

Auslegung von Kanbansteuerungen bei starken Produktionsschwankungen mit Hilfe diskreter Simulation

Calculation of Kanban Systems Subject to Strong Variations in Production Output Employing Discrete Event Simulation

Hans-Peter Barbey
Fachhochschule Bielefeld, Bielefeld (Germany)
hans-peter.barbey@fh-bielefeld.de

Abstract: Nowadays production systems are often controlled by Kanban. An important precondition is that the variation in the production parameters is relatively small. These variations are taken into account in the calculations of a Kanban including a safety factor. The dynamic behaviour of a Kanban will be illustrated by employing discrete event simulation. If the Kanban is close loop controlled, a reduction of the circulating Kanban cards is possible, provided that the cycle time of variation in the output rate is longer than the fourfold cycle time of a container. If an predictive controller is installed, a reduction is achieved as from more than twice the cycle time of a container. The control of a Kanban can be done manually; however, the installation of an e-Kanban is a better option.

1 Einsatz von Kanban

Kanbansteuerungen werden häufig eingesetzt, um Bestände in Produktion und Montage zu minimieren. Diese Bestandsminimierung wird dadurch erreicht, dass die im Kanbankreislauf vorhandene Behälterzahl beschränkt ist. Die limitierte Behälterzahl setzt voraus, dass die Produktion nur in schon vorher bekannten Grenzen schwankt. Produktionsschwankungen werden häufig als Argument dafür benutzt, um sich gegen den Einsatz von Kanban zu entscheiden. Allerdings werden Art und Größe von Schwankungen selten quantifiziert. Produktionsschwankungen können einerseits statistisch verteilte Unregelmäßigkeiten in der Prozesskette und andererseits saisonale Schwankungen sein. Da Produktionsschwankungen dynamische Vorgänge sind, die Berechnungsgleichungen aber gewissermaßen nur statische Werte unter Berücksichtigung entsprechender Sicherheitsfaktoren liefern, ist eine optimale Anpassung des Kanban an die Produktionsbedingungen nicht möglich. WEBER (2008, S.94 und S.105) erwähnt im Rahmen einer Produktionsplanung die Anpassung einer Kanbansteuerung, ohne dies zu quantifizieren. MORITZ (2000) beschreibt einen sehr komplexen, stark regelungstechnisch geprägten Ansatz zur

Anpassung eines Kanban. Eine regelungstechnische Betrachtung liefert bei diskreten Vorgängen zwar ähnliche Werte, sie kann aber als analoges Rechenmodell nicht die exakten Werte liefern (BARBEY 2008, S.361). Hier kann der Einsatz der diskreten Simulation zur Abschätzung des Einflusses der Produktionsschwankungen auf eine Kanbansteuerung genauere Werte zur Auslegung liefern.

2 Auslegung einer Kanbansteuerung

Im Hinblick auf den Einsatz der diskreten Simulation wird von den üblichen Berechnungsverfahren abgewichen. Alle Elemente eines Kanbankreislaufes werden nur noch als Zeitverbraucher aufgefasst (Abb. 1). Als Zeitverbraucher wurden für die Simulation vier Elemente festgelegt:

- Erzeuger, t_{Herst} : Zeit zur Herstellung bzw. zur Bereitstellung eines vollen Behälters
- Materialtransport, t_{Trans} : Zeit zum Transport eines vollen Behälters vom Erzeuger zum Verbraucher
- Verbraucher, t_{Verbr} : Zeit zum Leeren eines Behälters vom Verbraucher
- Kanbankarte, t_{Info} : Zeit für den Rücklauf der Kanbankarte oder des leeren Behälters vom Verbraucher zum Erzeuger

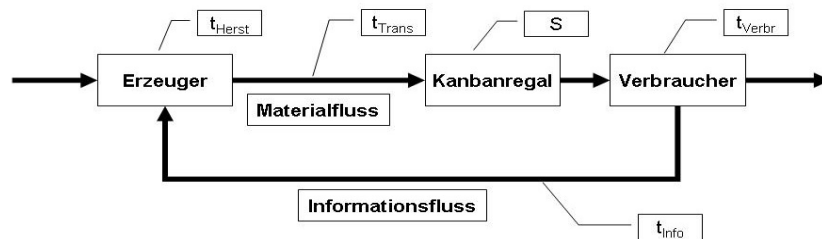


Abbildung 1: Kanban mit zeitverbrauchenden Elementen

Basierend auf dieser Darstellung wird die Anzahl der Behälter im Kreislauf A_{Beh} berechnet über die Wiederbeschaffungszeit t_{WBZ} , die Verbrauchszeit t_{Verbr} und den Sicherheitsbestand s :

$$A_{\text{Beh}} = \frac{t_{\text{WBZ}}}{t_{\text{Verbr}}} + S = \frac{t_{\text{Trans}} + t_{\text{Info}} + t_{\text{Herst}} + t_{\text{Verbr}}}{t_{\text{Verbr}}} + S \quad (1)$$

Der wesentliche Unterschied zu den üblichen Berechnungsgleichungen ist der Sicherheitsbestand S , der hier durch zusätzliche Behälter im Kanbanregal erscheint. Üblicherweise geht der Sicherheitsbestand als multiplikativer Faktor in die Auslegung ein (KOETHER 2008, S.112). Der Sicherheitsbestand wird nun in der folgenden Simulation als Sollwert verwendet, nach dem die Anzahl der Karten im Kanbankreis geregelt wird. Sofern alle Zeiten konstante Größen sind, bleibt auch die notwendige Anzahl an Karten konstant. Für die Simulation wird nun angenommen, dass als einziger Parameter die Verbrauchszeit der Behälter variiert. Das bedeutet

für reale Systeme, dass eine Fertigung oder Montage jeder Änderung der Abnahme der Produkte z.B. durch personelle Aufstockung auch folgen kann. Diese Auslegung bedeutet eine Idealisierung, da außer der Verbrauchszeit alle anderen Zeiten konstant gehalten wurden. Eigene Plausibilitätsbetrachtungen am beschriebenen Simulationsmodell zeigten jedoch, dass durch die Änderung der Verbrauchszeit der größte Einfluss zu erwarten ist. Durch die Änderungen der Verbrauchszeiten schwankt dann auch der Sicherheitsbestand im Kanban. Gegenüber einem Kanban gemäß Abbildung 1 wird der Kreis um die Erfassung der Verbrauchszeit erweitert (Abb. 2). Über die Erfassung der Verbrauchszeit soll nun der Kanban über den Kartenpuffer durch Entnahme oder Hinzufügen von Karten nach Formel 1 so geregelt werden, dass der Sicherheitsbestand S möglichst konstant gehalten wird.

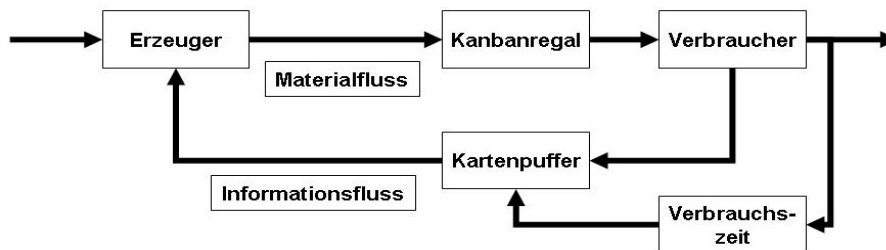


Abbildung 2: Geregelter Kanban

Einerseits bedeutet diese Art der Auslegung eine Abkehr von dem bisherigen Einsatz, der den Kanban als eine einmal festgelegte Produktionseinheit definiert. Andererseits ergibt sich ein Mehraufwand durch die Erfassung der Verbrauchszeit und Anpassung der Kartenzahl.

3 Simulation

Basierend auf den in Kapitel 2 festgelegten Voraussetzungen wurde der Kanbankreislauf als diskretes Simulationsmodell abgebildet (Abb. 3). Mit diesem Modell wurden verschiedene Simulationsläufe durchgeführt. Um das charakteristische Verhalten zu ermitteln, wurde zunächst eine sprunghafte Änderung der Verbrauchszeit aufgegeben. In einer weiteren Simulationsreihe änderte sich die Verbrauchszeit nach einer harmonischen Funktion. Das Simulationsmodell wurde so gestaltet, dass sowohl unregelte als auch geregelte Parameterläufe gemacht werden konnten.

3.1 Verhalten des unregulierten Kanban

Die Simulation des unregulierten Kanban dient dazu, um einerseits das grundsätzliche Zeitverhalten zu klären und andererseits die Bezugswerte für den geregelten Kanban zu liefern. In Abbildung 4 ist der Verlauf des Sicherheitsbestandes dargestellt, wenn sich die Verbrauchszeit eines Behälters sprunghaft ändert. Damit eine möglichst allgemeingültige Darstellung erreicht wird, ist die Simulationszeit sowie die Verbrauchszeit eines Behälters auf die Behälterumlaufzeit bezogen worden. Der sprunghaften Änderung der Verbrauchszeit folgt erwartungsgemäß eine kontinuier-

lich Abnahme oder Zunahme des Sicherheitsbestandes. Nach einem vollständigen Behälterumlauf stellt sich wieder ein stabiler Zustand ein.

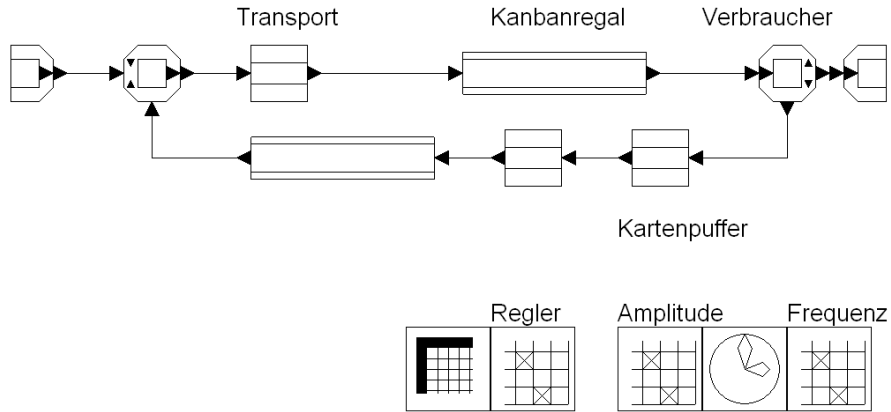


Abbildung 3: Kanbankreislauf als Simulationsmodell (DOSIMIS)

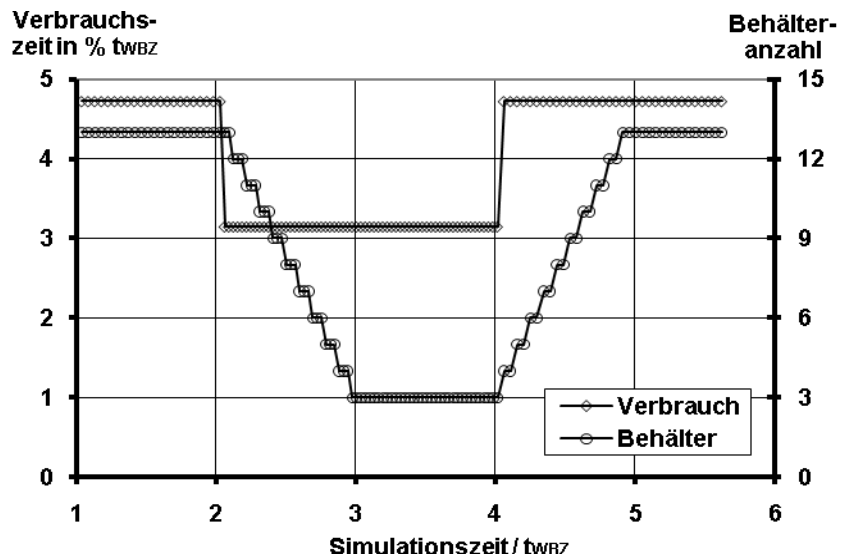


Abbildung 4: Behälteranzahl im Puffer bei sprunghafter Änderung der Verbrauchszeit

Ein ähnliches Verhalten ergibt sich, wenn sich die Verbrauchszeit nach einer harmonischen Funktion ändert. Diese harmonische Funktion kann als Simulation eines Trends wie z.B. einer saisonalen Schwankung gesehen werden (Abb. 5).

Verändert sich die Verbrauchszeit über die Simulationsdauer nach einer harmonischen Funktion, schwankt die Behälterzahl des Sicherheitsbestandes zwischen einem Maximum und Minimum und einer Phasendifferenz von einer halben Periode zur Verbrauchszeit.

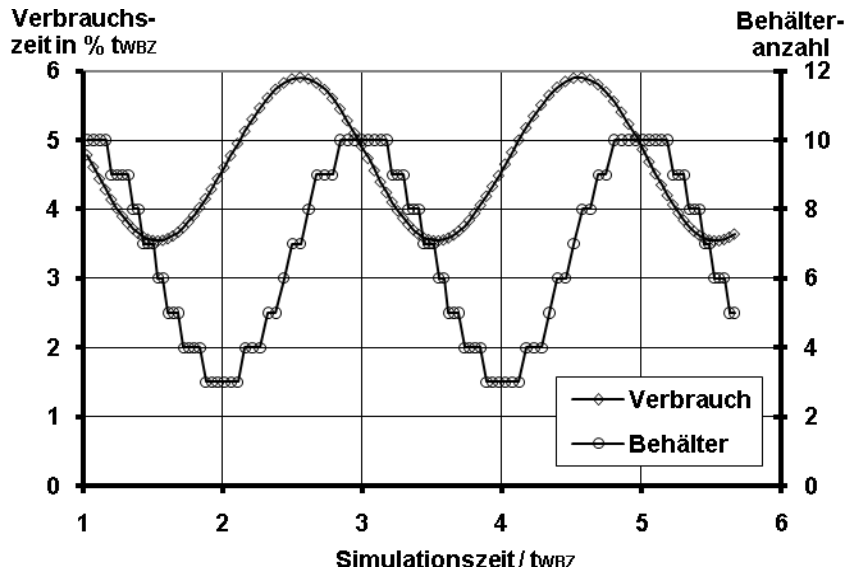


Abbildung 5: Behälteranzahl im Puffer bei harmonischer Änderung der Verbrauchszeit

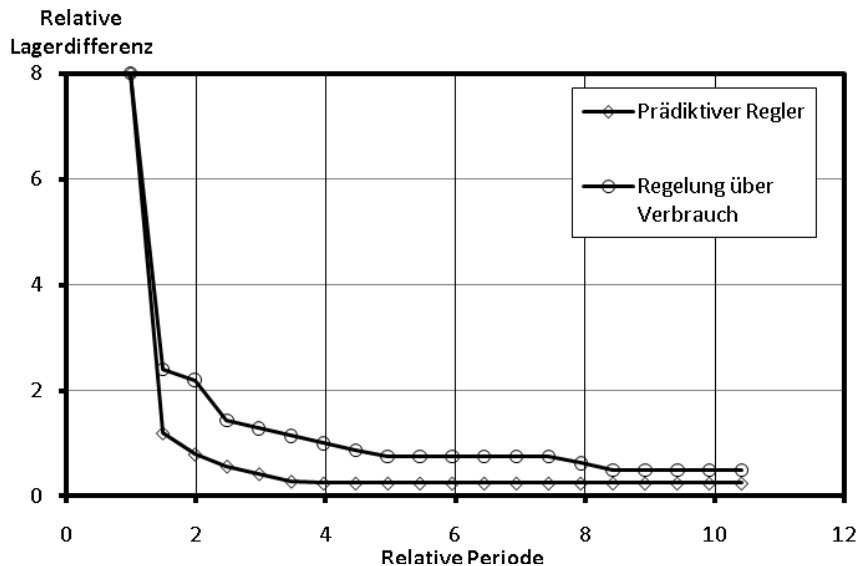
3.2 Verhalten des geregelten Kanban

Das Regelverhalten des Kanban wird folgenden Simulationsläufen ermittelt:

- Regelung der Behälterzahl bei sinusförmiger Änderung der Verbrauchszeit der Behälter
- Prädiktiver (vorausschauender) Regler bei sinusförmiger Änderung der Verbrauchszeit der Behälter
- Ausregeln einer statistisch verteilten Verbrauchszeit der Senke

Um das Verhalten des geregelten Kanban, in dem die Anzahl der Karten laufend angepasst wird, zu beurteilen, werden die Ergebnisse der beiden ersten Testläufe auf den unregulierten Fall bezogen. Die Schwankung des Sicherheitsbestandes im geregelten Fall wird bezogen auf die des unregulierten Falls gemäß Abbildung 5. Die periodische Änderung der Verbrauchszeit wird hier in Einheiten der Behälterumlaufzeit angegeben. So ergibt sich eine Verstärkungsfunktion wie in Abbildung 6 dargestellt. Die Amplitude der Änderung der Verbrauchszeit hat bei der Darstellung der relativen Lagerdifferenz nahezu keinen Einfluss auf den Regelvorgang. Daher wird sie bei der Simulation nicht weiter betrachtet. Dagegen ist die relative Periodendauer von entscheidendem Einfluss. Im Bereich von einer relativen Periodendauer von 1 befindet sich der Kanban gewissermaßen als "logistischer

Schwingkreis" in der Resonanz. Man erhält eine starke Überhöhung des Signals und damit eine Verschlechterung gegenüber dem unregulierten Fall. Bei einer relativen Periodendauer von 4 entspricht das Ergebnis bei der Regelung über die Verbrauchszeit dem des unregulierten Falls. Bei höheren Periodendauern wird eine Verbesserung erzielt. Deutlich besser ist hier die prädiktive Regelung. Ab einer relativen Periodendauer von 2 liegt das Ergebnis unterhalb dem des unregulierten Kreises. Ab einer Periodendauer der vierfachen Behälterumlaufzeit lässt sich die harmonische Störung mit einem prädiktiven Regler vollständig kompensieren.



Achsendefinition:

Relative Periode: Periodendauer der Änderung der Verbrauchszeit bezogen auf die Wiederbeschaffungszeit t_{WBZ}

Relative Lagerdifferenz: Differenz aus Maximal- und Minimalbestand des geregelten Kanban bezogen auf die Differenz des unregulierten Kanban

Abbildung 6: Verstärkungsfunktion des geregelten Kanban

Abbildung 7 zeigt die Änderung der Lagerbelegung beim Einschalten des Reglers. Der Sollwert wird exakt erreicht, dagegen versagt die Regelung bei einem statistisch verteilten Signal. Die Schwankung der Lagerbelegung wird durch die Regelung noch verstärkt. Durch geeignete Filtermaßnahmen lässt sich diese Schwankung in der Simulation beseitigen. Allerdings ist der für das verwendete Simulationsmodell entwickelte Regelalgorithmus derartig komplex, dass er sich für eine manuelle Umsetzung in einem Kanban nicht eignet. Daher wird der Algorithmus an dieser Stelle nicht näher erläutert.

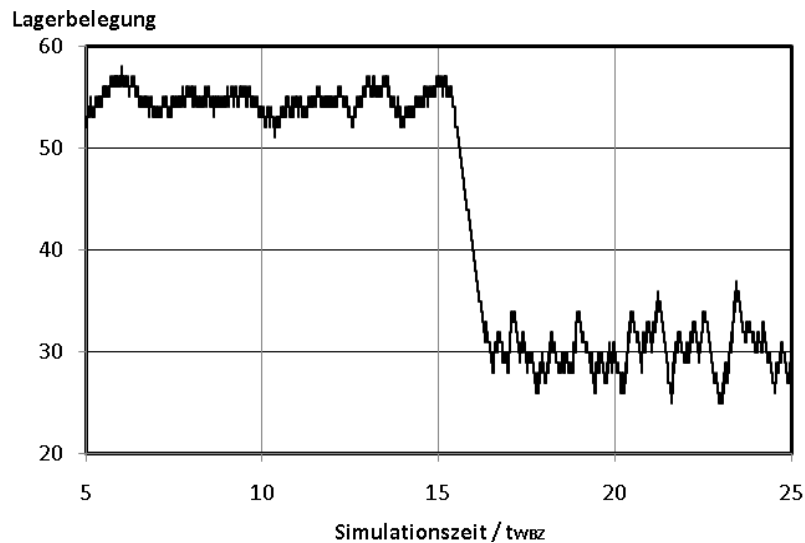


Abbildung 7: Regelung auf den Sollwert der Lagerbelegung bei einer überlagerten statistischen Störung der Verbrauchszeit

4 Umsetzung in die Praxis

Der Vorteil konventioneller Kanbansteuerungen liegt darin, dass diese einmal gestaltet werden und dann keinen weiteren Steuerungsaufwand benötigen. Um auch unter schwankenden Produktionsbedingungen die Vorteile der Bestandsminimierung und der kurzen Durchlaufzeiten beizubehalten, kann der Kanbankreis durch Anpassen der Kartenzahl geregelt werden. Das bedeutet natürlich zusätzlichen Aufwand an der verbrauchenden Stelle, da die Verbrauchszeit eines Behälters zusätzlich erfasst werden muss. Dies kann manuell geschehen, sowie auch das Entfernen oder Hinzufügen von Kanbankarten. Sofern die Charakteristik des Kanbankreises vorher bestimmt wurde, kann der Regelvorgang gemäß Formel 1 manuell ausgeführt. Periodische Änderungen lassen sich damit sehr gut Ausregeln. Das Ausregeln statistisch verteilter Änderungen führt mit dem einfachen angewendeten Regelalgorithmus nach Formel 1 zu großen Schwankungen. Wird der Regelalgorithmus optimiert, wird er derartig kompliziert, dass eine manuelle Handhabung nicht sinnvoll erscheint. Dann ist aber eine Anwendung als e-Kanban mit einem Barcodesystem (Weber 2008, S.166-S.168) durchaus denkbar, da hier der Regelalgorithmus im Rechner implementiert werden kann.

Interessant ist der Einsatz eines prädiktiven Reglers. Damit wird der Kanban zum Bestandteil einer Produktionsplanung. Die Produktionsplanung gibt damit ein zukünftiges Signal vor, welches in den Kanbankreislauf gegeben wird. Die daraus resultierende Änderung der Anzahl der Kanbankarten kann "von Hand" erfolgen, aber auch hier ist der Einsatz eines e-Kanban sinnvoller. Mit der Anwendung eines prädiktiven Reglers ist der Kanban wieder auf seine ursprüngliche Funktion nämlich das Kompensieren von statistischen Produktionsschwankungen zurückgeführt.

5 Zusammenfassung

Kanbansteuerungen werden heutzutage zur Steuerung von Produktionssystemen mit dem Ziel einer Bestandsminimierung eingesetzt. Wesentliche Voraussetzung ist, dass die Produktionsparameter nur in engen Grenzen schwanken. Mit Hilfe der diskreten Simulation wird das dynamische Verhalten eines Kanban gezeigt. Darauf aufbauend wird in den Kanban ein Regler integriert, der basierend auf der erfassten Verbrauchszeit eines Behälters die Zahl der Kanbankarten anpasst. Dabei zeigt sich, dass sich der Kanban bei periodischen Änderungen der Verbrauchszeit unterhalb der vierfachen Behälterumlaufzeit wie ein "logistischer Schwingkreis" verhält und der Behälterbestand steigt gegenüber dem unregelmäßigen Fall sogar an. Bei längeren Perioden ergibt sich dagegen eine Bestandsreduzierung. Beim Einsatz eines prädiktiven Reglers lassen sich bei periodischen Schwankungen Verbesserungen ab der zweifachen Behälterumlaufzeit erzielen und ab der vierfachen Behälterumlaufzeit vollständig kompensieren. Die Anpassung der Kanbankarten kann manuell erfolgen, sinnvoller ist aber der Einsatz eines e-Kanban.

Literatur

- BARBEY, H.-P.: Simulation des Stabilitätsverhaltens von Produktionssystemen am Beispiel einer lagerbestandsgeregelten Produktion. In: *Advances in Simulation for Production and Logistics Applications*. Hrsg.: RABE, Markus. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2008, S. 357-366.
- HERING E., GEIGER, E., KUMMER, R.: Kanban. In: *Taschenbuch der Logistik*. Hrsg.: KOETHER, Reinhard. München: Carl Hanser Verlag, 2008, S.109-120..
- MORITZ, H. A: Verfahren zur simulationsgestützten Regelung der Kanban-Steuerung bei dynamischen Bedarfen. Chemnitz: Dissertation, TU Chemnitz, 2000.
- WEBER, R.: Kanban-Einführung. Renningen: expert verlag, 6.Auflage 2008.