn die vorgelagerten Prozessschritte die geforderte Menge in der entsprechenden Qualität und der vorgegebenen Zeit herstellen können.

### Kombiniertes PULL-System

Im kombinierten PULL-System werden die beiden genannten Steuerungsprinzipien kombiniert. Fertigungserzeugnisse in hohen gleichbleibendem Volumen werden über ein sequentielles PULL-System und Exoten über ein nachschubgesteuertes PULL-System gesteuert. Durch die Kombination lassen sich die Vorteile beider Systeme nutzen. Die Nachteile können begrenzt, aber nicht gänzlich eliminiert werden.

#### 2.2.7 Overflow-Board

Unmittelbar vor der Verladung an den Kunden werden die Kanban der zu versendenden Erzeugnis-Varianten abgenommen und in ein „Overflow-Board“ gesteckt.



Abbildung 9: Beispiel Overflow-Board

Das „Overflow-Board“ enthält pro Erzeugnis-Variante so viele Fächer wie Kanban im Umlauf sind. Die Kanban werden von links nach rechts gesteckt. Mit dieser Visualisierungstool ist man in der Lage, den Anpassungsbedarf des Produktionsmusters leicht zu erkennen.

Befinden sich nahezu alle Kanban einer Erzeugnis-Variante im „Oberflow-Board“, so ist der Bestand an Fertigerzeugnissen im Lager nahezu aufgebraucht. Es ist folglich zu prüfen, ob die Anzahl der Kanban, zumindest kurzfristig, erhöht werden muss. Sind hingegen fast keine oder keine Kanban einer Erzeugnis-Variante im „Oberflow-Board“, so besteht derzeit kein Bedarf an Fertigerzeugnissen. Auch hier ist die Anzahl der tatsächlich benötigten Kanban zu prüfen.

In beiden der oben genannten Fälle sollte der Bedarf im Zeithorizont auf Veränderungen im Abrufverhalten des Kunden überprüft werden. Es kann folglich notwendig sein, dass das bestehende Produktionsmuster geändert werden muss.

„Event-Kanban“ sind in einem separaten Feld in das „Overflow-Board“ zu stecken.

## 2.2.8 Produktionsmuster

Um die erforderlichen Produktionszeitfenster zu berechnen, wird der Kundentakt (siehe Kap. 2.2.4) ermittelt. Ein „Pitch“ entspricht genau dem Zeitbedarf, der für die Produktion einer Gebindemenge (Menge eines Kanban) benötigt wird.<sup>45</sup> Es gilt:

$$Pit_{Dauer} = M_{i,K} K_T$$

Formel 11: Berechnung eines Pitch

wobei der Einfachheit an dieser Stelle unterstellt sei, dass

$$M_{i,K} \text{ konstant, } \forall i = 1, \dots, N$$

mit

$Pit_{Dauer}$	Dauer eines Pitches
$M_{i,K}$	Menge der Erzeugnis-Variante $i$ pro Kanban
$K_T$	Kundentakt

Die Erstellung des Produktionsmusters ist ein iterativer Prozess. Die Kanban der einzelnen Erzeugnis-Varianten werden gleichverteilt im Zyklus positioniert. Die Erzeugnis-Varianten werden absteigend nach der Anzahl ihrer Kanban im Kreislauf sortiert. Nun beginnt man mit derjenigen Erzeugnis-Variante, die über die höchste Anzahl an Kanban verfügt und verteilt diese gleichmäßig über die möglichen Produktionszeitfenster. Anschließend wiederholt sich dieser Prozess für die nächste Erzeugnis-Variante, solange bis die Kanban aller Erzeugnis-Varianten verteilt und alle Pitches im Produktionsmuster belegt sind.

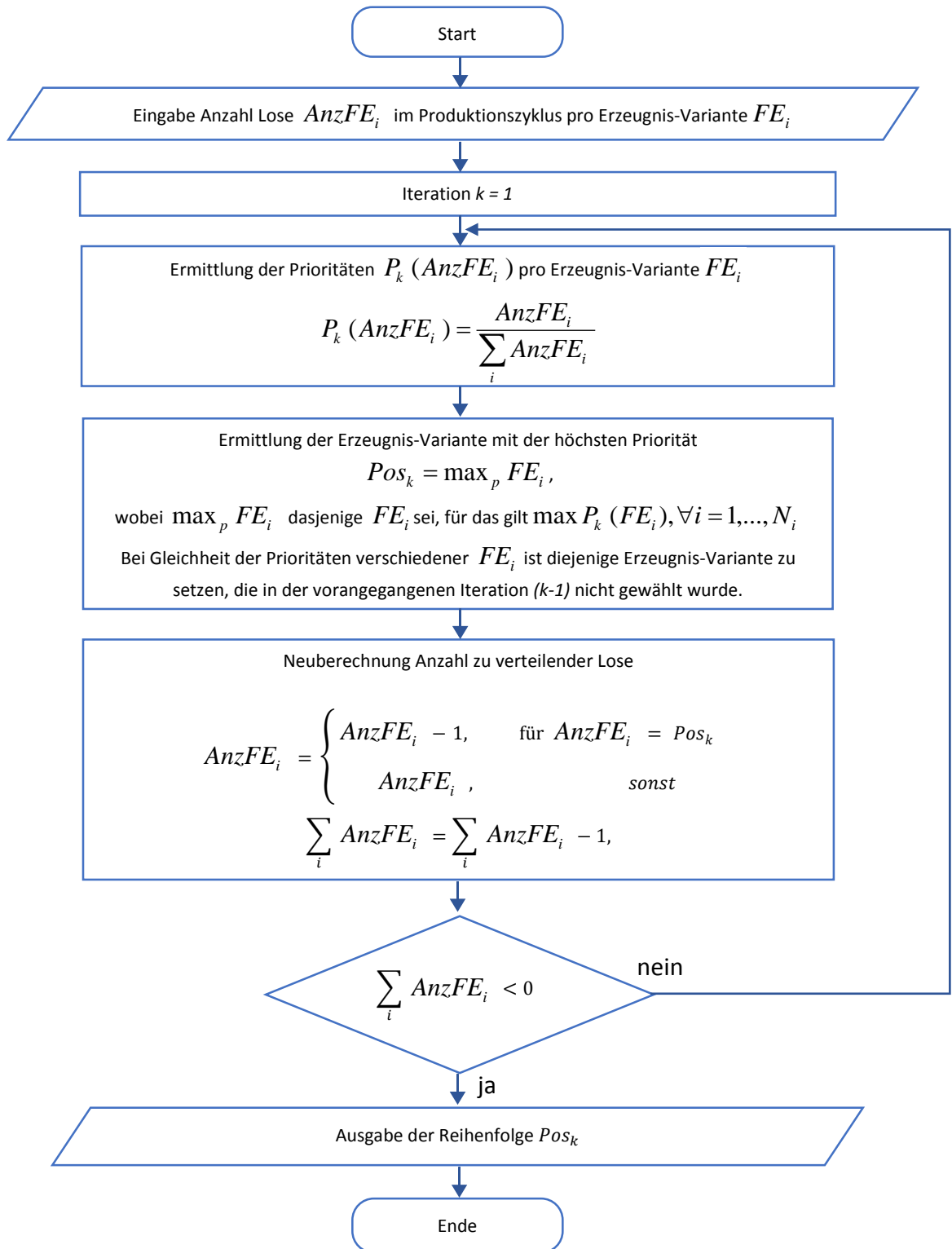
An dieser Stelle wird von einer einheitlichen Bearbeitungszeit für alle Varianten am Schrittmacher-Prozess, also an dem Fertigungsschritt an dem der Produktionsausgleich durchgeführt wird, ausgegangen.

Ein einfacher Algorithmus kann bei der Erstellung des Produktionsmusters helfen. In Anlehnung an den Bauschuld-Algorithmus (priorisierte Gleichverteilung)<sup>46</sup> lässt sich ein mögliches Produktionsmuster wie folgt ermitteln:

---

<sup>45</sup> vgl. Erlach, K. [2010]: Wertstromdesign – Der Weg zur schlanken Fabrik, 2. aktualisierte Auflage, Berlin Heidelberg 2010, S. 232

<sup>46</sup> Vgl. SAP-Help-Portal [2002]: Priorisierte Gleichverteilung (Bauschuldverfahren), SAP Advanced Planner and Optimizer (SAP APO) Release 3.1, Mai 2002, aufgerufen am 28.08.2013 unter:  
[http://help.sap.com/saphelp\\_apo31/helpdata/de/a2/83e663f9ca11d3b7620000e82d81c3/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_apo31/helpdata/de/a2/83e663f9ca11d3b7620000e82d81c3/content.htm)



Algorithmus 1: Modifiziertes Bauschuldverfahren (priorisierte Gleichverteilung)<sup>47</sup>

<sup>47</sup> ebda.

Für das bisher verwendete Beispiel ergeben sich bei Anwendung des modifizierten Bauschuldverfahrens (priorisierte Gleichverteilung) für die einzelnen Iterationen folgende Ergebnisse:

Iteration k = 1				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>1</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>1</sub>
1	A	5	0,50	A
2	B	4	0,40	
3	C	1	0,10	

Iteration k = 6				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>6</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>6</sub>
1	A	2	0,40	
2	B	2	0,40	B
3	C	1	0,20	

Iteration k = 2				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>2</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>2</sub>
1	A	4	0,44	
2	B	4	0,44	B
3	C	1	0,11	

Iteration k = 7				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>7</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>7</sub>
1	A	2	0,50	A
2	B	1	0,25	
3	C	1	0,25	

Iteration k = 3				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>3</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>3</sub>
1	A	4	0,50	A
2	B	3	0,38	
3	C	1	0,13	

Iteration k = 8				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>8</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>8</sub>
1	A	1	0,33	
2	B	1	0,33	
3	C	1	0,33	C

Iteration k = 4				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>4</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>4</sub>
1	A	3	0,43	
2	B	3	0,43	B
3	C	1	0,14	

Iteration k = 9				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>9</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>9</sub>
1	A	1	0,50	A
2	B	1	0,50	
3	C	0	-	

Iteration k = 5				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>5</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>5</sub>
1	A	3	0,50	A
2	B	2	0,33	
3	C	1	0,17	

Iteration k = 10				
i	FE <sub>i</sub>	AnzFE <sub>i</sub>	p <sub>10</sub> (FE <sub>i</sub> )	Pos <sub>10</sub>
1	A	0	-	
2	B	1	1,00	B
3	C	0	-	

Produktionsmuster

k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pos <sub>k</sub>	A	B	A	B	A	B	A	C	A	B

Abbildung 10: Beispiel der Anwendung des modifizierten Bauschuldverfahrens (priorisierte Gleichverteilung)

Die somit erzielte Reihenfolge kann durch Ändern der Startposition in sich verschoben werden. So kann es sinnvoll sein, an einer bestimmten Stelle, genauer zu einem bestimmten Zeitpunkt, eine bestimmte Erzeugnis-Variante oder einen „Event-Kanban“ einzuplanen.

1. Zyklus										2. Zyklus										
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pos <sub>k</sub>	A	B	A	B	A	B	A	C	A	B	A	B	A	B	A	B	A	C	A	B

1. Zyklus										
k	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Pos <sub>k</sub>	A	B	A	B	A	C	A	B	A	B

Abbildung 11: Verschiebung der Startposition im Produktionsmuster

## 2.2.9 Reihenfolgebildung und -optimierung

Es gibt eine Reihe von Gründen, warum das Produktionsmuster individuell angepasst werden muss. Dies können Rüstzeiten, Stillstand-minimierende Regeln an einzelnen Anlagen in einer mehrstufigen Fertigung, Mehrfachwerkzeuge in der Vorfertigung, aber auch unterschiedliche Fertigungszeiten der einzelnen Erzeugnis-Varianten sein.

Bei allen Restriktionen oder Optimierungen sollte die definierte Mindest-Losgröße nicht verändert werden. Eine Zusammenfassung von gleichen Erzeugnis-Varianten zu einem größeren Los sollte ausgeschlossen sein, um den Nivellierungseffekt so weit wie möglich zu erhalten.

In höchster Priorität sind die „harten“ Regeln zu berücksichtigen. Wenn z.B. das Werkzeug einer Anlage, auch in vorgelagerten Fertigungsschritten, gleichzeitig ein linkes und ein rechtes Teil erzeugt, so ist man gezwungen, dieses in der Reihenfolge am Schrittmacherprozess einzuplanen. Ansonsten würde die vorhandene Produktionskapazität verständlicherweise nicht ausgelastet sein oder die notwendigen Pufferbestände im Prozess müssen deutlich erhöht werden. Unbestreitbar ist, dass die Planung eines solchen Werkzeuges seitens der Fertigungsplanung die theoretische Ausbringungsmenge bei Betrachtung des Einzelprozesses erhöht, aber durchaus negative Auswirkungen im gesamten Pufferbestand unfertiger Erzeugnisse haben kann. In dem o.g. Beispiel müsste folglich das Produktionsmuster in der Reihenfolge paarweise (linkes Teil / rechtes Teil) angepasst werden.

Als nächstes sind die Puffer- bzw. Stillstand-minimierenden Restriktionen zu berücksichtigen. Hierbei muss zwischen zwei in der Praxis häufig vorkommenden Fällen unterschieden werden.

### **Zusätzlicher Fertigungsschritt für bestimmte Erzeugnis-Varianten**

Wird ein zusätzlicher Fertigungsschritt, z.B. durch einen Veredelungsprozess für bestimmte Erzeugnis-Varianten, unabhängig von Schrittmacher-Prozess notwendig, so kann dies zu einem „Stop & Go“ vor der betreffenden Anlage und zu einem erhöhten Pufferbedarf im nachgelagerten Fertigungsschritt führen. Es gilt also einen Ausgleich gemäß dem Produktmix durchzuführen. Bei einem Verhältnis 50:50 heißt dies, dass jede zweite Erzeugnis-Variante dem Merkmal entsprechen muss.

### **Unterschiedliche Zykluszeiten der Erzeugnis-Varianten**

Die Zykluszeit einer Anlage entspricht der Taktzeit der Anlage. Diese ist nicht zu verwechseln mit dem Kundentakt. Werden für verschiedene Erzeugnis-Varianten unterschiedliche Ausbringungsmengen pro Zeiteinheit erreicht, so hat dies Auswirkungen auf den notwendigen Pufferbestand vor der Anlage. Wird die Reihenfolge so gebildet, dass Erzeugnis-Varianten mit hoher Zykluszeit und geringer Ausbringungsmenge pro Zeiteinheit hintereinander produziert werden sollen, so bewirkt dies einen Stau. Im entgegengesetzten Fall zieht die Anlage sehr schnell, was eine höhere Menge im Puffer erfordert, um einen Abriss zu verhindern. Im Puffer vor

dem nachgelagerten Fertigungsprozess ergibt sich ein analoges Bild. Bei einer Produktionsnivellierung sollte die Reihenfolge in diesem Fall so gebildet werden, dass ein Wechsel zwischen langen und kurzen Zykluszeiten erfolgt. Somit kann ein stark schwankender Bedarf im Puffer vor der Anlage und im nachgelagerten Prozess verhindert werden. Es wird erreicht, dass der gesamte Bestand verringert und damit die Durchlaufzeit reduziert wird.

Treten unterschiedliche, stark abweichende Rüstzeiten für den Wechsel von einer auf eine andere Erzeugnis-Variante auf, so bietet sich eine weitere Optimierungsmöglichkeit zur Erhöhung der Produktivität. Hierzu ist eine Rüstzeitmatrix zu erstellen und daraus eine optimale Rüstreihenfolge zu ermitteln. Dieses lineare Optimierungsproblem entspricht dem des Handlungsreisenden, dem sogenannten „Travelling Salesman Problem“.<sup>48</sup> Die Zeiten der einzelnen Rüstvorgänge entsprechen hierbei den Entfernungen zwischen den anzufahrenden Punkten. Es ist allerdings zu berücksichtigen, dass das Rüsten von einer bestimmten auf eine andere bestimmte Variante innerhalb eines Zyklus mehrmals erfolgen kann, dieselbe Erzeugnis-Variante aber nicht hintereinander produziert werden darf. Im übertragenen Sinne heißt dies, dass ein Punkt durch den Handlungsreisenden mehrfach angefahren werden muss. Zur Lösung stehen verschiedene Algorithmen zur Verfügung. Der am weitesten verbreitete Algorithmus stammt von DIJKSTRA.<sup>49</sup> Neuere Algorithmen der Metaheuristik, wie z.B. der „Ameisen-Algorithmus“<sup>50</sup>, eignen sich durch geringfügige Anpassungen für die Ermittlung der optimalen Rüstreihenfolge. Bei allen bekannten Verfahren sollte die Rüstzeitmatrix derart angepasst werden, dass jede Erzeugnis-Variante, die sich im Produktionsmuster wiederholt, mehrfach in der Rüstzeitmatrix mit leicht abweichenden Rüstzeiten, z.B. im Sekundenbereich, aufgenommen wird. Bei der Berechnung ist die Wiederholung einer Erzeugnis-Variante über eine Nebenbedingung auszuschließen.

Nachvollziehbar ist, dass bei der Anwendung von mehreren Regeln, Zielkonflikte entstehen können. Es kann z.B. die Rüstzeitoptimierung in der Vorfertigung zu einer Erhöhung der Pufferbestände vor den Montage-Linien führen. Es ist in diesem Fall bei der Ermittlung der Reihenfolge, der „Bauschuld-Algorithmus“<sup>51</sup> anzupassen. Dies wird durch eine Gewichtung der einzelnen Merkmale erreicht. Somit ergeben sich andere Prioritäten bei der Einplanung der jeweiligen Erzeugnis-Variante.

Je mehr Regeln zur Reihenfolgebildung berücksichtigt werden müssen, desto höher wird die Komplexität der Planung. Aufgrund von Zielkonflikten bei der Berücksichtigung der Regeln, kommt es für die Mitarbeiter immer wieder zu nicht nachvollziehbaren Reihenfolgen bei den einzelnen Fertigungsschritten. Das Verständnis für die Sinnhaftigkeit der Methode schwindet sehr schnell. Bei einer

---

<sup>48</sup> vgl. Applegate, D. L.; Bixby, R. E.; Chvátal, V.; Cook, W. J. [2007]: The Traveling Salesman Problem. A Computational Study. Princeton University Press, Februar 2007, S.522-524

<sup>49</sup> vgl. Dijkstra, E. W. [1958]: A note on two problems in connexion with graphs. In: Numerische Mathematik. 1, 1959, S. 269–271

<sup>50</sup> vgl. Dorigo, M.; Stützle, T. [2004]: Ant Colony Optimization, MIT Press, Cambridge, MA, 2004

<sup>51</sup> siehe Algorithmus 1, S. 29



Veränderung der Reihenfolge kommt kann es zu ungewollten Beständen zwischen den Fertigungsschritten oder zu einem ungewollten Stillstand an einer Anlage führen.

Es ist deshalb zur weiteren Entwicklung zwingend notwendig, möglichst viele Regeln zu eliminieren. So muss folgendes geprüft werden:

- Lassen sich Werkzeuge auf eine einzige Komponenten- bzw. Erzeugnis-Variante umbauen?
- Können vor- und ggf. nachgelagerte Fertigungsschritte in die in die zu steuernde Anlage integriert werden?
- Lassen sich die Zykluszeiten einer Anlage durch parallel durchzuführende Fertigungsschritte angleichen?
- Können die Rüstzeiten reduziert und somit kleinere Losgrößen auf allen Fertigungsstufen realisiert werden?

Eine Reihenfolgebildung ohne zu berücksichtigende Regeln bietet die optimale Voraussetzung für eine funktionierende Produktionsnivellierung.

#### 2.2.10 Heijunka – Box

Das erstellte Produktionsmuster ist Grundlage der sogenannten Heijunka-Box (Produktionsausgleichskasten). Grundsätzlich werden für mindestens einen Produktionszyklus die entsprechenden Fächer nach Pitches und Erzeugnis-Varianten in Form einer Matrix angelegt. Hierbei werden sinnvollerweise die Pitches in Uhrzeiten umgerechnet.

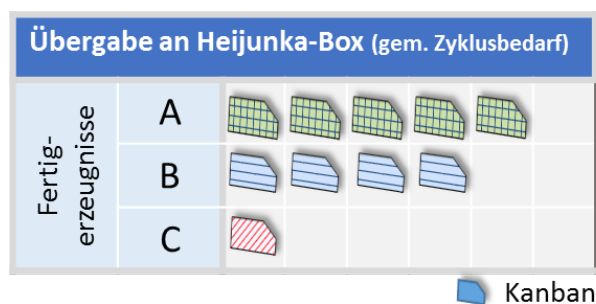


Abbildung 12: Beispiel Übergabe an Heijunka-Box

Die notwendige Anzahl an Kanban für die jeweilige Erzeugnis-Variante werden entsprechend dem Produktionsmuster aus dem Overflow-Board entnommen (siehe Abb. 10) und anschließend gemäß dem Produktionsmuster in die Heijunka-Box der Anlage gesteckt.

Heijunka - Board		Produktionsmuster: Pitches des 1. Produktionszyklus (von Insgesamt vier Zyklen pro Arbeitstag)									
		6:00	6:24	6:48	7:12	7:36	8:00	8:24	8:48	9:12	9:36
Fertigerzeugnisse	A										
	B										
	C										

Kundentakt = 4,8 min      Verpackungseinheit = 5 Stück      Kanban á 5 Stück

Abbildung 13: Beispiel einer Heijunka-Box

Die Produktion erfolgt nun in der durch das Produktionsmuster vorgegebenen Reihenfolge. Die Kanban werden zum entsprechenden Zeitpunkt aus der Heijunka-Box entnommen und mit der Herstellung der betreffenden Erzeugnis-Variante begonnen. Ist das Gebinde vollständig, so wird der Kanban angebracht und auf den Bereitstellplatz für den Transport zum Versandlager gestellt. Anschließend wiederholt sich der Prozess durch Entnahme des nächsten Kanban aus der Heijunka-Box.

Erfahrungsgemäß wird die Reihenfolge aus teilweise nicht bekannten Gründen durchbrochen. SUZAKI empfiehlt hier die Kontrolle der Einhaltung des Produktionsmusters über die im Versandlager ankommenden Gebinde.<sup>52</sup>

### 2.2.11 Heijunka-Prozessbeschreibung

Die Kanban werden unmittelbar vor der Versendung an den Kunden abgenommen und durch den Disponenten in das Overflow-Board gesteckt. In einem dem Produktionszyklus angepassten Zeitabstand werden die dem Produktionsmuster für einen Zyklus entsprechenden Kanban entnommen und das Heijunka-Board an der Anlage entsprechend dem Produktionsmuster bestückt.

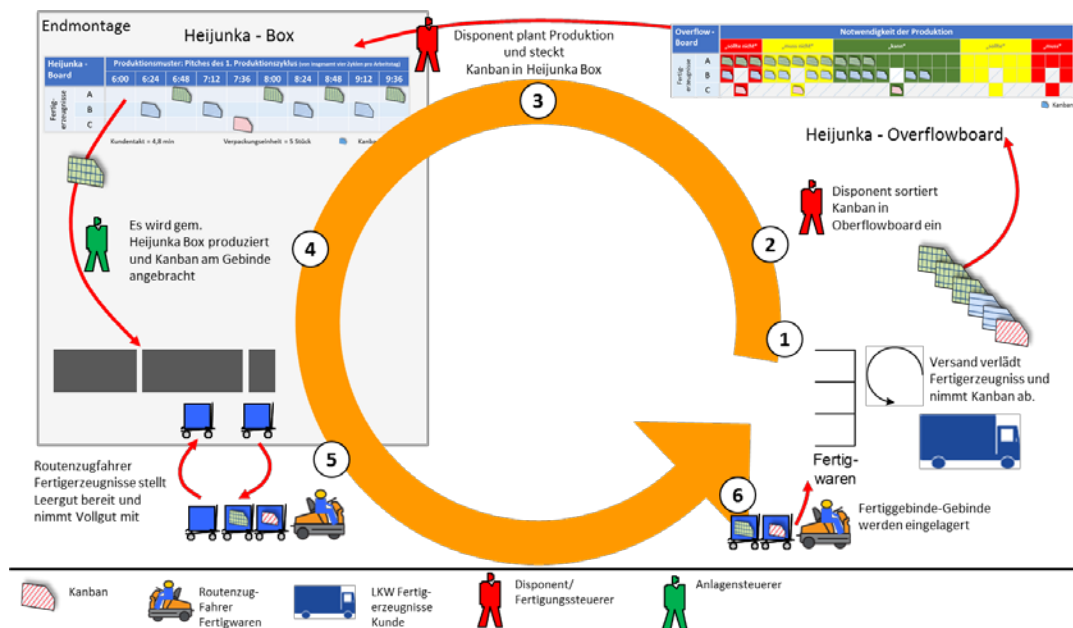


Abbildung 14: Beispielhafte Prozessbeschreibung Heijunka (Nachschubgesteuertes PULL-System)

<sup>52</sup> Vgl. Suzuki, K. [1989]: Modernes Management im Produktionsbetrieb – Strategien, Techniken, Fallbeispiele, München, Wien 1989, S. 164

## 2.3 Bestände und Zyklusmenge

In einer nivellierten Produktion wird im Grundsatz der Umlaufbestand zu Lasten des Bestandes an Fertigerzeugnissen optimiert. Schwankungen in der Produktion werden weitest gehend eliminiert. Hingegen werden Schwankungen in den Kundenbedarfen über die Bestände an Fertigungserzeugnissen aufgefangen.

Wie in Kapitel 2.2.5 „Modifizierter Kanban im Heijunka-Konzept“ beschrieben, muss zwischen dem Sicherheitsbestand, dem Schwankungs- bzw. Pufferbestand und der Zyklusmenge unterschieden werden.

Der tatsächliche Bestand der nivellierten Erzeugnis-Variante soll sich i.d.R. oberhalb des Sicherheitsbestandes bewegen. Bricht dieser anhand der Bedarfe nach oben bzw. nach unten aus, so wird dies am Overflow-Board sichtbar. Der Schwankungs- bzw. Pufferbestand und ggf. auch der Sicherheitsbestand müssen folglich neu berechnet werden.

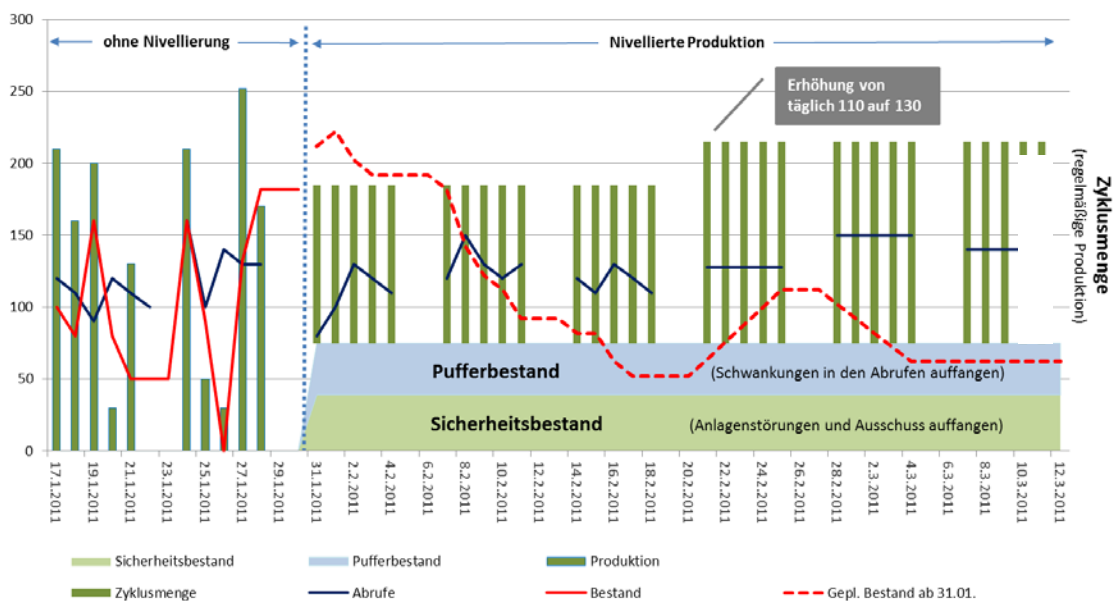


Abbildung 15: Beispiel einer Produktion vor und nach der Nivellierung

In der oben dargestellten Abbildung kann man sehr deutlich die typischen Effekte vor und nach der Nivellierung erkennen.

Vor der Nivellierung schwanken die Produktionsmengen sehr stark. Kurzfristige Korrekturen sind erforderlich, da der Erzeugnis-Bestand vollkommen aufgebraucht worden ist. Die Produktion schwankt deutlich stärker als das Abrufverhalten des Kunden.

Im Zeithorizont der nächsten vier Wochen lässt sich erkennen, dass eine nivellierte Produktion mit einer täglichen Produktionsmenge von zunächst 110 Einheiten ausreichend ist. Es ist auch erkennbar, dass der Erzeugnis-Bestand dieser Variante

deutlich abnimmt, da der Kunden ab der 4. Woche einen höheren Bedarf avisiert. Dies hat zur Folge, dass die Zyklusmenge um 20 Einheiten erhöht werden muss.

Der Vorteil dieser Vorgehensweise ist offensichtlich. Bereits drei Wochen im Voraus ist bekannt, dass es bei dieser Erzeugnis-Variante zu einer Erhöhung der Produktionsmenge pro Tag kommt. Notwendige Anpassungen der Anliefermenge der Kaufteile, entsprechende Erweiterung der notwendigen Ressourcen, usw. sind nur zwei Aspekte, die die Planung vereinfachen und die Komplexität drastisch reduzieren.

### 3 Voraussetzungen und Grenzen der Methode

Bei besonderen Situationen stößt die Produktionsnivellierung an ihre Grenzen oder erfordert ein gezieltes Eingreifen, um das Prinzip zu realisieren. Gerade der Umstieg auf die Heijunka-Methode erfordert das Schaffen von erforderlichen Voraussetzungen.

#### 3.1 Kleinserienfertigung

Je höher die Anzahl der Varianten und je kleiner die durchschnittliche Produktionsmenge wird, desto problematischer wird die Anwendung der Produktionsnivellierung auf Erzeugnis-Ebene. Die einzuplanenden Bedarfe sind gering und der Abstand zwischen den einzelnen Lieferungen ist lang. Für die variantenreiche Kleinserienfertigung wird deshalb vorgeschlagen, die Produktionsnivellierung nicht auf Erzeugnis- sondern auf Produktfamilien-Ebene, den sogenannten Nivellierungsfamilien, durchzuführen.<sup>53</sup> Auf dieser Basis lässt sich die Heijunka-Methode meistens trotzdem anwenden.

#### 3.2 Schwankungen bei großen Mengenbedarfen

Kritisch ist die Heijunka-Methode für Erzeugnis-Varianten mit starken Schwankungen und großen Mengen, also für diejenigen Varianten, die als AZ-Artikel<sup>54</sup> eingestuft wurden. Diese Artikel werden selten benötigt, haben aber hohe Bedarfsmengen.

Nimmt man diese Variante in das Produktionsmuster regelmäßig auf, so ergibt sich ein sehr hoher Variationskoeffizient und folglich ein sehr hoher Schwankungsbestand. Definiert man diese Variante als Exoten, reicht i.d.R. die im Produktionsmuster eingeplante Kapazität für die „Event-Kanban“ im Bedarfsfall nicht aus. Zur Lösung bieten sich vier Ansätze an:

---

<sup>53</sup> vgl. Deuse, J.; Bohnen, F. [2011]: Entwicklung einer systematischen Vorgehensweise zur Produktionsnivellierung der variantenreichen Kleinserienfertigung, IGF-Forschungsvorhaben 15865 N/1, Schlussbericht, München, Januar 2011, S. 2

<sup>54</sup> siehe Kap. 2.2.3

### **Lösungsansatz 1: Erhöhung der Anlieferhäufigkeit**

Hier sollte das Gespräch mit dem Kunden gesucht werden, um die Anlieferhäufigkeit dieser Erzeugnis-Variante zu erhöhen. Dies könnte dem Kunden bei seiner eigenen Bestandssenkung entgegenkommen, birgt allerdings die Gefahr einer Erhöhung der Transportkosten.

Genau an dieser Stelle zeigt sich die entgegengesetzte Wirkungsweise der Heijunka-Methode zu herkömmlichen Steuerungssystemen. Lieferanten neigen dazu, große Mengen mit wenigen Anlieferzyklen und langen Wiederbeschaffungszeiten zu bevorzugen. Somit ergibt sich die Möglichkeit einer reinen Auftragsfertigung. Dieses Verfahren verstärkt zusätzlich den „Peitschen-Effekt“ und führt zu Schwierigkeiten in der Produktionsnivellierung.

### **Lösungsansatz 2: Gleichverteilung der Bedarfsmengen im Zeithorizont**

Lässt der Kunde eine häufigere Anlieferung mit kleineren Mengen nicht zu oder es steigen die Transportkosten in einen unwirtschaftlichen Bereich, so ist es sinnvoll, die Produktion der Bedarfsmengen über mehrere Wochen zu strecken, bestenfalls über den gesamten Zeitraum gleich zu verteilen. Dies führt zwangsläufig zur Erhöhung der Fertigwaren-Bestände der betreffenden Erzeugnis-Variante.

### **Lösungsansatz 3: Einplanung Produktion zu Lasten anderer Varianten**

Eine weitere Möglichkeit ist, das Produktionsmuster für die Bedarfswoche bzw. deren Vorwoche anzupassen, in dem die Produktionsmengen für die betreffende Erzeugnis-Variante zu Lasten anderer erhöht wird. Diese weitaus komplexere Maßnahme bringt eine Reihe von Gefahren mit sich. Die Menge für die im Produktionsmuster vorgesehenen Erzeugnis-Varianten, die durch den Einschub der AZ-Erzeugnis-Variante wegfallen, müssen vorproduziert werden. Die Folge ist, dass sich auch die Produktionsmuster der vorangehenden Wochen ändern müssen.

Diese Lösungsmöglichkeit kann zur kompletten Instabilität des Systems führen und sollte sehr sorgsam abgewogen werden.

### **Lösungsansatz 4: Deckung des Bedarfes durch Überstunden und zusätzliche Schichten**

Die vierte Möglichkeit ist, den Bedarf der betreffenden Erzeugnis-Variante mittels Überstunden oder Sonderschichten abzudecken. Dies hat zur Folge, dass das Produktionsmuster zwar stabil bleibt, allerdings die vorhandene Produktionskapazität im Produktionszyklus eventuell nicht ausgeschöpft wird. Bei diesem Lösungsansatz wird die betreffende Erzeugnis-Variante aus dem Pool der zu nivellierenden Varianten herausgenommen. Mit den Lieferanten der zugehörigen Kaufteile sind genaue Absprachen erforderlich, denn dies bedeutet, einen hohen Einmalbedarf sicherzustellen.

Empfohlen wird, das Gespräch mit dem Kunden zu suchen (Lösungsansatz 1). Sollte eine Erhöhung der Anlieferhäufigkeit nicht möglich sein, so sollten die Bedarfsmengen über den Zeithorizont gleich verteilt werden (Lösungsansatz 2).

### 3.3 Einmal-Abrufe (CKD-Versand)

Ähnlich wie in der vorher beschriebenen Situation verhält sich die Produktionsnivellierung bei Sonderbedarfsmengen von Erzeugnis-Varianten für Kunden. Insbesondere in der Automobilindustrie nehmen die CKD-Bedarfe<sup>55</sup> für asiatische Produktionsstätten kontinuierlich zu. Nicht alle Lieferanten sind in der Lage, eigene außereuropäische Produktionskapazitäten in unmittelbare Nähe des Herstellers aufzubauen. Mit zunehmenden Produktionszahlen der zusätzlichen Bedarfe kommt es zu einer Erhöhung der Anlieferhäufigkeit und somit auch zur Möglichkeit einer Einplanung der Bedarfsmengen in das Produktionsmuster.

Es ist zu berücksichtigen, dass beim CKD-Versand meistens andere Verpackungen, i.d.R. Übersee-Verpackungen, mit anderen Gebindemengen verwendet werden. Eignet sich das Bedarfsvolumen der betreffenden Erzeugnis-Variante für eine Einplanung im Produktionsmuster, ist auf einen erforderlichen zeitlichen Mehrbedarf für die Verpackung zu achten.

### 3.4 Gesamtanlageneffektivität (Original Equipment Effectiveness)

Die Gesamtanlageneffektivität, üblicherweise als Original Equipment Effectiveness, kurz OEE bezeichnet, hat einen erheblichen Einfluss auf die Produktionsnivellierung nach dem Vorbild des Heijunka-Prinzips.

Die OEE berechnet sich aus der Multiplikation der Faktoren Leistung, Qualität und Verfügbarkeit einer Anlage.<sup>56</sup> Es handelt sich um eine Kennzahl, die ungeplante Verlustzeiten der Anlage misst. Viele Unternehmen wandeln die OEE ab und berücksichtigen auch geplante Zeiten, wie z.B. Rüstzeiten. Dies wird damit begründet, dass keine Vorgabewerte für die Dauer des Rüstvorgangs vorliegen. Korrekterweise dürfte lediglich eine Überschreitung der geplanten Vorgabezeit in den Verfügbarkeitsfaktor einfließen. Werden auch geplante Verlustzeiten bei der Berechnung der OEE berücksichtigt, so ergeben sich Überschneidungen zur Produktionsnivellierung.

---

<sup>55</sup> CKD steht für "Completely knocked down". Bedingt durch hohe Importzölle oder durch die Produktionspräsenz in neuen Märkten entscheiden sich Hersteller immer häufiger eine eigene Montage in außereuropäischen Ländern aufzubauen, Zukaufteile aber unverändert von den eigentlichen Lieferantenstandorten zu beziehen. Die Bedarfsmengen werden aufgrund hoher Transportkosten über einen längeren Zeitraum zusammengefasst.

<sup>56</sup> vgl. May, C.; Koch, A. [2008]: Overall Equipment Effectiveness (OEE) - Werkzeug zur Produktivitätssteigerung, erschienen in: Zeitschrift der Unternehmensberatung (ZUB), H. 6/2008, S. 245-250

Ausgehend von der korrekten Anwendung der OEE ergibt sich für die Planung der Produktionsnivellierung, dass pro genutzte Anlage im Wertstrom die geforderte Menge entsprechend der OEE erhöht werden muss. Die gilt insbesondere für das sequentielle und das kombinierte Pull-System.<sup>57</sup>

Sollte eine OEE unter 85% gegeben sein, so kann davon ausgegangen werden, dass die Pitches des Heijunka-Boards immer öfter nicht eingehalten werden können. Wird die OEE in der zu produzierenden Menge berücksichtigt, so ergeben sich andere Auswirkungen. Da die OEE einen Durchschnittswert berechnet, kommt es auch immer wieder zu der Situation, dass die Anlage in der zur Verfügung stehenden Zeit schneller produziert. Ein Pitch wird also früher als geplant abgeschlossen. Damit erhöht sich folglich der Pufferbestand nach dem Fertigungsschritt. Hierfür ist die notwendige Fläche vorzuhalten. Andererseits kann es kurzfristig zu Verlusten kommen. Um einen Abriss im sich anschließenden Fertigungsschritt zu verhindern, muss der Pufferbestand nach der Anlage entsprechend erhöht werden. Die Verlustzeiten müssen in Mengen umgerechnet werden. Über eine Häufigkeitsverteilung lässt sich analog zur in Kapitel 2.2.5 beschriebenen Methode der notwendige Pufferbestand ermitteln.

Eine niedrige OEE erfordert also hohe Pufferbestände zwischen den einzelnen Fertigungsschritten. Es sollten Vorgabezeiten für die Dauer des Rüstens existieren. Die Einhaltung muss erfahrungsgemäß immer wieder kontrolliert werden, weil schnell wieder eine gewisse Gleichgültigkeit der Mitarbeiter einsetzt. Der kontinuierlichen Anwendung der Methode des Rüstens im einstelligen Minutenbereich, Single Minute Exchange of Die, kommt in der Nivellierung eine besondere Bedeutung zu. So kann das Ziel eines kontinuierlichen Flusses und einer gleichbleibenden hohen Auslastung der Anlagen besser erreicht werden. An störanfällige Anlagen sollten Maßnahmen ergriffen werden, um die Ausfallzeiten zu minimieren. Eine fehlende Materialverfügbarkeit hat ebenfalls direkte Auswirkungen auf die Nivellierung der Produktion. Es kommt zu Wartezeiten, die sich direkt in der OEE widerspiegeln, oder zum Vorziehen von Aufträgen, was zur Änderung des Produktionsmusters und in der Folge zu erhöhten Beständen führt.

Grundsätzlich bleibt festzuhalten, dass eine niedrige OEE zur Instabilität des Heijunka-Systems führt, die WIP-Bestände erhöht und die Komplexität der Steuerung drastisch verstärkt werden kann.

### 3.5 Vorlauf

Ist eine Betriebsruhe eingeplant, sind Umbaumaßnahmen notwendig oder eine Anlage muss an einen anderen Ort verlagert werden, ist meistens die benötigte Menge an Erzeugnis-Varianten vorzuproduzieren. Dieser planbare Bestandsaufbau wird Vorlauf genannt. Der notwendige Vorlauf wird sinnvollerweise durch Überstunden oder

---

<sup>57</sup> siehe Kap. 2.2.6

zusätzliche Schichten erreicht, damit die ausfallende Produktionskapazität ausgeglichen werden kann.

Durch die Einführung von „Sonder-Kanban“<sup>58</sup> in das System, wird sichergestellt, dass der erforderliche Bedarf auch während der geplanten Produktionsunterbrechung verfügbar ist. Die Anzahl der benötigten „Sonder-Kanban“ für High-Runner wird über den zu überbrückenden Bedarf ermittelt. Wird ein Gebinde mit diesem Kanban versendet, entfernt man diesen wieder aus dem System.<sup>59</sup>

Schwieriger wird das Management von Exoten. Diese sollten so spät wie möglich eingeplant werden. Anhand der Vorschaudaten und deren Güte, kann abgeschätzt werden, welcher Exot im Unterbrechungszeitraum benötigt wird. Hier liegt die eigentliche Schwierigkeit, da es sich nicht mehr um eine verbrauchsorientierte sondern eine bedarfsorientierte Steuerung mit den Risiken einer Änderung handelt. Trotzdem eignet sich hier ebenfalls die Einführung eines „Sonder-Kanban“ für die entsprechende Variante.

Grundsätzlich sollte die Schaffung des Vorlaufes möglichst lang gestreckt werden, um große Schwankungen beim Bedarf an Kaufteilen zu vermeiden. Es empfiehlt sich, die erforderlichen Mehrbedarfe mit den Lieferanten abzustimmen.

### 3.6 Ersatzteulfertigung

Es muss unterschieden werden, ob es sich bei den Ersatzteilbedarfen um Erzeugnis-Varianten der laufende Serie oder der Nachserie, also nach „End of Production“ (EOP) handelt. Der Bedarf kann ggf. nur aus Komponenten bestehen. Handelt es sich bei den zu liefernden Erzeugnis-Varianten um Verschleißteile (z.B. Luftfilter, Bremsscheiben, o.ä.) oder Ausfallteile (z.B. Kotflügel, Scheibe, o.ä.), so entsteht i.d.R. ein deutlich höherer Bedarf, der bereits in der Serie auftritt.

Generell besteht immer die grundsätzliche Frage, ob der Ersatzteilbedarf ausgelaufener Serien auf Anlagen parallel mit aktuellen Serien-Varianten gefertigt werden soll. Diese Frage ist unabhängig von der Steuerungsmethode zu klären. Eine separate Produktion in einer gesonderten Ersatzteulfertigung kommt der Produktionsnivellierung entgegen.

Bei Erzeugnis-Varianten der aktuellen Serie ist meistens der Bedarf im Planungshorizont schon bei der Ermittlung der Nivellierungsmengen bekannt und sollte, insbesondere bei Verschleißteilen, nicht unterschätzt werden. Auch die Anlieferhäufigkeit und deren Bedarfsmengen haben Einfluss auf die Nivellierung. Grundsätzlich gelten die in Kapitel 4.2 genannten Lösungsansätze. Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit, die Ersatzteile als Exoten zu definieren und in den dafür eingeplanten festen Zeiten zu produzieren.

---

<sup>58</sup> auch „Einmal-Kanban“ oder auch „Außerordentliche Kanban“ genannt

<sup>59</sup> vgl. Takeda, H. [2004]: Das synchrone Produktionssystem, 4. Auflage, Frankfurt a.M. 2004, S. 221



### 3.7 Indexwechsel

In der Serienproduktion treten immer wieder Änderungen am Fertigungserzeugnis oder an den Komponenten, dem sogenannten Indexwechsel, auf. Der An- bzw. Auslaufprozess ist genau zu definieren und erfordert ein hohes Maß an Disziplin aller beteiligten Mitarbeiter. Immer wieder auftretende Störgrößen sind, dass die Stammdaten nicht zeitgerecht geändert wurden oder dass das benötigte Kaufteil nicht termingerecht verfügbar ist.

Bei einer Nivellierung der Produktion ergeben sich durch einen Index-Wechsel kaum Auswirkungen. Die alte Erzeugnis-Variante wird durch die neue zu einem definierten Zeitpunkt ersetzt. Wird der Index auf den Kanban mitgeführt, was eigentlich aus qualitätssichernden Maßnahmen erforderlich sein sollte, sind die Kanban zu ersetzen.

Je häufiger ein Indexwechsel durchzuführen ist, desto öfters sind neue Kanban zu erstellen. Dieser nicht unerhebliche Zeitaufwand sollte möglichst schnell eliminiert werden. Es empfiehlt sich in diesem Fall die Einführung eines elektronischen Kanban.

Dieser IT-gestützte Prozess hat neben der Aufwandsreduzierung zur Erstellung noch den weiteren Vorteil, dass das physische Abholen bzw. Verbringen der Kanban entfällt. Im Heijunka-Prinzip löst die Information des Versands eines Gebindes durch Einscannen den Ausdruck eines Kanban am Drucker des Disponenten aus. Diese werden dann von ihm in das Overflow-Board gesteckt. Eine weitere IT-Unterstützung des Overflow- und des Heijunka-Boards bleibt davon unberührt, erscheint ab einer bestimmten Größenordnung sinnvoll.

### 3.8 Verpackungsarten des Kunden

Nicht selten sind bestimmte Erzeugnis-Varianten an mehr als eine Abladestelle des Kunden zu versenden. Solange sich die Verpackung nicht ändert, hat dies keine Auswirkungen auf das Heijunka-Prinzip. Treten allerdings unterschiedliche Arten auf, so ist zu entscheiden, ob die betreffenden Erzeugnis-Varianten in eigenen Kanban-Kreisläufen anzulegen sind. Dies hat zur Folge, dass die Bestände der Varianten mit unterschiedlichen Verpackungen ansteigen. Besteht ein Pitch aus mehreren Kanban, so gilt für diese Varianten eine Ausnahme im Heijunka-Prinzip. Die betreffenden Kanban dürfen zu einer Losgröße im Heijunka-Board zusammengefasst werden.

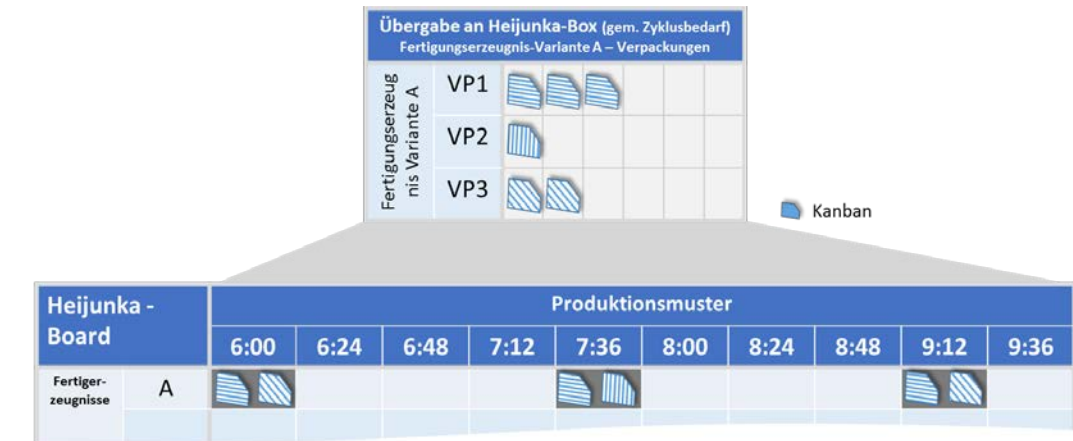


Abbildung 16: Auswirkungen von Erzeugnis-Varianten mit unterschiedlichen Verpackungen

Alternativ besteht die Möglichkeit, die Information zur Verpackung mit in das Heijunka-Board zu übergeben.

Es besteht allerdings die Gefahr, dass zwar die erforderliche Erzeugnis-Variante im Fertigwarenbestand verfügbar ist, aber in der falschen Verpackung. Dies kann dazu führen, dass ein zusätzlicher Umpackaufwand entsteht, um den Kunden termingerecht zu versorgen. Von der Wahl dieses Verfahrens ist abzuraten.

### 3.9 Sonderprozesse (Wartung/ Musterproduktion)

In einer Produktionsnivellierung nach dem Heijunka-Prinzip geht man von einem gleichbleibenden Produktionsmuster aus. Sind planbare Unterbrechungen, wie z.B. die wöchentliche Wartung der Anlagen, vorhanden, so muss dies Berücksichtigung finden. Je nach Dauer eines Produktionszyklus hat dies Auswirkungen auf das Produktionsmuster. Wird die Produktion im Wochenzyklus betrieben, so kann die wöchentliche Wartung fest im Produktionsmuster eingeplant werden. Bei der Berechnung des Kundentaktes sollte diese Unterbrechung den verfügbaren Produktionszeiten berücksichtigt werden.

Weicht die regelmäßig wiederkehrende Unterbrechung von der Dauer eines Zyklus ab, so ergeben sich verschiedene Lösungsansätze.

- Der einfachste Lösungsansatz, der auch im Toyota-Produktionssystem so verankert ist, ist die Durchführung des Sonderprozesses außerhalb der eingeplanten Produktionszeit. Dies ist auch einer der Gründe für das von Toyota bevorzugte Schichtmodell mit zwei Schichten á 10 Stunden. Die verbleibende Zeit pro Tag wird genutzt, um einerseits Sonderprozesse abzuwickeln und andererseits nicht erfüllte Produktionsmengen aufzufüllen.

Die Anwendung dieses Schichtmodells findet in den nicht nach dem Toyota-Produktions-System agierenden Unternehmen kaum Anwendung. Insbesondere in der Zulieferindustrie herrscht die Einstellung vor, dass die theoretisch vorhandene Produktionszeit voll ausgeschöpft werden sollte, um Investitionen möglichst gering

zu halten. Schichtmodelle mit regelmäßig 15, teilweise sogar 18-Schichten pro Woche, sind regelmäßig anzutreffen. Die Folgen der Komplexität und der zusätzlichen Kosten während der Laufzeit der Serie werden nicht kalkuliert. Verluste an geplanten Ausbringungsmengen durch Anlagenstörungen oder Ausschuss und Nacharbeit können während der Woche kaum aufgeholt werden. Erforderliche und geplante Wartungen müssen ggf. verschoben werden, um die Lieferfähigkeit aufrecht zu erhalten. Dieser Lösungsansatz lässt sich allerdings in laufenden Serien nicht kurzfristig umsetzen.

- Besteht keine Möglichkeit, die Sonderprozesse außerhalb der geplanten Produktionszeit durchzuführen, oder sind diese nicht gewollt, so ergeben sich direkte Auswirkungen auf die Produktionsnivellierung. Das Produktionsmuster ist individuell auf den durchzuführenden Sonderprozess anzupassen. Je nach Häufigkeit und Dauer der Sonderprozesse kann dies zu einer gravierenden Instabilität der Nivellierung und folglich zu nicht zu unterschätzenden Schwankungen im System führen. Abgesehen davon muss ein nicht unerheblicher Aufwand betrieben werden, um das Produktionsmuster neu zu planen.

Eine andere Lösungsmöglichkeit könnte sein, das Produktionsmuster zu erhalten und zeitlich so zu verschieben, dass mittels von Überstunden oder einer zusätzlichen Schicht, die geforderte Produktionsmenge erreicht werden kann. Konkret heißt dies, dass immer wenn ein Sonderprozess einzuplanen ist, Mehrarbeit in der Produktion notwendig wird. Es sollte allerdings eine wirtschaftliche Betrachtung erfolgen. Ist eine zeitliche Verschiebung des Produktionsmusters gegenüber dem Einsatz des benötigten Personals für den Sonderprozess außerhalb der regelmäßigen Produktionszeit wirklich kostengünstiger?

Analog zur Wartungsplanung im Heijunka-Prinzip gilt eine identische Vorgehensweise für die Erstellung des Produktionsmusters bei der Belegung der Anlage für eine Musterproduktion. Gerade die Kurzlebigkeit von elektronischen Komponenten und im Produkt implementierter Software führt bei Produkten, die diese Gegebenheiten beinhalten, zu Unterbrechungen im Produktionsablauf. Die erforderlichen Muster werden auf den vorhandenen Anlagen produziert. Es besteht in vielen Fällen die Verpflichtung, die Muster auf der beabsichtigten Serien-Anlage zu fertigen, um eine Serienfreigabe vom Kunden genau für diese Anlage zu erhalten.

In Anlaufsituationen entstehen immer wieder Konflikte zwischen der Produktion von Kunden geforderter Mengen und Freigaben für neue bzw. geänderte Varianten. Erfahrungsgemäß wird die Einplanung des Zeitpunktes und der Dauer für die Musterproduktion problematisch. Sofern das Heijunka-Produktionsmuster nicht erhalten bleiben und nicht zeitlich verschoben werden kann, ist folgender Lösungsansatz zielführend im Sinne der Produktionsnivellierung. Es sollten im Heijunka-Produktionsmuster feste Zeiten eingeplant und die dafür vorgesehene Dauer mit den Mitarbeitern, die für die Musterproduktion verantwortlich sind, abgestimmt

werden. Es ist hierbei abzuwägen, ob es nicht sinnvoll es ist, mehrere Zeiträume innerhalb einer Woche zu fixieren. Nicht selten liegt eine gewisse Dringlichkeit der Musterproduktion vor.

### 3.10 Abtaktung und Verkettung

Wenn alle Fertigungsschritte in einem einheitlichen Takt durchgeführt werden und jede Anlage die gleiche Zykluszeit besitzt, kann das Material fließen. Pufferbestände zwischen den Fertigungsschritten können eliminiert, zumindest auf ein Ausfallrisiko reduziert werden. Hierdurch wird eine Verkettung der Anlagen möglich. Um eine minimale Durchlaufzeit zu erreichen, sind die Anlagen auf einen einheitlichen Takt, dem Kundentakt, abzustimmen. Dieser Prozess wird allgemein als Abtaktung bezeichnet.

Ein mit einer gleichmäßigen Geschwindigkeit laufendes Fließband bietet also die ideale Voraussetzung für die Minimierung der Bestände. Die Anzahl der Fertigungsschritte und die Dauer der einzelnen Bearbeitungszeiten bestimmen die Länge des Fließbandes. Um die idealen Voraussetzungen für eine Produktionsnivellierung zu erreichen, sind die einzelnen Fertigungsschritte am Kundentakt auszurichten und zu verketteten.

In der Praxis sind nicht selten andere Gegebenheiten vorzufinden. Teure Anlagen in Vorfertigungsprozessen sind so ausgelegt, dass diese i.d.R. im 3-Schicht-Betrieb, in besonderen Fällen sogar 7-Tage pro Woche mit jeweils 24 Stunden am Tag, eingesetzt werden. Die Stückkosten der Anlage können hierdurch reduziert werden. Allerdings werden nicht selten die folgenden Fertigungsschritte in einem anderen Schichtmodell gefahren. Im ungünstigsten Fall muss am Wochenende vorproduziert werden, da die Zykluszeit der Anlage kürzer ist, als die der folgenden Fertigungsschritte. Hierfür werden Bestände aufgebaut, die im Verlauf der Woche zusätzlich benötigt werden. Kommt es zu Störungen, kann die Verlustzeit, d.h. die fehlenden Bestände, nicht mehr aufgeholt werden. Um einem Abriss vorzubeugen, werden hohe Bestände vor dem nächsten Fertigungsschritt vorgehalten.

Um eine entsprechende Auslastung sicherzustellen, ist eine Belegung der Anlage mit unterschiedlichen Produktfamilien häufig die Folge. Es kommt verständlicherweise bei neuen Projekten vor, die zusätzlich benötigten Teile auf die vorhandene Anlage zu bringen. Es wird bewusst in Kauf genommen, dass Störungen zu gravierenden Auswirkungen, bis hin zum Kundenabriss, führen können.

Viele Anlagen verfügen, sofern nicht in der Losgröße 1 produziert werden kann, über Vorrichtungen zum Wechsel von Werkzeugen, um die jeweiligen Varianten zu erzeugen. Dies impliziert wiederum Rüstvorgänge. Um nun eine möglichst hohe Ausbringungsmenge zu erhalten, werden Rüstvorgänge gemieden und große Lose produziert. Nicht nur WIP-Bestände nehmen zu, sondern auch die Komplexität der Steuerung steigt. Es stellt sich die Frage, wann genau welche Variante in welcher

Menge produziert werden muss. Insbesondere bei Störungen oder qualitativ schlechten Komponenten treten kaum beherrschbare Steuerungsprozesse auf, um einen Abriss in den folgenden Fertigungsschritten zu vermeiden.

Um eine Abtaktung herzustellen, ist es zwingend erforderlich, in kleinen Losen zu produzieren. Auch hier hilft die Methode des Rüstens im einstelligen Minutenbereich (SMED). Die Dauer der Unterbrechungen vom letzten einwandfreien Teil einer Variante bis zum ersten „Gutstück“ der nächsten Variante wird reduziert. Irrtümlicherweise wird diese Methode häufig missbraucht, um die Ausbringungsmenge zu erhöhen. Die Begründung liegt häufig in der Bestimmung der optimalen Losgröße nach Andler<sup>60</sup>. Nachweislich berücksichtigt die Formel allerdings nicht die Durchlaufzeit- und die Komplexitätskosten. Ziel der SMED-Methode ist vielmehr, die Losgrößen bei gleichbleibender Auslastung zu reduzieren. Man muss sich darüber im Klaren sein, dass hierdurch die Anzahl der Rüstvorgänge steigt. Nachvollziehbar ist dies sicherlich nicht im Sinne der Mitarbeiter (Einrichter), die die Anlagen rüsten. Durch die Nivellierung lässt sich der Einsatz der Einrichter optimieren, da die Rüstvorgänge an verschiedenen Anlagen zeitlich abgestimmt werden können.

Den Entscheidern für Investitionen in Anlagen sind häufig die Folgekosten in der Serie nicht bewusst. Eine auf den Gesamtprozess ausgerichtete Amortisationsrechnung kann in den meisten Fällen für Klärung sorgen.

Es bleibt für die Nivellierung festzuhalten, dass im Idealfall Anlagen auf den Kundentakt für eine Produktfamilie auszulegen sind. Nur so wird eine Verkettung mit geringsten Beständen möglich. Eine Vermischung mehrerer Produktfamilien auf einer Anlage führt zu Konflikten, zu Beständen, den damit verbundenen Flächenbedarfen und zur Erhöhung der Komplexität der Steuerung. Es kann wirtschaftlich sein, anstelle einer Anlage mit hoher Ausbringungsmenge besser zwei kleinere Anlagen mit geringeren Zykluszeiten zu installieren. Eine Nivellierung bedingt kleine Lose. Folglich sind die Rüstzeiten zu reduzieren.

### 3.11 Fehlende Möglichkeit zum Bestandsaufbau

Um eine Produktionsnivellierung einzuführen, müssen die notwendigen Bestände an Erzeugnis-Varianten in der erforderlichen Höhe vorhanden sein. Vor der Aktivierung der Nivellierung sind folglich der notwendige Bestandsaufbau fehlender Erzeugnis-Varianten und der -abbau überschüssiger sicherzustellen.

In mehreren Projekten kam es bei der Einführung der Produktionsnivellierung zu Schwierigkeiten. Der Bestand einiger Erzeugnis-Varianten war so gering, dass ein Schwankungspuffer kurzfristig innerhalb der normalen Produktionszeit nicht aufgebaut werden konnte. Andere waren wiederum viel zu hoch. Dies führte zu ständigen Verwirbelungen im Produktionsmuster. Der erwartete Effekt der Nivellierung blieb aus. Erst als die Entscheidung getroffen wurde, über zusätzliche Schichten den Bestand

---

<sup>60</sup> vgl. Andler, K. [1929]: Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße, München 1929

der fehlenden Erzeugnis-Varianten aufzubauen, kam es zu einem weiteren Effekt. Da es sehr hohe Bestände anderer Erzeugnis-Varianten gab, die aktuell nicht benötigt wurden, konnten auch keine Fertigungsaufträge erzeugt werden. Das Produktionsmuster konnte folglich nicht gefüllt werden. Dies führte nun dazu, dass die betreffenden Pitches übersprungen werden mussten. Jetzt stand auf einmal Produktionszeit zur Verfügung, was für den Mitarbeiter sehr verwirrend war – erst Überstunden, dann Überstundenabbau. Nachdem die Bestände das erforderliche Niveau erreicht hatten, beruhigte sich das System und die positiven Auswirkungen wurden sichtbar. Natürlich traten immer wieder Störgrößen auf, wie z.B. Fehlteile oder Engpässe an für alle Produktfamilien genutzte Anlagen. Aufgrund des transparenten Systems wurden diese deutlich beherrschbarer.

## 4 Empfohlene Anpassungen

Es ist leicht nachvollziehbar, dass sich die Materialversorgung der Produktion und die notwendigen Mengen der Lieferanten zwangsläufig nivellieren. Es ergeben sich weitere Chancen, das System zu optimieren.

### 4.1 Kanban für Kaufteile in der Produktionsversorgung

Die Versorgung mit Material seitens der Lieferanten erfolgt in größeren Mengen als die Bereitstellung dieser Teile für die Produktion. Es ist davon auszugehen, dass die Lieferanten ihre Teile in ein Lager in Produktionsnähe liefern. Von dort aus werden die benötigten Mengen den Arbeitsplätzen zugeführt. Eine Rücklagerung sollte generell vermieden werden, da hierdurch zusätzliche und unnötige Transportbewegungen entstehen. Es empfiehlt sich deshalb, die Produktionsversorgung mit Kaufteilen analog zu den Fertigerzeugnissen ebenfalls über das Kanban-Prinzip sicherzustellen. Im Folgenden wird dieses Materialbereitstellungsprinzip als „Teile-Kanban“ bezeichnet.

Bedingt durch die gleichmäßige Produktion werden Spitzen beim Verbrauch einzelner Kaufteile an den Arbeitsplätzen vermieden. Folglich reduziert sich die Anzahl der notwendigen Teile-Kanban pro Materialnummer im Kreislauf. Folglich muss weniger Fläche in der Produktion vorgehalten werden. Wenn also bisher Großladungsträger und ganze Paletten in die Produktion verbracht worden sind, so wird es möglich sein, den überwiegenden Teil der benötigten Materialnummern in Kleinladungsträgern bereit zu stellen. Eine derartige Produktionsversorgung über das Kanban-Prinzip impliziert die Transporte per Routenzug.

Dieses Prinzip verursacht allerdings i.d.R. einen Anpassungsbedarf bei den Verpackungen der Kaufteile. Nicht selten treten bei der Umsetzung größere Schwierigkeiten auf. Wurden Teile von den Lieferanten bisher auf Großladungsträgern,

z.B. in Form einer Euro-Gitterbox<sup>61</sup>, versendet, so ist bei einer Verpackungsumstellung auf Kleinladungsträger oder Kartonagen auf Palette davon auszugehen, dass das Transportvolumen sich mindestens um den Faktor 1,5 erhöht. Neben den höheren Transportkosten ergeben sich zusätzliche Kosten für Kleinladungsträger oder Kartonagen. Häufig sind dies die Gründe, die zu einer Erhöhung der Beschaffungskosten führen und seitens des Einkaufs nicht mitgetragen werden.

Es ist deshalb eine Teile-bezogene Kalkulation durchzuführen, um die Wirtschaftlichkeit nachzuweisen. Es sollte dabei in einem ersten Schritt auch in Erwägung gezogen werden, die bisherige Verpackung beizubehalten und die Teile umzupacken. Nach der Philosophie des Toyota-Produktionssystems ist dieser Umpack-Prozess nicht wertschöpfend und sollte mittel- bis langfristig eliminiert werden.

Häufig werden in der hierfür notwendigen Kalkulation bei der Flächensparnis im Wertschöpfungsbereich nur die reinen betriebswirtschaftlichen Kosten auf Basis einer Investitionsrechnung zu Grunde gelegt. Diese Berechnungsform unterstellt allerdings, dass eine Erweiterung variabel, unendlich möglich und nicht sprungfix erfolgt. Sinnvoll erscheint dagegen, die Rendite pro Quadratmeter Produktionsfläche anzusetzen, da in Realität auf einer geringeren Fläche die Wertschöpfung erzielt werden kann. Zudem hat die Berechnungsgrundlage den Vorteil, dass alle Overhead-Kosten und sämtliche Betriebskosten berücksichtigt werden.

Ein nicht zu unterschätzender Kostenvorteil des Kanban-Prinzips liegt darin, dass das Wertschöpfungspersonal selbst den Nachschub auslöst. Bei Einführung entfallen diese Tätigkeiten bei den so genannten Materialbereitstellern oder bei Einrichtern, die diese Tätigkeit mit durchführen. Zudem neigen die bestellenden Produktionsmitarbeiter dazu, sich als Reserve einen höheren Bestand vorzuhalten, was folglich bei einem Variantenwechsel zu Restbeständen in der Produktion oder zu zusätzlichen Rücklagerungen führt.

Ein nicht selten auftretender Effekt bei einer Kanban-Umsetzung zur Materialversorgung der Produktion ist, dass zu bestimmten Zeiten geblockt aus dem Lager angefordert wird. Es werden also die Kanban gesammelt und immer zu für den Mitarbeiter geeigneten Zeiten, z.B. Pausen oder Schichtwechsel, bestellt. Dies führt zwangsläufig zu ungleichmäßiger Belastung in der Kommissionierung und zu starken Schwankungen in der Auslastung des innerbetrieblichen Transportes. Das Auffangen dieser Schwankungen kann nur mit erhöhtem Personalaufwand in der Logistik sichergestellt werden. Da man hier aber ebenfalls eine gleichmäßige Auslastung realisieren möchte, führt die Pulk-Anforderung zwangsläufig zu verspäteten Anlieferungen an den Arbeitsplätzen. Folge daraus ist, dass der Teile-Bestand in der Produktion wieder erhöht wird und zusätzliche Kanban für die jeweiligen Teilenummern eingeführt werden. Um die Effizienz des Systems zu gewährleisten, muss sichergestellt werden, dass die Anforderung aufgrund des Verbrauches

---

<sup>61</sup> Die Euro-Gitterbox ist ein standardisierter Poolbehälter, siehe hierzu: Gütegemeinschaft Paletten e.V.: EPAL – Gitterbox, aufgerufen am 02.10.2013 unter: <http://www.gpal.de/index.php?lang=1&idcatside=33>

unmittelbar erfolgt. Innovative Systeme ermöglichen, dass bei Entnahme eines Behälters aus einem Regal über eine Sensorik, automatisch eine Nachbestellung erfolgt. Somit wird das Argument der zusätzlichen zeitlichen Belastung des wertschöpfenden Personals entkräftet.

Ein weiterer Fehler, der immer wieder auftritt, sind unterschiedliche Schichtmodelle in der Produktion und der versorgenden Logistik. Um vermeintlich Kosten für die Bereitstellung des Materials z.B. an Wochenend- oder Nachtschichten zu reduzieren, soll das voraussichtlich benötigte Material vorab bereitgestellt werden. Erfahrungsgemäß treten genau hier nicht unerhebliche Probleme auf, da die Fläche hierfür in der Produktion häufig nicht vorhanden ist oder durch Qualitätsmängel oder kurzfristige Änderungen des Produktionsplans nicht das tatsächlich notwendige Material verfügbar ist. Es ist deshalb dringend zu empfehlen, dass in Produktionszeiten auch eine logistische Versorgung sichergestellt wird.

## 4.2 Lieferanten-Kanban / Vendor Managed Inventory

Sobald die Nivellierung der Produktion wirksam wird, ergeben sich zwangsläufig auch Effekte für die Anlieferungsmengen der Lieferanten. Durch den gleichmäßigen Verbrauch in der Produktion entstehen gleichmäßige Bedarfe an Zulieferteilen. Auch hier eignet sich das Kanban-System. Ist eine Palette verbraucht worden, so kann der Bestellimpuls zur Nachlieferung der betreffenden Materialnummer automatisch an den Lieferanten übermittelt werden. Für die Dimensionierung der Kanban-Kreisläufe spielt die Wiederbeschaffungszeit bzw. die Anlieferhäufigkeit eine erhebliche Rolle.

Vendor Managed Inventory (VMI)<sup>62</sup> – Systeme stoßen immer wieder aufgrund großer Bedarfsschwankungen an ihre Grenzen. Durch die Übertragung der Verantwortung zur Wiederauffüllung innerhalb vorgegebener Mindest- und Maximalgrenzen auf den Lieferanten lassen sich eigene Aufwände reduzieren. Im Falle einer funktionierenden Nivellierung ergeben durchaus weitere Optimierungspotentiale. Durch die Nivellierung lässt sich die Spannweite zwischen den Minimal- und Maximalgrenzen verringern. Die Komplexität wird reduziert und das Verfahren in seinem ursprünglichen Grundgedanken viel wirksamer realisierbar.

## 4.3 Routenzug

Der Einsatz von Routenzügen zur Produktionsversorgung von Kleinladungsträgern und kleineren Kartonagen hat sich bewährt. Die Gefahr von Unfällen gegenüber einem

---

<sup>62</sup> vgl. Schulte, C. [2013]: Logistik - Wege zur Optimierung der Supply Chain, 6. überarb. Auflage, München 2013, S. 496



Staplereinsatz hat sich deutlich verringert. Die Wirtschaftlichkeit ist in den meisten Fällen gegeben.<sup>63</sup>

Ziel ist es, eine Fabrik ohne Stapler im Produktionsumfeld sicherzustellen. Konkret heißt dies, dass im Wertschöpfungsbereich keine Stapler im Einsatz sind. Ausgenommen hiervon sind die logistischen Bereiche Wareneingang, Lager und Versand.

Während der Einsatz von Routenzügen für Kleinladungsträger oder Kartonagen einfach realisieren ist, besteht eine größere Herausforderung bei den Großladungsträgern. Als zweckmäßig und wirtschaftlich hat sich der Einsatz von sogenannten „Frames“ als Anhänger erwiesen. Die Behälter stehen auf rollbaren Trolleys und werden in den Frame hinein- bzw. herausgeschoben. Die dadurch beweglichen Großladungsträger haben den Vorteil, dass der Mitarbeiter am Arbeitsplatz ohne weitere Hilfsmittel den Behälter an die erforderliche Position schieben kann. Aus der Erfahrung heraus gibt es die Einschränkung, dass bei einem Behältergewicht für Großladungsträger von über 500 kg das manuelle Schieben durch einen Mitarbeiter kaum noch zu gewährleisten und ergonomisch als kritisch zu beurteilen ist.

Sowohl für Groß- als auch für Kleinladungsträger gilt, dass das Leergut bei jedem Versorgungspunkt der Tour sofort zu tauschen ist. Folglich muss eine deutlich geringe Fläche für Leergut in der Fertigung vorgehalten werden. Die Auslastung des Routenzuges auf seiner gesamten Tour wird sichergestellt. Am Ende jeder Route wird ein zentraler Leergutplatz angefahren und das aufgenommene Leergut abgestellt. Analog gilt für Routenzüge mit Fertigerzeugnissen, dass das notwendige Kundenleergut möglichst nicht erst in der Produktion sondern in einem Logistikbereich aufgebaut wird und den Arbeitsplätzen zugeführt wird. Behälter mit fertigen Erzeugnissen werden anschließend direkt aufgenommen. Somit kann einerseits Fläche in der Nähe der Arbeitsplätze eingespart und andererseits die Arbeitszeit der Produktionsmitarbeiter auf die eigentliche Wertschöpfung konzentriert werden.

Als eine nicht unbedingt triviale logistische Planungsaufgabe ist die Routenzugplanung zu beurteilen. Das Sicherstellen der Auslastung des Routenzuges, die Streckenfestlegung, die Anzahl der Haltestellen pro Tour sowie die zeitlichen Restriktionen bezüglich der Fahrt- und Wiederbeschaffungszeiten bei einem hohen Transportvolumen, führen bei einer nicht nivellierten Produktion zu immer neuen Überplanungen. Ein Routineeffekt kann nur bedingt einsetzen. Eine nivellierte Produktion vereinfacht die Problemstellung erheblich, bietet eine verlässlichere Planungsgrundlage und eine gleichmäßigere Auslastung der Routenzüge.

---

<sup>63</sup> vgl. Günthner, W. (Hrsg.) [2012]: Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport - Ergebnisse einer Studie; München 2012

## 4.4 Arbeitsplatzgestaltung

Bei der Wertschöpfungsorientierung geht man davon aus, dass der Produktionsmitarbeiter seinen Arbeitsplatz für die Materialversorgung möglichst nicht verlassen muss. Somit kann die Arbeitszeit auf die eigentlichen wertschöpfenden Tätigkeiten konzentriert werden.

Dies hat zur Folge, dass die Arbeitsplätze entsprechend zu gestalten sind. Dies kann durch integrierte Rollenbahnen für die benötigten Materialien und separaten Leergut-Rücklaufspuren sichergestellt werden. Der Routenzugfahrer kann somit das benötigte Material direkt am Arbeitsplatz bereitstellen und das angefallene Leergut direkt aufnehmen. Im Idealfall erfolgen die Bestückungen der Behälter und die Leergutaufnahme direkt vom Fahrweg.

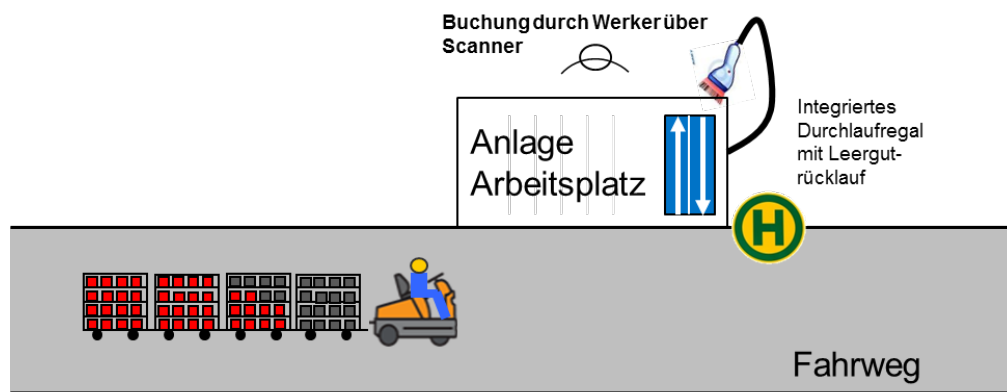


Abbildung 17: Ideale Arbeitsplatzgestaltung

An Arbeitsplätzen mit einer hohen Variantenzahl und entsprechenden Rüstvorgängen hat sich der Einsatz mobiler Regale bewährt. Somit kann sichergestellt werden, dass alle Teilenummern am Arbeitsplatz verfügbar sind. Bei einem Rüstvorgang werden nur die Regale getauscht. Auf den Kanban- und Routenzugprozess hat dieser Fall keinerlei Auswirkungen.

## 5 Software-Lösungen

Viele Unternehmen haben die Unternehmenssoftware SAP im Einsatz. Die im Folgenden getroffenen Aussagen gelten auch für andere Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme.

Das Stecken von Kanban im Overflowboard und Heijunka-Box ist ohne Einschränkungen möglich. Störungen im Nivellierungssystem werden allerdings nicht sofort sichtbar. Ab einer bestimmten Größenordnung ist die Automatisierung zur Reduzierung des manuellen Aufwands wirtschaftlich. Werden viele Schrittmacher-Prozesse manuell gesteuert, so geht die Übersicht verloren und die Fehleranfälligkeit des Systems steigt an. Auswertungen bzgl. einer Veränderung des Kunden-Abrufverhaltens sind ohne entsprechende IT-technische Unterstützung kaum realisierbar.

Kleine Tools, häufig auf Microsoft Excel- oder Access-Basis, werden als Hilfsinstrumente geschaffen, um die Produktionsnivellierung zu implementieren. Schnittstellen zum Produktionsplanungs- und Steuerungssystem liegen selten vor. Der dispositive Aufwand steigt, da mehrere Systeme unabhängig voneinander betrieben werden müssen. Eine Daten-Konsistenz zum ERP-System<sup>64</sup> kann kaum aufrechterhalten werden. Um eine Lösung mit möglichst geringen Kosten zu realisieren, werden in der Unternehmenssoftware Routine-Auswertungen erstellt, die dann in Excel oder Access exportiert und dort zur Erstellung eines Produktionsmusters weiterverarbeitet werden. Bis zu einem begrenzten Umfang ist diese Methode umsetzbar. Die Gefahr von Fehlern in Formeln, die kurzfristige Nichtverfügbarkeit der erforderlichen Datei und nicht zuletzt die fehlende Transparenz sowie der Ausschluss der gleichzeitigen Bearbeitung sind nur einige der Risiken. Kurzfristige Störungen im Prozess, die eine Anpassung oder Verschiebung des Produktionsmusters erfordern, sind nicht mehr abbildbar. Daher sollte die Integration der Produktionsnivellierung im federführenden System erfolgen.

Eine deutlich weiterführende Lösung zur Implementierung der Produktionsnivellierung sind Erweiterungen des ERP-Systems, sogenannte „Extensions“ oder „Add-on´s“. Neben den erforderlichen Analysen können verschiedene Nivellierungsmethoden, z.B. unter Berücksichtigung von Kapazitäten und Rüstzeiten, gewählt werden und in einer Heijunka-Plantafel visualisiert und simuliert werden.<sup>65</sup> Ein Alert-Monitor zeigt bei Veränderungen des Bedarfes an, dass Anpassungen notwendig werden.<sup>66</sup>

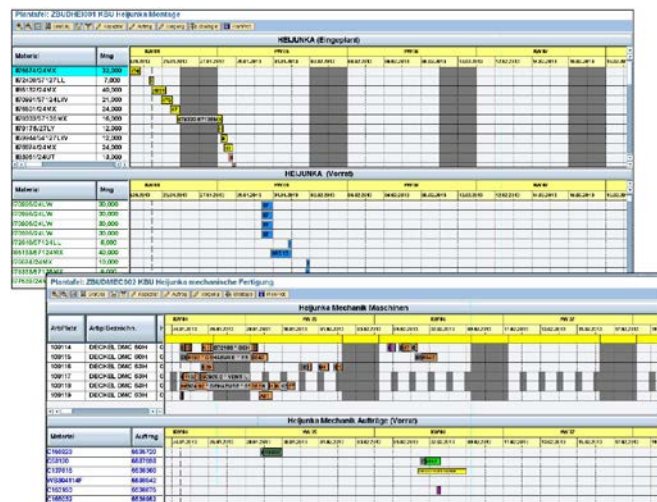


Abbildung 18: Beispiel einer im SAP ERP realisierten Heijunka-Lösung<sup>67</sup>

<sup>64</sup> vgl. Schulte, C. [2013]: Logistik - Wege zur Optimierung der Supply Chain, 6. überarb. Auflage, München 2013, S. 144f.

<sup>65</sup> vgl. Kosmak, C. [2010]: Durchgängig – Heijunka-nivelliertes Kanban-System, erschienen in: SALT solutions (Hrsg.), Würzburg, Oktober 2010, S.2f., aufgerufen am 26.09.2013 unter: <http://www.salt-solutions.de/fileadmin/salt/downloads/Solutions/Solutions-Produktion-10-10-SAP-und-Lean-Production.pdf>

<sup>66</sup> ebda.

<sup>67</sup> Consilio IT-Lösungen [2013]: Die 5 Tage Fabrik – Ein einmaliges Erfolgskonzept, aufgerufen am 29.09.2013 unter: <http://www.consilio->

SAP selbst bietet eine integrierte Lösung im ERP-System für die nivellierte Produktion an.<sup>68</sup> Durch Anpassung im Customizing der Sequenzplanung im Planungsprofil und im Verfahrensprofil lässt sich das Heijunka-Prinzip im SAP-ERP bedingt realisieren.

Eine weitere Lösung bietet SAP SCM APO. Mit der Modell-Mix-Planung und dem Sequenzing besteht im APO PP/DS. Es können eigene Heuristiken-Algorithmen für die Reihenfolgebildung eingesetzt werden.<sup>69</sup>

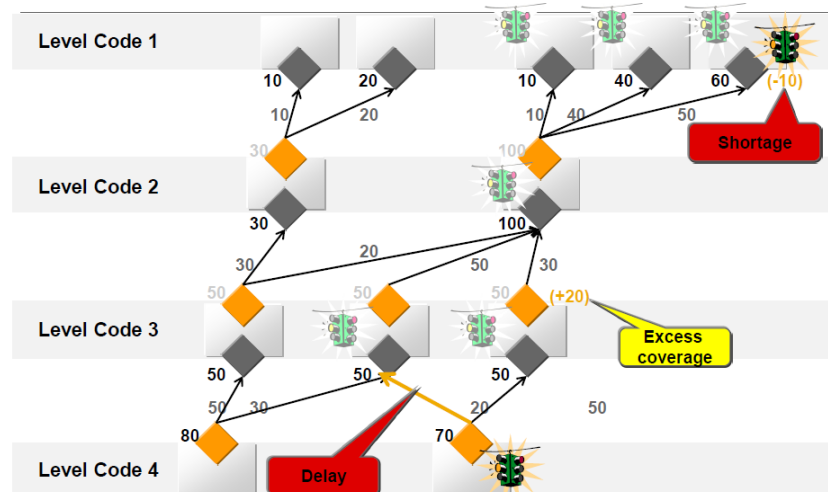


Abbildung 19: Nutzung von Pegging Informationen<sup>70</sup>

Mittels des Pegging lassen sich Aufträge in den einzelnen Fertigungsstufen den konkreten Bedarfen zuordnen.<sup>71</sup> Bei einer Realisierung über SAP bleibt anzumerken, dass die Restriktionen für die Reihenfolgeplanung zu einer hohen Komplexität und zu Zielkonflikten führen.

In Abhängigkeit von den bereits eingesetzten Komponenten sollte ein Vergleich erstellt und die einzelnen Merkmale individuell gewichtet werden.

[gmbh.de/ProdukteundLoesungen/ProdukteundLoesungen\\_download/Consilio%20Add-On%20Loesungen/Success%20Story%20Knorr%20Bremse%20Heijunka.pdf](http://gmbh.de/ProdukteundLoesungen/ProdukteundLoesungen_download/Consilio%20Add-On%20Loesungen/Success%20Story%20Knorr%20Bremse%20Heijunka.pdf)

<sup>68</sup> vgl. SAP-Help-Portal [2013a]: Produktionsglättung (Heijunka) im SAP-System, SAP-Help-Portal, aufgerufen am 26.09.2013 unter:

[http://help.sap.com/saphelp\\_me52/helpdata/DE/45/5918d1b58c2a4ce10000000a11466f/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_me52/helpdata/DE/45/5918d1b58c2a4ce10000000a11466f/content.htm)

<sup>69</sup> vgl. Löhle, J. [2013]: Heijunka mit SAP: Ein Widerspruch?, erschienen in B4Bmedia.net(Hrsg.): Das E-3 Magazin, Februar 2013, S. 85

<sup>70</sup> ebda.

<sup>71</sup> vgl. SAP-Help-Portal [2013b]: Pegging im SAP-System, SAP-Help-Portal, aufgerufen am 29.09.2013 unter:

[http://help.sap.com/saphelp\\_apo/helpdata/de/69/2569370bec8732e10000009b38f8cf/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_apo/helpdata/de/69/2569370bec8732e10000009b38f8cf/content.htm)

Merkmale	Wichtigkeit	Autarkes Tool	SAP-ERP	SAP-APO
<b>Umsetzbarkeit</b>	<b>hoch</b>	<b>kurzfristig</b>	<b>mittelfristig</b>	<b>mittelfristig</b>
<b>Funktionalität</b>	<b>mittel-hoch</b>	<b>ausreichend</b>	<b>gut</b>	<b>gut</b>
• Planungsszenarien	mittel	nein	nein	ja
• Kanban Heijunka	niedrig	ja	ja	nein
• Reihenfolgeplanung/ -optimierung	hoch	nein/ nein	ja/ nein	ja/ ja
• Planungsaktualität	hoch	wochengenau	sekundengenau	sekundengenau
• Alert-Funktion	hoch	nein	ja	ja
• Kurzfristige Eingriffsmöglichkeit	hoch	nein	ja	ja
• Steuerung unfertige Erzeugnisse	mittel	Signal-Kanban	Signal-Kanban	Pegging
• Materialverfügbarkeitsprüfung	mittel	nein	ja	ja
<b>Einmalkosten</b>	<b>mittel</b>	<b>niedrig</b>	<b>mittel</b>	<b>mittel-hoch</b>
<b>Wirtschaftlichkeit</b>	<b>hoch</b>	<b>mittel</b>	<b>hoch</b>	<b>hoch</b>

Abbildung 20: Beispielhafte Gegenüberstellung entscheidungsrelevanter Merkmale

Bei allen bekannten IT-gestützten Lösungen werden unterschiedliche Nivellierungsansätze verfolgt. Ein Standard zur Berechnung, wie in Kapitel 2.2.5 vorgeschlagen, liegt nicht vor. Vielmehr werden individuelle Lösungen für Unternehmen realisiert.

## 6 Güte der Nivellierung

Neben des EPEI lassen sich weitere Kennzahlen ermitteln, die Aufschluss über die Güte der Nivellierung und deren Entwicklung geben. In Anlehnung an das Perlenkettenkonzept kann man Aussagen über die Einhaltung der Reihenfolge (Reihenfolgequalität), die Einhaltung der vorgegebenen Bearbeitungszeiten (Vorgabezeitgüte) und über die Durchlaufzeit (Flussgrad) geben.<sup>72</sup>

### Reihenfolgequalität

Über die Reihenfolgequalität wird der Verwirbelungsgrad des Produktionsmusters gemessen. Ein häufiges Durchbrechen der geplanten Reihenfolge führt zur Abschwächung der Nivellierungseffekte. Eine niedrige Qualität ist ein Indikator für häufige Störungen.

<sup>72</sup> vgl. Meißner, S. [2008]: Logistische Stabilität in der automobilen Variantenfertigung, TU München, Dissertation 2008, S. 71 ff.

### **Vorgabezeitgüte**

Die Vorgabezeitgüte misst das Einhalten der Pitches der Heijunka-Box. Diese Kennzahl ist ein Indikator für eine unzureichende Abtaktung.

Wird schneller geplant produziert, nehmen die Bestände vor dem betreffenden Fertigungsschritt ab. Es entstehen Stillstände, wenn der Bestand der vorgelagerten Prozesse aufgebraucht ist und nicht in der notwendigen Geschwindigkeit nachproduziert werden kann. Die Kapazität der Anlage wird nicht ausgelastet. Werden die betreffenden Bestände vor der Anlage erhöht, so verlängert sich die Durchlaufzeit.

Reicht die vorgegebene Zeit nicht aus, so steigen die Bestände bis zu dem maximal definierten Pufferbestand vor der Anlage an. In einem PULL-Prinzip müssen die vorgelagerten Fertigungsschritte die Produktion unterbrechen. Dies führt zu einer unzureichenden Auslastung dieser Anlagen. Eine weitere Ursache dafür, dass die vorgesehenen Zeiten überschritten werden, liegt bei fehlenden Teilen oder Komponenten.

### **Flussgrad**

Der Flussgrad gibt das Verhältnis zwischen Bearbeitungs- und Liegezeiten über alle Fertigungsschritte an. Er ist ein Indikator für die Durchlaufzeit. Es besteht ein direkter Zusammenhang zur Abtaktung. Sind alle Fertigungsschritte aufeinander zeitlich abgestimmt, werden nur minimale Bestände zwischen den einzelnen Anlagen im Fertigungsverlauf benötigt.

Um das Ziel der Nivellierung, eine gleichmäßige und stabile Produktion, zu erreichen, sind Verwirbelungen in der Reihenfolge, Störungen im Prozess, dadurch bedingte längere Bearbeitungszeiten und Liegezeiten sowie hohe Bestände durch große Lose oder fehlende Abtaktung im Prozess weitestgehend zu eliminieren.

## **7 Zusammenfassung**

Die Nivellierung und Glättung der Produktion ist eine zwingende Voraussetzung, um die Instrumente der Just-in-Time-Philosophie effizient einzusetzen. Die dem Bull-Whip-Effekt entgegengesetzte Wirkung beruhigt nicht nur die Produktion sondern auch die Lieferantenkette. Allerdings gibt es eine Reihe von Randbedingungen, die eine Anpassung des Systems in der Umsetzung erfordern. Grundsätzlich gelten folgende Aussagen:

- Eine fehlende Abtaktung führt zu höheren Beständen im Prozess und erfordert zusätzlich zu berücksichtigende Restriktionen bei der Nivellierung.
- Störanfällige Anlagen und häufige Fehlteile erschweren eine Nivellierung.
- Hohe Einmal-Bedarfe des Kunden führen im Nivellierungskonzept zu erhöhten Beständen.

Um dem entgegen zu wirken und die Effektivität der Produktionsnivellierung besser zu nutzen, sind mittel- bis langfristige Maßnahmen einzuleiten. Diese beginnen in der fertigungsgerechten Produktgestaltung, der Anlagenplanung, der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit der Anlagen und der Versorgungssicherheit durch die Lieferanten.

Die vorliegende Arbeit soll einen Impuls geben, Komplexität in den Prozessen zu reduzieren, damit das Material über die gesamte Lieferkette fließen kann. Die unternehmensübergreifende Transparenz und die sich daraus ergebende Steuerungsmöglichkeit haben hierbei eine elementare Bedeutung.

## Literaturverzeichnis

- Andler, K. [1929]: Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße, München 1929
- Applegate, D. L.; Bixby, R. E.; Chvátal, V.; Cook, W. J. [2007]: The Traveling Salesman Problem. A Computational Study. Princeton University Press, Februar 2007
- Buch, F.; Deuse, J. [2011]: Herausforderungen der variantenreichen Fließmontage – TU Dortmund, erschienen in: Industrielle Montage, Eine Informationsschrift der Arbeitsgemeinschaft: Lehrstuhl für Arbeits- und Produktionssysteme Prof. Dr. Deuse, TU Dortmund, Industrieberatung Montage Prof. B. Lotter, Oberderdingen, LP-Montagetechnik GmbH, Erlangen, K + S Anlagenbau GmbH, Lengenwang / Allgäu, Hans Pausch GmbH & Co KG, Erlangen; Ausgabe 1, 2011
- Bundesministerium für Bildung und Forschung [2013]: Zukunftsprojekt Industrie 4.0 vom 04.03.2013  
<http://www.bmbf.de/de/19955.php> aufgerufen am 26.08.2013
- Consilio IT-Lösungen [2013]: Die 5 Tage Fabrik – Ein einmaliges Erfolgskonzept, aufgerufen am 29.09.2013 unter:  
[http://www.consilio-gmbh.de/ProdukteundLoesungen/ProdukteundLoesungen\\_download/Consilio%20Add-On%20Loesungen/Success%20Story%20Knorr%20Bremse%20Heijunka.pdf](http://www.consilio-gmbh.de/ProdukteundLoesungen/ProdukteundLoesungen_download/Consilio%20Add-On%20Loesungen/Success%20Story%20Knorr%20Bremse%20Heijunka.pdf)David L. Applegate, Robert E. Bixby, Vašek Chvátal, and William J. Cook:  
The Traveling Salesman Problem. A Computational Study. Princeton University Press, Februar 2007
- Deuse, J.; Bohnen, F. [2011]: Entwicklung einer systematischen Vorgehensweise zur Produktionsnivellierung der variantenreichen Kleinserienfertigung, IGF-Forschungsvorhaben 15865 N/1, Schlussbericht, München, Januar 2011
- Dickmann, P. (Hrsg.) [2009]: Schlanker Materialfluss mit Lean Production, Kanban und Innovationen. 2. akt. und erw. Aufl., Berlin Heidelberg 2009
- Dijkstra, E. W. [1959]: A note on two problems in connexion with graphs. In: Numerische Mathematik. 1, 1959
- Dillon, A. P.; Shingo, S. [1985]: A Revolution in Manufacturing: The Smed System: Single-minute Exchange of Die System, Stamford, Conn., 1985
- Dorigo, M.; Stützle, T. [2004]: Ant Colony Optimization, MIT Press, Cambridge, MA, 2004



- Erlach, K. [2010]: Wertstromdesign – Der Weg zur schlanken Fabrik, 2. aktualisierte Auflage, Berlin Heidelberg 2010
- Forrester, J. W. [1958]: Industrial Dynamics. A major breakthrough for decision makers. erschienen in: Harvard Business Review, 36 (1958)
- Günthner, W. (Hrsg.) [2012]: Stand und Entwicklung von Routenzugsystemen für den innerbetrieblichen Materialtransport - Ergebnisse einer Studie; München 2012
- Gütegemeinschaft Paletten e.V. [2013]: EPAL – Gitterbox, aufgerufen am 02.10.2013 unter: <http://www.gpal.de/index.php?lang=1&idcatside=33>
- Jodlbauer, H. [2008]: Produktionsoptimierung - Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung, Springer Wien, 2., erw. Auflage 2008 .
- Klug, F. [2010]: Logistikmanagement in der Automobilindustrie: Grundlagen der Logistik Im Automobilbau, Springer Berlin Heidelberg 2010
- Kosmak, C. [2010]: Durchgängig – Heijunka-nivelliertes Kanban-System, erschienen in: SALT solutions (Hrsg.), Würzburg, Oktober 2010, S.2f., aufgerufen am 26.09.2013 unter: <http://www.salt-solutions.de/fileadmin/salt/downloads/Solutions/Solutions-Produktion-10-10-SAP-und-Lean-Production.pdf>
- Liker, J. K. [2004]: The Toyota Way. McGraw-Hill 2004
- Liker, J. K. [2009]: Der Toyota Weg, 6. leicht veränderte Aufl., München 2009
- Löhle, J. [2013]: Heijunka mit SAP: Ein Widerspruch? erschienen in B4Bmedia.net (Hrsg.): Das E-3 Magazin, Februar 2013
- May, C.; Koch, A. [2008]: Overall Equipment Effectiveness (OEE) - Werkzeug zur Produktivitätssteigerung, erschienen in: Zeitschrift der Unternehmensberatung (ZUB), H. 6/2008
- Meißner, S. [2008]: Logistische Stabilität in der automobilen Variantenfertigung, TU München, Dissertation 2008
- Nishiyama, T. [2006]: Betriebliche Weiterbildung für industrielle Arbeiter in Japan - Produktionsmanagement und Qualifikationsformen in der japanischen verarbeitenden Industrie. Erschienen in: HAAK, René (Hrsg.): Arbeitswelten in Japan. München 2006: Ludicum, S.181-219 (= Japanstudien - Jahrbuch des Deutschen Instituts für Japanstudien; 18)
- Promotorengruppe Kommunikation der Forschungsunion Wirtschaft – Wissenschaft (Hrsg.) [2013]: Deutschlands Zukunft als Produktionsstandort sichern - Umsetzungsempfehlungen für das Zukunftsprojekt Industrie 4.0 - Abschlussbericht des Arbeitskreises Industrie 4.0, April 2013

- Rother, M. [2009]: Die Kata des Weltmarktführers: Toyotas Erfolgsmethoden, Frankfurt/Main 2009
- SAP-Help-Portal [2002]: Priorisierte Gleichverteilung (Bauschuldverfahren), SAP Advanced Planner and Optimizer (SAP APO) Release 3.1, Mai 2002, aufgerufen am 28.08.2013 unter:  
[http://help.sap.com/saphelp\\_apo31/helpdata/de/a2/83e663f9ca11d3b7620000e82d81c3/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_apo31/helpdata/de/a2/83e663f9ca11d3b7620000e82d81c3/content.htm)
- SAP-Help-Portal [2013a]: Produktionsglättung (Heijunka) im SAP-System, SAP-Help-Portal, aufgerufen am 26.09.2013 unter:  
[http://help.sap.com/saphelp\\_me52/helpdata/DE/45/5918d1b58c2a4ce10000000a11466f/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_me52/helpdata/DE/45/5918d1b58c2a4ce10000000a11466f/content.htm)
- SAP-Help-Portal [2013b]: Pegging im SAP-System, aufgerufen am 29.09.2013 unter:  
[http://help.sap.com/saphelp\\_apo/helpdata/de/69/2569370bec8732e10000009b38f8cf/content.htm](http://help.sap.com/saphelp_apo/helpdata/de/69/2569370bec8732e10000009b38f8cf/content.htm)
- Schröder, J. [2004]: Packagesteuerung - Ein Instrument zur effektiven Steuerung von variantenreichen Großserien, erschienen in: Arbeitsberichte – Working Papers der Hochschule Ingolstadt, Heft Nr. 6, Ingolstadt Juli 2004
- Schulte, C. [2013]: Logistik - Wege zur Optimierung der Supply Chain, 6. überarb. Auflage, München 2013
- Smalley, A. [2005]: Produktionssysteme glätten, Lean Management Institut, Mülheim an der Ruhr 2005
- Suzaki, K. [1989]: Modernes Management im Produktionsbetrieb – Strategien, Techniken, Fallbeispiele, München, Wien 1989
- Takeda, H. [2004]: Das synchrone Produktionssystem, 4. Auflage, Frankfurt a.M. 2004
- Verband der Automobilindustrie e. V. (VDA) [2005]: Band 45: FAST 2025 - Future Automotive Industry Structure, Berlin 2012
- Veit, M. [2010]: Modelle und Methoden für die Bestandsauslegung in Heijunka-nivellierten Supply Chains, Dissertation, erschienen in: Wissenschaftliche Berichte des Institutes für Fördertechnik und Logistiksysteme des Karlsruher Instituts für Technologie, Band 74, Karlsruhe 2010,
- WYMAN, O.; VDA [2012]: GEMEINSAME PRESSEINFORMATION VON OLIVER WYMAN UND VDA zur Studie „FAST 2025 - Future Automotive Industry Structure vom 13.12.2012



*Prof. Dr. Jürgen Schröder*

## ***Das modifizierte Heijunka***

### ***Notwendige Anpassungen der Methode des Produktionsausgleichs***

#### ***Impressum***

##### **Herausgeber**

Der Präsident der Technischen Hochschule Ingolstadt  
Esplanade 10, 85049 Ingolstadt  
Telefon: +49 841 9348-0  
Fax: +49 841 9348-2000  
E-Mail: [info@thi.de](mailto:info@thi.de)

##### **Druck**

Hausdruck

Die Beiträge aus der Reihe „Arbeitsberichte – Working Papers“ erscheinen in unregelmäßigen Abständen. Alle Rechte, insbesondere das Recht der Vervielfältigung und Verbreitung sowie der Übersetzung vorbehalten. Nachdruck, auch auszugsweise, ist gegen Quellenangabe gestattet, Belegexemplar erbeten.

##### **Internet**

Alle Themen aus der Reihe „Arbeitsberichte – Working Papers“, können Sie unter der Adresse [www.thi.de](http://www.thi.de) nachlesen.