

Steuerung der Effektivität und Flexibilität technischer Anlagen durch Produktionscontrolling



FOTO: BILDAGENTUR PANTHERMEDIA / LEO WOLFERT

VON PROF. DR. JÜRGEN REIM

1. Aktuelle Herausforderungen für das Produktionsmanagement

Die Produktion ist der Kern der Wertschöpfung in den Industrieunternehmen. Aufgrund der steigenden Wettbewerbsintensität müssen dort zunehmend Erfolgspotenziale entwickelt und ausgeschöpft werden¹. Die Nutzung der *produktionswirtschaftlichen* Erfolgspotenziale wird durch zwei Herausforderungen an das Produktionsmanagement geprägt:

- Zunehmend individuellere Kundenwünsche führen zu einer steigenden Vielfalt an Produktvarianten und erfordern eine flexible Fertigung.

- Die *produktive* Anwendung flexibler Technologien, wie der Robotik, mit hohen Fixkosten setzen eine *effektive Anlagennutzung* voraus, um rentabel zu sein.

Die *rentable* „Beherrschung einer flexiblen Produktion“² wird so zu einem Erfolgsfaktor für das Unternehmen. Damit die Produktion rentabel wird, sollte das Produktionsmanagement durch ein operatives Produktionscontrolling unterstützt werden.

2. Die Unterstützungsfunktion des operativen Produktionscontrollings

Entscheidungskompetenz und Verantwortung für die Wertschöpfung in der Produktion lie-

¹ Reim (2022), S. 16 ff. und S. 518 ff.

² Obermeier (2016), S. 3-34, hier S. 12

gen beim Produktionsmanagement. Bei der Entscheidungsfindung und -umsetzung wird es vom *Produktionscontrolling* durch die Bereitstellung relevanter Informationen unterstützt³. In den *operativen* Entscheidungen der Produktionssteuerung rückt die *wirtschaftliche* Umsetzung von Produktionsplänen in den Fokus. Abgeleitet aus den o. g. Herausforderungen für das Produktionsmanagement wird die *Effektivität* und die *Flexibilität* der Anlagennutzung und ihrer Kosten zu einem Schwerpunkt des operativen Produktionscontrollings.

Die Wirtschaftlichkeit der Anlagennutzung und damit ein wesentlicher Teil der Wertschöpfung im Produktionsprozess kann durch verschiedene Störungen beeinträchtigt werden:

- Planungsfehler, z. B. in der Maschinenbelegung
- personalbedingte Störungen, z. B. Bearbeitungsfehler
- betriebsmittelbedingte Störungen, z. B. Maschinenausfälle
- Materialfehler, z. B. fehlerhafte Zulieferteile

Diese Störungen reduzieren die Verfügbarkeit der Anlagen, führen zu Qualitätsproblemen, wie Ausschuss und Nacharbeit, verringern aber auch die Flexibilität in der Produktion. Betriebswirtschaftlich verursachen sie höhere Fertigungskosten, insbesondere Lohn-, Material-, sowie über die höhere Kapitalbindung steigende Kapitalkosten. Dazu kommen Preisnachlässe z. B. aus verspäteter Lieferung. Es ist daher eine wesentliche Aufgabe des operativen Produktionscontrollings, das Produktionsmanagement über diese **Produktionsstörungen** mit ihren **Erfolgswirkungen** zu informieren. Dies setzt die Kombination der am Produktivitätsziel ausgerichteten technischen Kennzahlen⁴ mit erfolgsziel- und damit rentabilitätsorientierten Steuerungsgrößen voraus.

3. Ausgewählte Kennzahlenkombinationen zur Steigerung von Effektivität und Flexibilität in der Produktion

Produktivitätsziele geben die Produktionsmenge je Produkt in Abhängigkeit von den Kundenwünschen, der Qualität und den Durchlaufzeiten vor. Erfolgsziele werden durch (Residual-)Gewinne oder eine Kapitalrentabilität gemessen. Die Verbindung zwischen Produktivitäts- und Erfolgsziel ist durch die Gesamtkapitalrendite⁵ (GKR) einer Periode möglich, die in Umsatzrentabilität und Kapitalumschlag gespalten werden kann:

$$GKR \text{ in } \% = \frac{BE}{U_t} \times 100 = RoS \times TOC$$

BE: Betriebsergebnis nach Anpassungen

U_t: Umsatzerlöse der Periode

RoS: Return on Sales=Umsatzrendite

TOC: Turnover Capital = Kapitalumschlag

Die **Umsatzrendite** zeigt den Anteil am Umsatzerlös, der nach Durchführung des Wertschöpfungsprozesses als Erfolg ausgewiesen werden kann. In den Industrieunternehmen ist der Anteil der Herstellungskosten am Umsatzerlös i. d. R. am höchsten. Die Herstellungskosten bestehen vor allem aus Material-, Fertigungslohnkosten, sowie Gehältern, Abschreibungen und Kapitalkosten. Deren Reduzierung erhöht die Umsatzrendite.

Der **Kapitalumschlag** zeigt die Umschlagshäufigkeit des im Wertschöpfungsprozess eingesetzten Kapitals. Er erfasst, wie oft das Kapital den Geld-Güter-Geld-Kreislauf von den Auszahlungen für die Beschaffung der Einsatzgüter, der Herstellung und den Einzahlungen aus dem Verkauf der Produkte in einer Periode durchläuft: Je höher der TOC, desto effektiver ist der Kapitaleinsatz und umso geringer die Kapitalkosten. Eine intensivere Anlagennutzung mit einer Verkürzung der Durchlaufzeit führt zu einer schnelleren Wertschöpfung und damit zu einem höheren TOC. Dies reduziert den Kapitalbedarf und erhöht die GKR. I. d. R. ist die Kapitalbindung im Anlagevermögen der Produktion am höchsten.

³ Vgl. Horvath, Gleich und Selter (2020).

⁴ Schnell (2018), S. 22: Produktionscontrolling und Produktionsmanagement sollen die gleiche Sprache nutzen.

⁵ Vgl. zur Berechnung und Ermittlung der Anpassungen Reim (2022), S. 667 ff.

Umsatzrendite und TOC lassen sich mit der Effektivität und Flexibilität von technischen Anlagen über Mengen-, Zeit- und Qualitätskomponenten verbinden.

3.1 Die Overall Equipment Effectiveness (OEE): Die Effektivität von Anlagen

Die OEE misst die Effektivität einer Anlage und berücksichtigt alle Störungen, die zu Leistungsminderungen führen. Sie stellt in einem festgelegten Zeitraum, z. B. Schicht, die realisierte Ist-Ausbringungsmenge der Plan-Ausbringungsmenge gegenüber und kann sowohl für eine Anlage als auch für einen Fertigungsauftrag berechnet werden⁶. Den Zusammenhang zwischen Fertigungszeit, -geschwindigkeit, -menge und Qualität der Fertigung sowie mögliche Effektivitätsverluste zeigt Abb. 1.

Ausgehend von einer festgelegten Periode, bleiben die Zeiträume unberücksichtigt, für die keine Fertigung geplant ist. Es ergibt sich dann die Plan-Fertigungszeit. Sie stellt die Grundlage für die Ermittlung der Effektivitätsverluste bei Einschränkungen der zeitlichen Verfügbarkeit, des Leistungsgrads und des Qualitätsgrads dar:

$$OEE = \text{Verfügbarkeitsgrad} \times \text{Leistungsgrad} \times \text{Qualitätsgrad}$$

Der **Verfügbarkeitsgrad** zeigt den Anteil der tatsächlichen Ist-Fertigungszeit an der Plan-Fertigungszeit. Die **tatsächliche Fertigungszeit** ist

der Zeitraum, in dem eine Anlage die Ausbringungsmenge produziert. Die Plan-Fertigungszeit ist der geplante Zeitraum, in dem die Anlage produzieren soll, da sie durch Fertigungsaufträge belegt ist.

$$\text{Verfügbarkeitsgrad} = \frac{\text{Ist-FZT in min.}}{\text{Plan-FZT in min.}}$$

$$\text{Ist-FZ} = \text{Plan-FZ} - \sum ST$$

Ist-FZ=tatsächliche Fertigungszeit in min.

Plan-FZ=geplante, d.h.mögliche Fertigungszeit in min.

ST=Summe der Stillstände in min.

Der **Leistungsgrad** zeigt den Anteil der Ist-Fertigungsmenge, d. h. ihrer tatsächlichen Nutzung an der geplanten Ausbringungsmenge innerhalb der tatsächlichen Fertigungszeit.

$$\text{Leistungsgrad} = \frac{\text{Ist-FEM in St.}}{\text{Plan-FEM in St.}}$$

$$\text{Plan-FEM} = \text{Ist} - \text{FZ} \times \text{MTA}$$

Ist-FEM=tatsächliche Ausbringungsmenge in St.

Plan-FEM=geplante, mögliche Ausbringungsmenge in St.

MTA=maximaler Takt in St./min

Die Ist-Ausbringungsmenge ist die in der tatsächlichen Fertigungszeit auf der Anlage produzierte Stückzahl. Die Plan-Ausbringungsmenge ist die Menge, die in der tatsächlichen Fertigungszeit maximal hergestellt werden kann.

Teilkennzahlen	Betrachtungszeitraum	geplante Stillstände
Verfügbarkeitsgrad	Plan-Fertigungszeit	
	Ist-Fertigungszeit	Stillstand, Fehlteile, Rüstzeit, Instandhaltung
Leistungsgrad	Plan-Ausbringungsmenge	
	Ist-Ausbringungsmenge	Kurzstillstände, reduzierte Geschwindigkeit
Qualitätsgrad	Ausbringungsmenge Gut-Teile	Ausschuss, Fehler, Nacharbeit

ABB. 1: DER AUFBAU DER OEE

⁶ Focke und Steinbeck (2018), S. 3

Der **Qualitätsgrad** weist den Anteil der Gut-Teile an allen produzierten Teilen in der tatsächlichen Fertigungszeit aus.

$$\text{Qualitätsgrad} = \frac{\text{AGT in St.}}{\text{Ist-FEM in St.}}$$

$$\text{AGT} = \text{Ist-FEM} - \text{AS}$$

AGT=Ausbringungsmenge Gut-Teile in St

AS=Ausschuss in St.

Die Ausbringungsmenge der Gut-Teile wird ermittelt, indem von der tatsächlichen Ausbringungsmenge die Stückzahl subtrahiert wird, deren Merkmale außerhalb der vorher definierten Toleranzgrenzen liegen.

Beispiel: Der Betrachtungszeitraum ist eine Kalenderwoche. Die Produktion arbeitet in zwei Schichten je 7,5 Std. pro Arbeitstag, 5 Tage in der Woche. Für Rüstzeiten sind 10 Stunden, für die Instandhaltung 5 Stunden ermittelt worden. Auf der Anlage können maximal 2 Stück pro Stunde gefertigt werden. Die Ist-Fertigungsmenge beträgt 120 Stück, davon sind 20 Teile Ausschuss. Die Basis der Berechnung ist die mögliche Stundenzahl 7 AT x 24 Std. = 168 Std.

$$\text{Verfügbarkeitsgrad} = \frac{\text{Ist-FZT } 67,5 \text{ Std.}}{\text{Plan-FZT } 82,5 \text{ Std.}} \times 100 = 81,8 \%$$

$$\text{Leistungsgrad} = \frac{\text{Ist-FEM } 120 \text{ St.}}{\text{Plan-FEM } 135 \text{ St.}} \times 100 = 88,9 \%$$

$$\text{Plan-FEM} = 67,5 \text{ Std.} \times 2 \text{ St./Std.} = 135 \text{ St.}$$

$$\text{Qualitätsgrad} = \frac{\text{AGT } 100 \text{ St.}}{\text{Ist-FEM } 120 \text{ St.}} \times 100 = 83,3 \%$$

$$\text{OEE} = 81,8 \% \times 88,9 \% \times 83,3 \% = 60,6 \%$$

Den geplanten Stillstand und die zur Fertigung nicht-verfügbaren Stunden für Rüstzeiten und Instandhaltung zeigt Abb. 2. Sie bilden ein Potential um sich der Plan-Fertigungszeit zu nähern. Um die Effektivitätsverluste aus Leistung und Qualität in Stunden messen zu können, müssen der Leistungs- und der Qualitätsgrad in

Kalenderwoche	Std.	168,0
geplanter Stillstand: Wochenende 2 Tage	Std.	- 48,0
eine nicht belegte Schicht mit 7,5 Std. 5 Tage	Std.	- 37,5
Plan-Fertigungszeit	Std.	82,5
Rüstzeiten	Std.	- 10,0
Instandhaltung	Std.	- 5,0
Ist-Fertigungszeit	Std.	67,5

ABB. 2: BERECHNUNG VON PLAN- UND IST-FERTIGUNGSZEIT

Fertigungsstunden umgerechnet werden. Dazu ist zunächst die Soll-Fertigungszeit zu ermitteln:

$$\text{Soll-Fertigungszeit} = \frac{\text{Ist-FEM } 120 \text{ St.}}{\text{max. Stückzahl pro Std. } 2 \text{ St.}} = 60 \text{ Std.}$$

Tatsächlich wurden jedoch 67,5 Stunden zur Fertigung benötigt. 7,5 Fertigungsstunden sind durch Leistungsverluste, z. B. langsamere Geschwindigkeit, verursacht. Hier sind die Ursachen durch das operative Produktionscontrolling zu ermitteln und zu berichten. Die möglichen Effektivitätsverluste zeigt Abb. 3.

Die Höhe der Effektivitätsverluste zeigt dem operativen Produktionscontrolling die Potentiale für Produktivitätssteigerungen und Kostensenkungen.

Eine Weiterführung des o.g. Beispiels zeigt die Effektivitätsverluste in Abb. 4.

Gemäß Abb.4 ermöglicht die Steigerung der Verfügbarkeit dieser Anlage die höchsten Effektivitätsgewinne. Im Betriebsvergleich ist diese OEE unterdurchschnittlich. Industrieunternehmen erreichen eine OEE zwischen 65 und 85 %⁷, Spitzenunternehmen einen Verfügbarkeitsgrad 90 % x Leistungsgrad 95 % x Qualitätsgrad 99 % = OEE 84,7 %⁸. Dementsprechend muss das Produktionscontrolling nach Kostensenkungsmöglichkeiten bei Verfügbarkeit, Leistung und Qualität suchen und Gegensteuerungsmaßnahmen entwickeln. Einsparpotentiale ergeben sich aus der Erhöhung

- der **Anlagenverfügbarkeit**, z. B. durch die Senkung von Kapitalkosten aus dem Abbau

⁷ O.V.: Kennzahlen optimieren Produktion, in: Automationspraxis, 31.12.2014, S.2

⁸ OEE-Institut

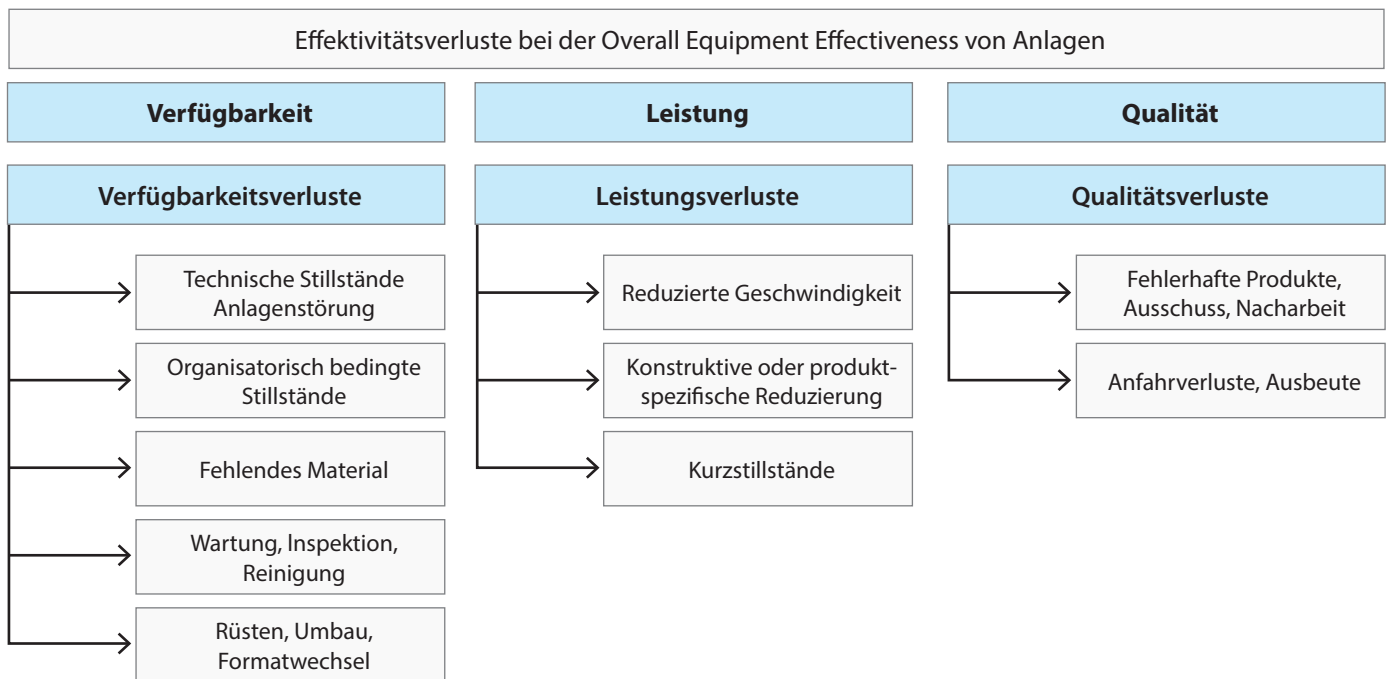


ABB. 3: ÜBERSICHT ÜBER EFFEKTIVITÄTSVERLUSTE

von Werkstattlagern, zum Ausgleich von Produktionsstillständen,

- der **Anlagenleistung** durch störungsfreie Fertigungsprozesse, die zu einer höheren Produktionsmenge führen. Daraus resultieren niedrigere Personal- und Energiekosten sowie niedrigere fixe Anlagenkosten pro Stück,
- des **Qualitätsgrades** durch geringeren Ausschuss und damit sinkenden Material- und Recyclingkosten sowie geringere Mehrarbeit mit sinkenden Lohnkosten. Zudem sinken Reklamationen und Preisnachlässe aus verspäteter Lieferung.

Auswertung	%	Stillstände/Verluste	Std.
OEE davon	60,6	geplanter Stillstand	-85,5
Verfügbarkeitsgrad	81,8	Verfügbarkeitsverlust	-15,0
Leistungsgrad	88,9	Leistungsverlust	-7,5
Qualitätsgrad	88,3	Qualitätsverlust	-10,0

ABB. 4: OEE UND DIE EFFEKTIVITÄTSVERLUSTE

3.2 Every Part Every Interval (EPEI) als Kennzahl für die Flexibilität der Produktion

Eine Herausforderung für die Produktion ist die kundenspezifische Problemlösung. Unterschiedliche Ansprüche der Kunden an Funktionalität und Design führen zu einer Vielzahl von Produktvarianten mit sinkenden Seriengrößen. Die Kundenbestellungen definieren die Fertigungsmengen. Daher muss das Produktionsmanagement festlegen, welche Produktvariante in einem Fertigungsintervall hergestellt wird. Fertigungsintervalle werden je nach Produkt in Stunden usw. gemessen. Ein Fertigungsintervall wird wesentlich von der Seriengröße beeinflusst: Je größer die Stückzahl einer Serie, desto länger ist das Fertigungsintervall. Die Seriengröße wird wiederum von der Flexibilität des Fertigungsprozesses beeinflusst. Je kürzer das Fertigungsintervall, desto höher ist die Flexibilität.

In vielen Fertigungssystemen werden die Produktvarianten zu hohen Stückzahlen in einer Serie zusammengefasst, um die Rüstzeiten zwischen den Produkten zu minimieren. Die Folge ist, dass z. B. an einem Tag nur eine Produktvariante hergestellt wird. Bestellt der Kunde eine Produktvariante, die am Montag und eine zweite, die am Freitag hergestellt wird, kann die Lieferung erst am Freitag erfolgen. Die Produktion

ist relativ starr und führt zum Aufbau von Lagerbeständen und Lagerkosten.

Mit der Kennzahl EPEI wird die Seriengröße so aufgeteilt, dass jedes Teil und jede Produktvariante in jedem Fertigungsintervall hergestellt wird. Es wird die kleinste herstellbare Seriengröße gesucht, um die Flexibilität der Produktion zu erhöhen. Das EPEI zeigt das Zeitintervall (hier in Tagen), in dem ein geplantes Produktionsprogramm mit seinen Produktvarianten auf einer Anlage hergestellt werden kann. Es gibt die kürzeste Zykluszeit an, in der eine Produktvariante wieder auf der Anlage gefertigt wird. **Je niedriger das EPEI, desto höher ist die Flexibilität der Fertigung.**

$$EPEI = \frac{\text{Summe Ausführungszeit aller Varianten} + \text{Summe Rüstzeit aller Varianten}}{\text{Anzahl Anlagenkapazitäten} \times \text{Verfügbarkeitsgrad} \times \text{Arbeitszeit pro Tag}}$$

Das EPEI zeigt, wie lange die Fertigung benötigt, um die vom Kunden bestellte Variante fertigen zu können. Ihre Verwendung ermöglicht die Glättung von Beschäftigungsspitzen aufgrund der Kundenbestellungen in der Produktion. Dadurch werden die Durchlaufzeiten gesenkt, weil Rüstzeiten minimiert werden, die Produktion wird verstetigt, Schwankungen der Kapazitätsbedarfe und Lagerbestände nivelliert, so dass die Puffer in der Kapazität und der Vorratshaltung abgebaut werden können. Das senkt die Rüst- und Kapitalkosten.

Beispiel: Von einem Kunden wurden die folgenden Produktvarianten bestellt (Abb. 5).

Zunächst ist die Fertigungskapazität zu berechnen: Für einen Arbeitstag stehen zwei Schichten mit je 7,5 Arbeitsstunden bereit, bei einem Verfügbarkeitsgrad von 90 %:

$$\text{Fertigungskapazität in min} = 2 \text{ Schichten} \times 0,9 \times (7,5 \text{ Std.} \times 60 \text{ min}) = 810 \text{ min}$$

Produktvariante	Fertigungsauftrag	Ausführungszeit / Stück	Ausführungszeit	Rüstzeit	Auftragszeit
	<i>St.</i>	<i>ta in min</i>	<i>Ta in min</i>	<i>tr in min</i>	<i>T in min</i>
A1	90	2	180	20	200
A2	80	3	240	40	280
A3	75	2,5	187,5	35	223
A4	85	1,5	127,5	50	178
A5	70	3,5	245	15	260
Summe	400		980	160	1.140

Abb. 5: ÜBERSICHT ÜBER DIE FERTIGUNGSaufTRÄGE UND DIE aufTRAGSZEITEN

Zeitraum KW	KW 1	KW 2	KW 3	KW 4	Summe	Ø Menge
Kundenbestellung	968	1.132	1.160	1.340	4.600	1.150
Nivellierte Fertigungsmenge	1.150	1.150	1.150	1.150	4.600	
Kumulierte Fertigungsmenge	1.150	2.300	3.450	4.600		
Auslieferungsmenge	968	2.100	3.260	4.600		
Bestandsentwicklung	182	200	190	0		

Abb. 6: NIVELLIERUNG DER FERTIGUNGSMENGE

Durch Einsetzen in die o.g. Formel errechnet sich ein

$$\text{EPEI} = (1.140 \text{ min}) / (810 \text{ min}) = 1,407 \text{ Tage}$$

Das EPEI bedeutet, dass nach 1,4 Tagen die gleiche Produktvariante wieder gefertigt werden kann. Multipliziert man die nivellierte tägliche Produktionsmenge einer Produktvariante mit dem EPEI, erhält man die minimale Seriengröße

mit der das Werkstück auf der Anlage gefertigt werden muss, damit deren Kapazität für die Fertigung und das Rüsten aller Produktvarianten ausreicht. Die Fertigung wird damit flexibel auf die Kundenbestellungen ausgerichtet.

Beispiel: Die Kundenbestellungen für die jeweiligen Kalenderwochen zeigt die u. g. Tabelle (Abb. 6).

Die Kundenbestellungen führen zu unterschiedlich hohen Produktionsmengen. Um die daraus folgenden Schwankungen in der Fertigung zu nivellieren, wird hier mit der Durchschnittsbildung ein einfaches Verfahren der Nivellierung verwendet. Abb. 6 zeigt, dass nun 4 Wochen eine konstante Fertigungsmenge von 1.150 Stück hergestellt werden kann. Die kumulierte Auslieferungsmenge informiert darüber, dass die Kundenbedarfe in jeder Woche vollständig gedeckt werden. Die Bestandsentwicklung verdeutlicht, dass bis zum Ende des Monats die aufgebauten Bestände wieder vollständig abgebaut sind, so dass kein Bestandsrisiko und keine Kapitalkosten aus den Beständen entstehen.

4. Fazit

Die vorgeschlagenen Kennzahlenkombinationen unterstützen das operative Produktionscontrolling bei der Steuerung von Effektivität und Flexibilität in der Produktion. Sie stellen eine objektiv nachvollziehbare Beziehung zwischen Produktivitäts- und Erfolgsziel her. Damit wird es dem operativen Produktionscontrolling ermöglicht, das Produktionsmanagement bei einer wirtschaftlichen Produktivitätssteigerung zu unterstützen.

Literaturverzeichnis:

Focke, M., Steinbeck, J.: Steigerung der Anlagenproduktivität durch OEE-Management, Wiesbaden 2018.

Günther, H-O., Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik, 9. Aufl., Berlin u. a. 2012.

Horvath, P., Gleich, R. und Selter, M.: Controlling, 14. Aufl., München 2020.

Obermeier, R. (Hrsg.): Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Betriebswirtschaftliche, technische und rechtliche Herausforderungen, Wiesbaden 2016.

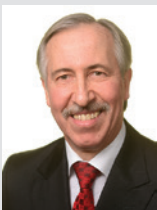
Reim, J.: Erfolgsrechnung – Wertsteigerung durch Wertschöpfung, 2. Aufl., Wiesbaden 2022.

Schäffer, U., Brückner, L.: Rollenspezifische Kompetenzprofile für das Controlling der Zukunft, in: Controlling & Management Review 63 (7) Oktober 2019, S. 14–31.

Schnell, H.: Kennzahlen des Produktionscontrollings zur Sicherung der Produktivität, in: Klein, A. (Hrsg.): Modernes Produktionscontrolling für die Industrie 4.0, Freiburg, München, Stuttgart 2018.

Schnell, H.: Produktionscontrolling: Selbstverständnis, Aufgaben und Instrumente, in: Klein, A. (Hrsg. 2018), S.83–105.

Sejdic, G.: Produktionscontrolling im Kontext von Industrie 4.0, Baden-Baden 2019.



Prof. Dr. Jürgen Reim

lehrt Unternehmensrechnung und Controlling an der Wiesbaden Business School der Hochschule RheinMain.