

Diskussionsbeiträge

Fachbereich Wirtschaftswissenschaft

Universität des Saarlandes

D-66041 Saarbrücken

**Break-Even-Analysen bei
kundenauftragsorientierter Produktion unter
Unsicherheit**

von

Dr. Marcus Schweitzer

A 2001

August 2000

Lehrstuhl für Betriebswirtschaftslehre,
insbesondere Industriebetriebslehre und Controlling

Postfach 151150, 66041 Saarbrücken

Tel. (0681) 302-3184

Inhaltsverzeichnis

Abstract	1
1 Problemstellung	1
2 Grundmodell der Break-Even-Analyse und Motivation approximativer Erweiterungen	3
3 Break-Even-Analysen bei stochastischer Produktion und stochastischer Nachfrage	8
4 Warteschlangenbasierte Break-Even-Analysen im Einproduktfall	12
4.1 Modellierung für einen Bedienungskanal	12
4.1.1 Break-Even-Analyse auf der Basis von M/M/1-Modellen.....	12
4.1.2 Break-Even-Analyse auf der Basis von M/G/1-Modellen	16
4.1.3 Break-Even-Analyse auf der Basis von GI/G/1-Modellen.....	17
4.2 Modellierung für mehrere Bedienungskanäle.....	21
4.2.1 Break-Even-Analyse auf der Basis von M/M/n-Modellen.....	21
4.2.2 Break-Even-Analyse auf der Basis von GI/G/n-Modellen.....	22
5 Warteschlangenbasierte Break-Even-Analysen im Mehrproduktfall	23
5.1 Break-Even-Analyse auf der Basis von M/G/1-Modellen	23
5.2 Break-Even-Analyse auf der Basis von GI/G/1-Modellen	25
6 Zusammenfassung	28
Literaturverzeichnis	29

Abstract

The study gives an insight into the possibilities to perform Break-Even-Analyses for a single-stage, make-to-order production in the case of stochastic production and demand structures. To model these structures, one resorts to queueing systems. Under practical aspects GI/G/-systems turn out to map complex real situations realistically. From the stated examples it can be withdrawn that one achieves different results compared to a deterministic modeling even in the case of a simple stochastic approach. Especially it is shown that stochastic modeling in general is helpful to avoid incorrect decisions.

1 Problemstellung

Break-Even-Analysen sind in der Praxis gebräuchliche Instrumente, um einerseits Entscheidungsprozesse zu unterstützen und andererseits Kennzahlen zur Ergebniskontrolle zu liefern. Empirische Studien zeigen, dass Break-Even-Analysen insbesondere im Zusammenhang mit Entscheidungen über Programmbreite und –tiefe eingesetzt werden.¹ Die Beliebtheit der Anwendung² von Break-Even-Analysen dürfte in der starken Komplexitätsreduktion und der Einfachheit ihrer Anwendung zu sehen sein. Die mit einfachen Break-Even-Analysen verbundenen Komplexitätsreduktionen sind jedoch mit starken Abstraktionen von realen Sachverhalten verbunden. Ihre Einfachheit wird dadurch erreicht, dass sie auf gegebene, meistens prognostizierte Daten zurückgreifen können und auf keine spezifischen Prognoseinstrumente abgestimmt sind. Weiterführende Ansätze der Break-Even-Analyse dienen dazu, die vorgenommenen Abstraktionen abzuschwächen bzw. die Wirklichkeit realitätsnäher abzubilden. Im Bereich deterministischer Break-Even-Analysen wurden deshalb differenzierte Mehrproduktansätze³ und Abbildungen mehrstufiger Produktionsprozesse⁴ formuliert. Wesentlich geringere Fortschritte sind hingegen im Bereich stochastischer Break-Even-Analysen zu verzeichnen. Letztere lassen sich durch die gegenüber der Deterministik schwächere Annahme von Verteilungsfunktionen kennzeichnen, die sich auf einzelne Parameter, wie z.B. Absatzmengen, Deckungsbeiträge oder Absatzpreise⁵, beziehen. Typischerweise werden in

¹ Vgl. Schweitzer/Troßmann (1998), S. 372.

² Vgl. Schweitzer/Troßmann (1998), S. 367.

³ Vgl. Kilger (1962), S. 95 ff., Coenenberg (1999), S. 291 ff.

⁴ Vgl. Schweitzer/Troßmann (1998), S. 173 ff. sowie Lorson/Schweitzer (2000), S. 323 ff.

⁵ Vgl. Schweitzer/Troßmann (1998), S. 307.

diesem Zusammenhang Fragestellungen nach der Wahrscheinlichkeit beantwortet, mit der ein bestimmtes Ergebnis oder der Break-Even-Punkt erreicht werden, oder nach dem größtmöglichen Erfolg, der unter Vorgabe eines bestimmten Wahrscheinlichkeitsniveaus erzielbar ist⁶. Formulierungen von Break-Even-Analysen unter expliziter Berücksichtigung stochastischer Nachfrage- und Produktionsprozesse sind bislang wenig verbreitet und beruhen zumeist auf der Annahme normalverteilter Kostenkoeffizienten und Produktionsmengen.⁷ Unter praktischen Gesichtspunkten kann jedoch die genauere Analyse der Produktionsprozesse von Interesse sein, wenn die Auswirkungen unterschiedlicher, unsicherer Auftragszugänge und deren Bearbeitung detailliert, unter Einbezug der zu erwartenden Kapitalbindung zu bewerten sind. Dazu können folgende Fragestellungen formuliert werden:

1. Eine Unternehmung beabsichtigt, die Break-Even-Analyse zur Ermittlung von Kenngrößen (Vorzugsmaßen) für unterschiedliche Produktionssysteme einzusetzen, die sich in einer betrachteten Periode durch abweichende Fixkostenstrukturen, aber auch durch differierende, stochastische Produktionsraten und Flexibilitätspotentiale voneinander unterscheiden. Dabei sollen auch spezifische stochastische Nachfragen berücksichtigt werden können. Diese Fragestellung macht es erforderlich, für jede Entscheidungsalternative spezifische Deckungsbeiträge zu ermitteln, die den unsicheren Absatz- und Produktionsverhältnissen gerecht werden.
2. Eine Unternehmung sieht sich mit einer Nachfrage konfrontiert, die in mehreren Perioden durch unterschiedliche stochastische Parameter gekennzeichnet ist. Dabei ist die Unternehmung in der Lage, auf Nachfrageschwankungen durch eine Anpassung der Belegungszeit bzw. der Produktionsgeschwindigkeit zu reagieren. Die Unternehmung ist außerdem nicht in der Lage, eine feste Produktionsrate mit deterministischem Wert vorzugeben, sondern nur deren Erwartungswert und gegebenenfalls deren zweites Moment. Für die Unternehmung besteht in dieser Situation die Notwendigkeit, variable Deckungsbeiträge in ihre Break-Even-Analyse einfließen zu lassen. Diese (erwarteten) Deckungsbeiträge müssen variable Kosten enthalten, welche durch die an die jeweilige Nachfragesituation angepasste Produktionssituation verursacht werden.

Diese zwei Fragestellungen sind Gegenstand des folgenden Beitrags.

⁶ Vgl. Ewert/Wagenhofer (1997), S. 225 ff.

⁷ Vgl. Jaedicke/Robichek (1964), S. 917 ff., insbesondere S. 919. Zur Kritik an der Annahme normalverteilter Koeffizienten vgl. Ferrara/Hayya/Nachman (1972), S. 299 ff.

2 Grundmodell der Break-Even-Analyse und Motivation approximativer Erweiterungen

Das deterministische Grundmodell der Break-Even-Analyse⁸ basiert auf den Annahmen einer einstufigen Produktion eines einzigen Produkts. Dabei werden ein undifferenzierter Fixkostenblock, konstante Stückerlöse und konstante variable Stückkosten unterstellt. Den erlös- und kostenbestimmenden Faktor bildet üblicherweise die Produktions- und Absatzmenge. Sie bezieht sich auf das einzige Produkt, kann jedoch auch auf mehrere Produkte bezogen sein, die planungstechnisch nicht differenziert werden. Letzterer Fall setzt streng genommen voraus, dass übereinstimmende Deckungsbeiträge sowie keine produktindividuellen fixen Kosten existieren, sondern ein undifferenzierter Fixkostenblock anfällt. Hervorzuheben ist ferner die Annahme, dass der Absatzprozess bzw. der Eingang der Kundenaufträge in einer Abfolge realisiert wird, die im Zusammenhang mit dem Produktionsprozess Wartezeiten von Aufträgen vollkommen ausschließt und somit, bis auf in Arbeit befindliche Aufträge, zur Vermeidung von Lagerhaltungskosten führt. Die Anzahl der in einer Periode eintreffenden Aufträge geht in das Modell nicht als Determinante ein. Im Hinblick auf den Produktionsprozess wird außerdem unterstellt, dass er keinerlei Stochastik unterworfen ist. Bei der Berechnung der variablen Kosten pro Produkteinheit kann deshalb von auftragsgebundener Bereitstellung der Verbrauchsfaktoren ausgegangen und daher auf die Abbildung von Lagern verzichtet werden, die aus dem Befolgen einer Lagerhaltungspolitik resultieren.

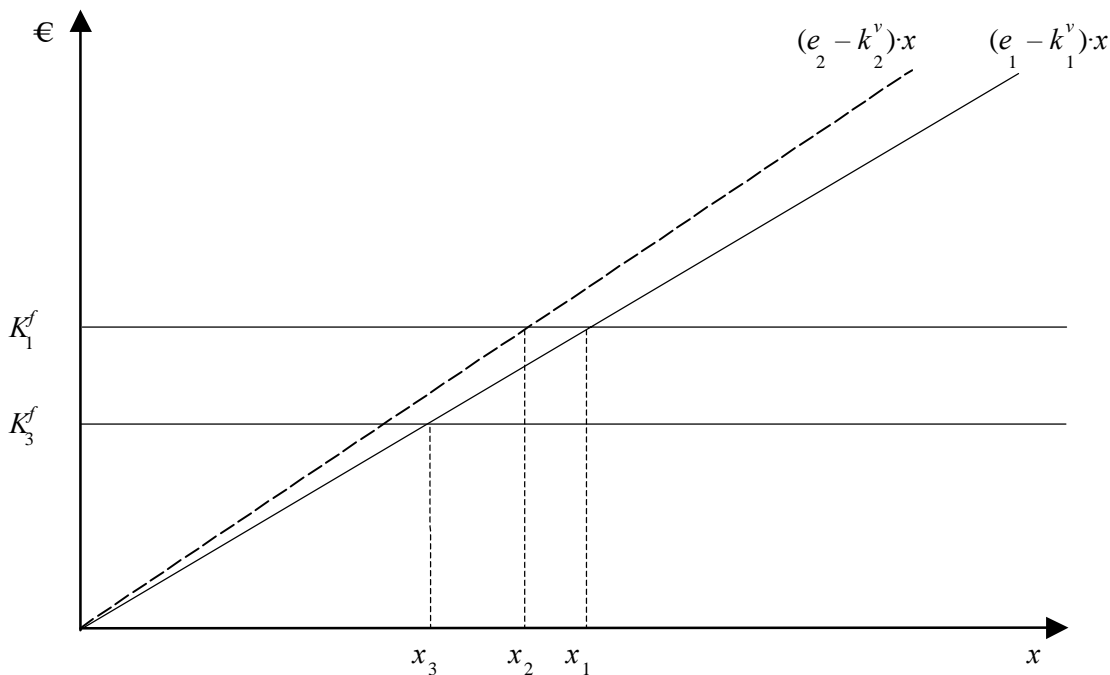
Formal bestimmt sich die Break-Even-Menge x_1 im Grundmodell aus der Gleichung:

$$(1) \quad K_1^f = (e_1 - k_1^v) \cdot x_1 := d_1 \cdot x_1,$$

in der e_1 den Stückerlös, k_1^v die variablen Stückkosten sowie d_1 den Stückdeckungsbeitrag und K_1^f die fixen Kosten bezeichnen. K_1^f kann außerdem um einen Mindestgewinn erhöht werden, so dass sich anstelle der allgemeinen Gewinnschwelle die Schwelle eines Mindestgewinns ergibt. Eine Grafik zum Grundmodell der Break-Even-Analyse mit übereinstimmender, variabler Produktions- und Absatzmenge x lässt sich Abb. 1 entnehmen. Abb. 1 zeigt ferner die Auswirkung einer Erhöhung des Deckungsbeitrags bzw. der Differenz zwischen Stückerlös und variablen Stückkosten von d_1 auf d_2 bei gleichbleibenden Fixkosten K_1^f , die von x_1 zur Break-Even-Menge x_2 führt. Ebenso lässt ein Absinken des Fixkostenblocks K_1^f auf K_3^f die Break-Even-Menge bei konstantem Deckungsbeitrag d_1 von x_1 auf x_3 fallen.

⁸ Vgl. Schär (1923), S. 169, der von der Berechnung eines *toten Punktes* spricht.

Abb. 1: Grundmodell der Break-Even-Analyse



Die Anwendungen der Break-Even-Analyse sind vielfältig und lassen sich in Rechnungen zur Entscheidungsunterstützung und in Rechnungen zur Kontrollunterstützung differenzieren.

Im Rahmen der Entscheidungsunterstützung dient die Break-Even-Analyse zur Bestimmung mengen- oder zeitbezogener Kennziffern, die zusätzlich neben wertmäßigen Größen zur Beurteilung von Entscheidungsalternativen herangezogen werden können⁹:

- (1) Für ein isoliertes Entscheidungsobjekt kann anhand der Break-Even-Menge bzw. eines entsprechenden Tupels im mehrdimensionalen Fall die Erreichung der Gewinnschwelle in Anbetracht der Absatzmöglichkeiten beurteilt werden.
- (2) Beim Vergleich zweier Entscheidungsalternativen werden die Kostendifferenzen entsprechender Kostenkategorien der betrachteten Objekte zueinander in Beziehung gesetzt. Der Vergleich lässt Aussagen darüber zu, ab welcher Absatzmenge die Vorteilhaftigkeit der beiden Entscheidungsalternativen wechselt.

⁹ Vgl. Ewert/Wagenhofer (1997), S. 218.

- (3) Bei der Durchführung zusätzlicher Sensitivitätsanalysen kann die Vorteilhaftigkeit einer Entscheidungsalternative bei variierten Parametern (z.B. Stückerlösen, variablen Stückkosten oder fixen Kosten) beurteilt werden.

Neben der Entscheidungsunterstützung eignet sich eine Break-Even-Analyse auch zu Kontroll- und Steuerungszwecken:¹⁰

- (1) Break-Even-Mengen lassen sich dazu verwenden, Planproduktmengen zu definieren. Z.B. kann eine Planmenge in Abhängigkeit von derjenigen Break-Even-Menge festgelegt werden, die zum Erreichen eines geplanten Mindestgewinns führt. Jeweils am Ende einer Periode kann dann die realisierte Produktmenge mit der geplanten Menge verglichen werden. Die Break-Even-Analyse ist in diesem Zusammenhang als Instrument eines Plan-Ist- oder eines Soll-Ist-Vergleichs aufzufassen (Ergebniskontrolle).
- (2) Zur laufenden Kontrolle kann innerhalb einer Periode beurteilt werden, inwieweit die bereits realisierte Absatzmenge mit der derjenigen übereinstimmt, die das Erreichen der Gewinnschwelle gewährleistet. Abweichungen von der geplanten Absatzmenge können dann auf ihre Ursachen hin untersucht werden. Aus letzteren lassen sich Prognosen über die geänderten Zielwirkungen und die Erreichung der Break-Even-Menge stellen. In diesem Fall dient eine Break-Even-Analyse zur Durchführung eines Soll-Wird-Vergleichs (Planfortschrittskontrolle).

Die eingangs genannten und unter praktischen Gesichtspunkten restriktiven Annahmen beeinträchtigen den Einsatz von Break-Even-Analysen erheblich. Ihre Abschwächung führt in der Literatur zu weiterentwickelten Ansätzen. Ein Problem bei der Weiterentwicklung der Break-Even-Analyse stellt die Berücksichtigung von Unsicherheiten der künftig zu realisierenden Produktions- und Absatzprozesse dar. Um negativen Auswirkungen dieser Unsicherheiten zu begegnen, werden zum einen die angeführten Sensitivitätsanalysen durchgeführt. Zum anderen wird der Weg beschritten, für einen oder mehrere Parameter Verteilungsfunktionen zu unterstellen. Im herkömmlichen Sinne stellt eine Break-Even-Analyse ein Instrument dar, mit dem diejenige Ausprägung verursachender Faktoren bestimmt wird, für welche die Summe einer fixen, negativ wirkenden Größe und einer durch die verursachenden Faktoren variablen, positiv wirkenden Größe gleich Null ist. Im Rahmen einer Kosten- und Erlösrechnung werden mit der Break-Even-Analyse kritische Kombinationen kosten- und erlösbestimmender Fakto-

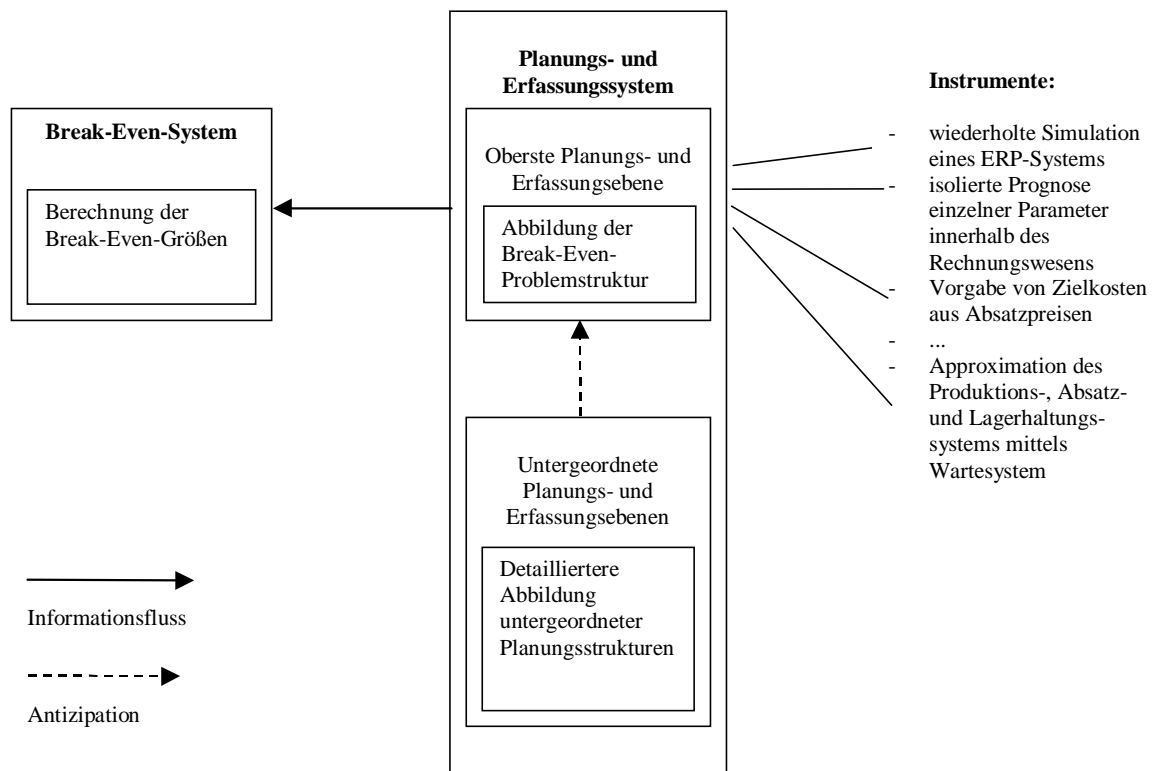
¹⁰ Vgl. Schweitzer/Troßmann (1998), S. 11.

ren (z. B. Produktionsmengen) ermittelt, für die der Umsatz abzüglich der variablen Kosten genau den fixen Kosten, jeweils bezogen auf eine zu spezifizierende Periode, entspricht. Als verursachende Faktoren lassen sich neben Produktions- und Absatzmengen auch Zeiten oder monetäre Größen verwenden. Insbesondere können verursachende Faktoren nicht nur eindimensional, sondern auch mehrdimensional erfasst werden.

Bei genauerer Betrachtung des Grundmodells stellt die Break-Even-Analyse ein reines Berechnungsinstrument zur Bestimmung kritischer Ausprägungen des verursachenden Faktors (der verursachenden Faktoren dar) dar. Sofern als verursachende Faktoren Produktionsmengen definiert werden, bedarf es einer genauen Analyse, welche Kosten durch diese Produktionsmengen beeinflusst werden. Zu diesem Zweck müssen über die Produktionsmengen hinaus zusätzliche Kostenstrukturbeziehungen zwischen den Produktionsmengen und weiteren Entscheidungsvariablen bekannt sein, deren Festlegung zu den untersuchten Produktionsmengen führt. Die Genauigkeit, mit der eine Break-Even-Analyse durchgeführt werden soll, bestimmt also die Struktur und Präzision eines vor der Analyse liegenden Planungs- (und Erfassungs-)instruments, mit dessen Hilfe die Daten zur Durchführung der Break-Even-Analyse geliefert werden. Umgekehrt behindert ein wenig differenziertes Planungsinstrument eine differenzierte Auswertung mittels Break-Even-Analysen. Werden z.B. Fixkosten einer Mehrproduktherstellung nur undifferenziert erfasst bzw. prognostiziert, kann eine Break-Even-Analyse lediglich Produktionsmengen-Tupel ermitteln, die zur Deckung der Fixkosten führen. Ist hingegen eine differenzierte und verursachungsgerechte Prognose durchführbar, besteht die Möglichkeit, auch die Break-Even-Analysen entsprechend zu differenzieren.

Die enge Beziehung zwischen dem System zur Break-Even-Analyse und einem geeigneten Planungs- und Erfassungssystem legt es nahe, unterschiedliche Erweiterungen oder Spezifikationen der Break-Even-Analyse nicht mehr isoliert, sondern in Verbindung zum Planungs- und Erfassungssystem besonders zu betrachten. In diesem Zusammenhang bietet es sich an, von einem hierarchischen Aufbau des Planungssystems auszugehen. Der obersten Planungs- und Erfassungsebene liegt dabei ein Modell der Realität zugrunde, auf das die Break-Even-Analyse aufbaut. Auf dieser Ebene verdichtete Daten werden durch untergeordnete Planungsinstrumente bestimmt. Zur Reduktion der Komplexität werden diese Daten durch eine vereinfachende Antizipation des Planungsgeschehens auf den untergeordneten Ebenen berechnet. Die entsprechenden Beziehungen zwischen der Break-Even-Analyse und den unterschiedlichen Ebenen des Planungs- und Erfassungssystems sind in der Abb. 2 skizziert.

Abb. 2: Anbindung der Break-Even-Analyse an das Planungs- und Erfassungssystem

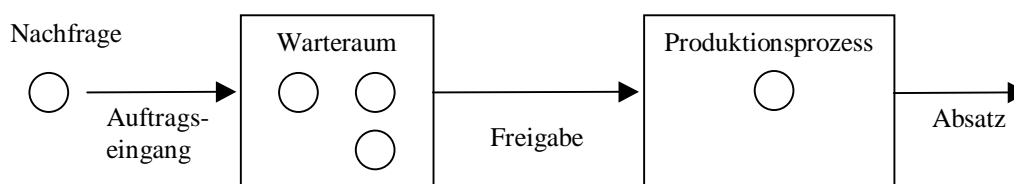


In Abb. 2 wird ein Überblick über einsetzbare Planungsinstrumente gegeben. Zu Prognosezwecken ist im Idealfall ein komplettes ERP-System mit sicheren Daten anzuwenden. Dieses wäre in der Lage, nicht nur die oberste, sondern auch untergeordnete Planungs- und Erfassungsebenen abzubilden. Da jedoch gerade bei langfristigen Entscheidungsproblemen nicht von Datensicherheit auszugehen ist, besteht lediglich eine Möglichkeit, das ERP-System für ausgesuchte Datenszenarien zu simulieren. Dieser Lösung dürfte zum einen der Rechenaufwand und zum anderen die unvollständige Integration einzelner Abrechnungs- und Planungsmodulen entgegenstehen. Aus diesem Grund werden häufig entsprechende Kosten- und Erlösdaten aus vereinfachenden Rechnungen innerhalb des Rechnungswesens ermittelt. Eine stark vereinfachende Methode besteht in der Vorgabe von Zielkosten. Da diese Vorgabe, wie auch die vereinfachte Kostenplanung innerhalb des Rechnungswesens, Interdependenzen im Produktions-, Absatz- und Lagerhaltungssystem nahezu gänzlich vernachlässigt, bietet es sich an, neben der Simulation des ERP-Systems weitere Approximationsmöglichkeiten des Systems zu analysieren. Hierbei kommen alle Planungsinstrumente in Betracht, die im Rahmen einer möglichst genauen Approximation der Realität zu hinlänglich guten Ausgangsdaten für die Break-Even-Analyse führen. Da der Produktionstyp den Gegenstand der Approximation determiniert, sind die Planungsinstrumente produktionstypengerecht zu differenzieren. Für den Fall vieler Aufträge mit verhältnismäßig kurzen Belegungszeiten bieten sich zu Prognosezwecken z.B. Warteschlangensysteme an.

3 Break-Even-Analysen bei stochastischer Produktion und stochastischer Nachfrage

Im Grundmodell der Break-Even-Analyse werden konstante variable Stückkosten unterstellt, die nicht vom Nachfrage- oder Produktionsprozess bzw. – in der Terminologie der Warteschlangentheorie – vom Zugangs- oder Abgangsprozess der Aufträge abhängig sind. Wünschenswert wäre im Gegensatz zu dieser Annahme jedoch eine Ermittlung variabler Stückkosten, die durch die künftig zu realisierende Auftrags- und Kapazitätssituation sowie durch die damit verbundenen Planungs- und Steuerungsmaßnahmen bestimmt werden. Die genaue Voraussicht dieser künftig eintretenden Ereignisse und der resultierenden Maßnahmen dürfte jedoch aufgrund der hohen Komplexität und bestehender Unsicherheiten (bis auf wenige Ausnahmen) unmöglich sein. Eine vereinfachte Beschreibung dieser Maßnahmen und Ereignisse ist jedoch durch Warteschlangensysteme realisierbar. Hierin (vgl. Abb. 3) wird die Absatzseite durch eintreffende Aufträge abgebildet. Bei konstantem Stückerlös wird durch die eintreffenden Aufträge gleichzeitig der Umsatz bestimmt. Die eingetroffenen Aufträge werden, sofern sie nicht sofort bearbeitet werden können, zunächst in eine Warteschlange (Auftragsbestand) eingeordnet, wo sie bis zum Beginn (Freigabe) der Produktion verbleiben. Der Produktionsprozess wird durch eine Abgangsrate modelliert, welche die Leistungsfähigkeit des Produktionssystems widerspiegelt. Für die Abarbeitung der Aufträge wird i.d.R. die First-Come-First-Served-Regel unterstellt.

Abb. 3: Warteschlangensystem



Zur Modellierung der Produktions- und Absatzprozesse muss zwischen kundenauftrags- und lagerbezogener Produktion unterschieden werden. Bei **kundenauftragsbezogener Produktion** wird vereinfachend unterstellt, dass jeweils ein Kundenauftrag einem Produktionsauftrag entspricht. Die zur Durchführung des Produktionsauftrags benötigten Materialien werden ab dem Eingang des Auftrags reserviert und führen von diesem Zeitpunkt an zu Kapitalbindung. Bei **lagerbezogener Produktion** werden Produktionsaufträge auch ohne Eingang eines zuordenbaren Kundenauftrags aufgelegt, um ein bestimmtes Lagerbestandsniveau aufrechtzuerhalten.

Gegenstand der vorliegenden Studie sind Break-Even-Analysen auf der Basis einer **kundenauftragsgebundenen** Produktion. Für die betreffenden Produktions- und Absatzsysteme wird unterstellt, dass verspätet ausgeführte Aufträge nicht verloren gehen, sondern nachgeliefert werden. Den Ausgangspunkt bildet das Grundmodell der Break-Even-Analyse für ein Produkt bei einstufiger Produktion nach (1). Die dort verwendeten variablen Kosten müssen zur getrennten Abbildung von Lagerhaltungskosten und Kosten der Durchführungsgeschwindigkeit aufgespalten werden. Variable Stückkosten beziehen sich deshalb ausschließlich auf diejenigen Faktorinanspruchnahmen, die durch den Produktionsvollzug direkt verursacht werden und unabhängig von der Produktionsgeschwindigkeit anfallen. Die Differenz aus dem Stückerlös und diesen direkt verursachten variablen Stückkosten ergibt den Deckungsbeitrag 1 (d_1). Lagerhaltungskosten setzen sich im Modell aus Kosten zusammen, die in Abhängigkeit von der Durchlaufzeit des Produktionsauftrags ab dem Zeitpunkt der Reservierung der benötigten Materialien anfallen. Konkret wird unterstellt, dass sich die Lagerhaltungskosten pro Stück aus der Multiplikation der Lagerhaltungskosten pro Stück und Zeiteinheit (c) und der Durchlaufzeit eines Auftrags (T) berechnen lassen. Den Hauptbestandteil dieser Lagerhaltungskosten bilden Kapitalbindungskosten. Stückkosten, die alleine durch die Produktionsdurchführungsgeschwindigkeit verursacht sind, werden in Abhängigkeit von der Belegungszeit bzw. der Servicezeit (S) durch eine Funktion $f(S)$ abgebildet. Mit Hilfe dieser Größen bestimmt sich der Deckungsbeitrag 2 (D_2) als Zufallsvariable in Abhängigkeit von der Belegungszeit S sowie mittelbar über die Zufallsvariable $T(S, A)$ aus S und der Zwischenankunftszeit A :

$$(2) \quad D_2 = d_1 - T \cdot c - f(S) = d_1 - T(S, A) \cdot c - f(S).$$

Unter den dargestellten Annahmen kann ein Modell zur Berechnung des erwarteten Deckungsbeitrags 2 ($E(D_2)$) formuliert werden. Dieser bildet den Ausgangspunkt für die Break-Even-Analyse nach dem Grundmodell (1). Zur Komplexitätsreduktion sei angenommen, dass die Funktion $f(S)$ in Abhängigkeit vom Erwartungswert $E(S)$ bzw. der mittleren Abgangsrate μ durch $f(S) := p_1 \cdot 1/E(S) + p_2 \cdot E(S) = p_1 \cdot \mu + p_2 \cdot 1/\mu$ erklärt oder wenigstens im Betrachtungsintervall hinlänglich approximiert ist¹¹. Das um Warteeffekte erweiterte Basismodell der Break-Even-Analyse bei kundenauftragsorientierter Produktion lautet dann:

$$(3) \quad K^f = E(D_2) \cdot x, \text{ wobei}$$

¹¹ Die Größe μ entspricht der Leistungsintensität in einer Gutenberg-Verbrauchsfunktion, vgl. auch Gutenberg (1983), S. 326 ff.

$$(4) \quad E(D_2) = d_1 - E(T) \cdot c - \frac{P_1}{E(S)} - p_2 \cdot E(S) \text{ und}$$

$$(5) \quad ES_{\min} \leq E(S) \leq ES_{\max}$$

$$(6) \quad EA_{\min} \leq E(A) \leq EA_{\max}$$

Das Modell umfasst mit Gleichung (3) eine reine Berechnungskomponente zur Bestimmung der Break-Even-Menge x . Gleichung (4) stellt die allgemeine Beziehung zum Planungssystem dar. Diese Gleichung enthält jedoch noch keine Informationen über die reale Gestalt des Absatz- und Produktionsprozesses und über die Planung der Absatz- und Produktionsdurchführung. Im Folgenden sind deshalb Spezifikationen des unterlegten Wartesystems und des antizipierten, untergeordneten Planungssystems notwendig. Nebenbedingungen (5) und (6) geben jeweils untere und obere Schranken für die vorzugebenden Erwartungswerte der Belegungszeit und der Zwischenankunftszeit der Aufträge wieder. Eine weitere Beschränkung der erwarteten Belegungszeit ist notwendig, um in einem Warteschlangensystem ein stationäres Gleichgewicht zu erhalten. Die Formulierung der betreffenden Bedingung ist jedoch abhängig von der Zahl der modellierten Bedienungskanäle, sodass sie warteschlangensystemspezifisch zu formulieren ist.

Hinsichtlich der Gestalt des Absatz- und Produktionsprozesses lassen sich unter anderem zwei unterschiedliche Haupttypen ausmachen. Zum einen kann unterstellt werden, dass die Zwischenankunftszeit A bzw. die mit ihr verbundene Nachfragerate nicht von der Unternehmung beeinflusst werden kann. Stattdessen wird die Unternehmung in der untergeordneten Durchführungsplanung die Produktion über entsprechende Parameter, z.B. Belegungszeit S , an die Nachfrage anpassen. Zum anderen kann die Unternehmung sich in der Situation sehen, ein vorliegendes Produktionssystem nicht beeinflussen zu können. Stattdessen wird sie bestrebt sein, die Auftragsannahme in Gestalt der Zwischenzugangszeit A an das zur Verfügung stehende Kapazitätsangebot anzupassen. Weiterhin können Mischtypen dieser beiden Extremfälle auftreten.

Auch hinsichtlich der Planung auf untergeordneten Ebenen (Durchführungsplanung) sind in der Planungskomponente eine Vielzahl von Planungszielen und -verfahren vorstellbar. Hierbei spielen insbesondere auch die Möglichkeiten der Verhaltensbeeinflussung untergeordneter Entscheidungsträger und Durchführungsorgane eine Rolle. Nachfolgend soll in einigen Anwendungen die Hypothese verfolgt werden, dass die mit der Durchführungsplanung und Durchführung betrauten Instanzen bestrebt sind, die Deckungsbeiträge pro Stück oder Zeiteinheit zu maximieren, womit jedoch nicht ein Ausbau der Modelle zur Berücksichtigung komplexerer Entscheidungs- und Verhaltensmuster negiert werden soll.

Folgt eine Unternehmung der Hypothese einer deckungsbeitragsmaximalen Produktionsdurchführung bei gegebener Nachfrage, ist sie bestrebt, die erwartete Belegungszeit $E(S)$ derart festzulegen, dass der erwartete Stückdeckungsbeitrag $E(D_2)$ maximal wird. Um diese Entscheidung treffen zu können, sind weitere Hypothesen über die Berücksichtigung der Nachfrage aufzustellen, die zu zwei Entscheidungssituationen führen. Zum einen kann angenommen werden, dass bei der Festlegung der erwarteten Servicezeit keine Informationen über die erwartete Nachfrage einfließen und die Servicezeit optimal auf die durch die Break-Even-Menge bezeichnete Nachfrage eingestellt wird (Entscheidungssituation 1). Zum anderen kann die erwartete Servicezeit unter Berücksichtigung der erwarteten Nachfrage festgelegt werden und Gegenstand einer nicht revidierbaren Entscheidung sein (Entscheidungssituation 2).

In Entscheidungssituation 1 tritt an die Stelle der beschreibenden Gleichung (4) dann die Maximierungsvorschrift:

$$(7) \quad \max E(D_2) = d_1 - E(T) \cdot c - \frac{p_1}{E(S)} - p_2 \cdot E(S), \text{ die um}$$

$$(8) \quad E(T) = E(T(E(S), 1/x)) \text{ zu ergänzen ist.}$$

In Entscheidungssituation 2 wird die Entscheidung über $E(S)$ unter Berücksichtigung von $E(A)$ getroffen. An die Stelle von (7) tritt dann die Nebenbedingung (9), die um die Maximierungsvorschrift zur Bestimmung einer optimalen erwarteten Belegungszeit (10) sowie die Konkretisierung der Durchlaufzeitzeit (11) zu ergänzen ist:

$$(9) \quad E(D_2) = d_1 - E(T(E(S), 1/x)) \cdot c - \frac{p_1}{E(S)} - p_2 \cdot E(S)$$

$$(10) \quad E(S) = \operatorname{argmax} E(D_2) = d_1 - E(T) \cdot c - \frac{p_1}{E(S)} - p_2 \cdot E(S)$$

$$(11) \quad E(T) = E(T(E(S), E(A))) .$$

Zweckmäßig ist auch die Ergänzung von (4) sowie der daraus abgeleiteten Zielfunktionen und Nebenbedingungen um eine Komponente, welche die Kosten der Belegungszeitstreuung, z.B. der Kosten erhöhter Koordination, wiedergibt. Letztere lässt sich durch die Multiplikation eines entsprechenden Strafkostensatzes (v) mit dem Variationskoeffizienten der Belegungszeit C_S approximativ abbilden. Mit dieser Ergänzung erweitert sich die Möglichkeit, unterschiedliche Prozesstypen, die sich z.B. durch abweichende Fixkostenblöcke und Streuungen der Belegungszeiten unterscheiden, mit Hilfe von Break-Even-Analysen einander gegenüberzustellen. Stellvertretend für die Bedingungen (9) und (10)

geht beispielsweise der nach (7) zu maximierende Erwartungswert in eine varianzabhängige Zielgröße über. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass nicht die Varianz des Deckungsbeitrags D_2 , sondern nur der Variationskoeffizient der Belegungszeit als Risikokorrektiv in das Modell aufgenommen wird:

$$(12) \quad \max E(D_2) = d_1 - E(T) \cdot c - \frac{p_1}{E(S)} - p_2 \cdot E(S) - C_S \cdot v.$$

Zum anderen kann hinsichtlich des Planungssystems angenommen werden, dass die Unternehmung willens und in der Lage ist, bei einer unbeeinflussbaren erwarteten Belegungszeit die Nachfrage zu beeinflussen. In diesem Fall wird die Break-Even-Menge x zur Variablen in einem beschreibenden Modell. Bei Umsetzung dieser Annahme ist der erwartete Deckungsbeitrag pro Zeiteinheit $E(D_3)$ relevant, der sich aus (7) mittels Multiplikation mit der Break-Even-Menge berechnet:

$$(13) \quad \max E(D_3) = d_1 \cdot x - E(T) \cdot c \cdot x - \frac{p_1 \cdot x}{E(S)} - p_2 \cdot E(S) \cdot x, \text{ wobei}$$

$$(14) \quad E(T) = E(T(E(S), 1/x)) \text{ zu konkretisieren ist.}$$

Unter Anwendung von *Little's Law*¹² ist Ausdruck (13) äquivalent mit

$$(15) \quad \max E(D_3) = d_1 \cdot x - E(N) \cdot c - \frac{p_1 \cdot x}{E(S)} - p_2 \cdot E(S) \cdot x,$$

worin $E(N)$ den erwarteten Bestand darstellt. Im Folgenden soll jedoch der ersten Annahme der Vorrang gewährt werden, dass nur die Belegungszeit beeinflussbar ist und der Zwischenankunftsprozess bzw. die Nachfrage (als stochastische Größen) im entsprechenden Umfang bekannt sind.

4 Warteschlangenbasierte Break-Even-Analysen im Einproduktfall

4.1 Modellierung für einen Bedienungskanal

4.1.1 Break-Even-Analyse auf der Basis von M/M/1-Modellen

Bei der Beschreibung der Absatz- und Produktionsprozesse mittels eines M/M/1-Warteschlangensystems¹³ wird angenommen, dass sowohl die Zwischenankunftszeit A als

¹² Vgl. Wolff (1989), S. 287 f.

¹³ Zur Notation vgl. Neumann/Morlock (1993), S. 665.

auch die Belegungszeit (Bedienungszeit) S mit den Erwartungswerten $E(A) = 1/\lambda$ bzw. $E(S) = 1/\mu$ exponentialverteilt sind. Das Wartesystem besteht aus einem einzigen Warteraum und einem einzigen Bedienungskanal. Eintreffende Kundenaufträge werden in der gemeinsamen Warteschlange verwaltet und nach Freigabe jeweils an allen Kapazitätseinheiten des Bedienungskanals gleichzeitig bearbeitet. Damit wirkt sich eine Änderung der Anzahl an Kapazitätseinheiten direkt auf die zu erwartende Belegungszeit eines Auftrags im System aus. Für dieses System kann im Gleichgewichtszustand die erwartete Durchlaufzeit durch

$$(16) \quad E(T(E(S), E(A))) = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{E(A) \cdot E(S)}{E(A) - E(S)}$$

beschrieben¹⁴ werden. Zur Erhaltung des Gleichgewichtszustands muss darüber hinaus das Grundmodell um die Bedingung

$$(17) \quad \lambda < \mu \text{ bzw. } E(S) < E(A)$$

erweitert werden. Sie verlangt, dass der Erwartungswert der Belegungszeit ($E(S)$) kleiner ist als der Erwartungswert der Zwischenankunftszeit ($E(A)$) zweier, direkt nacheinander eintreffender Aufträge.

Die Bedeutung der Modellspezifikation durch (16) und (17) lässt sich an dem in Tab. 1 angeführten Beispiel erläutern. Es wird dabei unterstellt, dass die fixen Kosten auf den Zeitraum eines Monats proportionalisiert sind, der gleichzeitig die Maßeinheit für die Zwischenankunfts-, die Belegungs- und die Durchlaufzeit bildet. Zur Antizipation des Entscheidungsverhaltens der untergeordneten Planungsebene wird eine Maximierung des Stückdeckungsbeitrags $E(D_2)$ durch die Durchführungsinstanzen in Entscheidungssituation 1 angenommen.

¹⁴ Vgl. Neumann/Morlock (1993), S. 675.

Tab. 1:

K_f	d_1	c	p_1	p_2	v
100,00	5,00	0,50	0,0025	0,80	0,00
$E(S)$	$E(T)$	$E(D_2)$	$x = 1/E(A)$		
0,02719	0,06178	4,8554	20,5956		

Bei Fixkosten K_f von 100 sowie den weiteren, in der ersten Datenzeile wiedergegebenen Kostensätzen und Parametern empfiehlt es sich, für die Durchführungsinstanz einen Erwartungswert der Belegungszeit $E(S)$ von 0,02719 vorzugeben. Unter diesen Bedingungen kann eine Durchlaufzeit $E(T) = 0,06178$ erwartet werden, die bei einem erwarteten Deckungsbeitrag $E(D_2)$ von 4,8554 mit einer Break-Even-Menge $x = 20,5956$ verbunden ist.

Ein Übergang zu der durch Gleichung (12) beschriebenen Zielfunktion führt im Falle des M/M/1-Modells zu keinen aussagekräftigeren Aussagen, da für exponentialverteilte Belegungszeiten stets ein Variationskoeffizient $C_s = 1$ gilt. Der Übergang zur Zielfunktion (12) bewirkt lediglich einen um v niedrigeren Deckungsbeitrag und eine entsprechend erhöhte Break-Even-Menge.

Zur Verdeutlichung der Auswirkungen, die sich aus der integrierten Betrachtung der Stochastik im Problem in Tab. 1 ergeben, bietet es sich an, den deterministischen Vergleichsfall zu betrachten. Die Produktion eines Auftrags wird erst ausgelöst, wenn sein Vorgänger bereits abgearbeitet ist und die Differenz zwischen dem entsprechenden Liefertermin und dem aktuellen Zeitpunkt genau der Belegungszeit entspricht. Bei einer Belegungszeit s , die kleiner als die deterministische Zwischenankunftszeit ist, besteht dann ein stabiles System. Die Kapitalbindung dauert gerade s Zeiteinheiten. Der nunmehr deterministische Deckungsbeitrag d_2 wird in Analogie zu (7) mit der folgenden Zielfunktion maximiert:

$$(18) \quad \max d_2 = d_1 - s \cdot c - \frac{p_1}{s} - s \cdot p_2.$$

Als notwendige Bedingung zur Maximierung von d_2 muss $s = \sqrt{p_1/(c + p_2)} = 0,0439$ erfüllt sein, wodurch sich $d_2 = d_1 - 2\sqrt{p_1 \cdot (c + p_2)} = 5 - 0,114 = 4,886$ bestimmen lässt. Dieser deterministische Deckungsbeitrag d_2 führt zu einer im Vergleich zu Tab. 1 nur wenig geringeren Break-Even-Menge von $100/4,943 = 20,467$ anstelle von 20,5956. Gleichzeitig beträgt die Zwischenankunftszeit $1/20,467 = 0,0489 > 0,0439$, woraus die Stabilität des Systems abgelesen werden kann. Selbst die falsche Vorgabe der aus dem

deterministischen Modell gewonnenen Belegungszeit zeigt unter der Voraussetzung, dass tatsächlich die betreffende Stochastik korrekt wiedergegeben ist, eine nur geringfügig abweichende Break-Even-Menge von 20,590.

Wird in Tab. 1 jedoch die Kostenkurve durch die Parameter $c = 0,16$, $p_1 = 0,0333$ und $p_2 = 0,12$ geändert, zeigt sich die Verwendung der unter der Annahme der Deterministik gewonnenen Lösung als folgenschwerer. Als Lösung des stochastischen Problems erhält man dann:

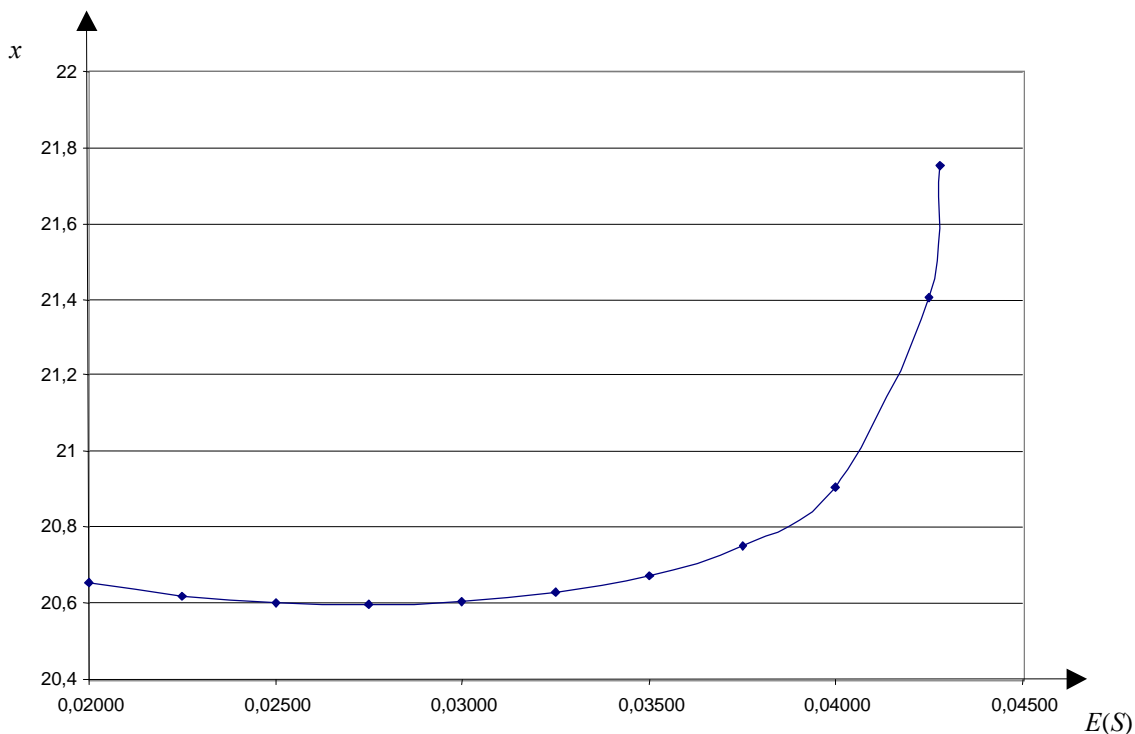
Tab. 1 (Fortsetzung)

$E(S)$	$E(T)$	$E(D_2)$	$x = 1/E(A)$
0,0370	0,4558	4,0215	24,866

Unter der Annahme der Deterministik wäre bei freier Maximierung des Deckungsbeitrags d_2 eine Belegungszeit von $s = 0,345$ einzustellen. Diese wäre jedoch auf den Wert 0,0419 zu reduzieren, um eine (gleichlange) zulässige Zwischenankunftszeit unter Beachtung der zusätzlichen Nebenbedingung $s \leq 1/x$ realisierbar zu machen. Die Break-Even-Menge x nähme dann den Wert 23,8417 an. Unter den Gegebenheiten der Stochastik führte die Einstellung der erwarteten Belegungszeit von 0,0419 dazu, dass keine Deckung der fixen Kosten erreicht würde. Es wäre nämlich eine erwartete Zwischenankunftszeit zu wählen, die über diesem Wert 0,0419 liegt, dabei entstünde jedoch ein erwarteter Deckungsbeitrag, der nach Multiplikation mit dem Kehrwert der Zwischenankunftszeit nicht zur Deckung der fixen Kosten führt. Im vorliegenden deterministischen Fall besteht also die Gefahr, die Deckung der fixen Kosten falsch einzuschätzen.

Letztlich besteht die Möglichkeit, im angeführten Beispiel in Tab. 1 die Hypothese über das Entscheidungsverhalten, das zur Maximierung des Stückdeckungsbeitrags führen soll, fallen zu lassen. Damit lässt sich keine eindeutige Break-Even-Menge mehr bestimmen. An die Stelle der produzierten Einheiten tritt dann als verursachender Faktor die in Abb. 4 ausgewiesene erwartete Belegungszeit $E(S)$. Dort zeigt die Break-Even-Menge x in weiten Bereichen nur eine sehr schwache Reaktion auf die Variation der erwarteten Belegungszeit. Erst bei Werten von $E(S)$, die gegen 0,045 streben und zu hohen Auslastungen führen, steigt die Break-Even-Menge stark an. Erneut wird deutlich, dass eine falsch angesetzte Belegungszeit $E(S)$ zu Fehleinschätzungen der tatsächlichen Situation führen kann.

Abb. 4: Break-Even-Mengen bei variierten Belegungszeiten



Die Beispiele zeigen eine grobe Abbildung der Auftragseingangs- und Bearbeitungsprozesse. Gegenüber einer isolierten Berücksichtigung des erwarteten Absatzes liegt der erweiterten Break-Even-Analyse eine deutlich realistischere Annahme zugrunde. Sie wird getragen durch die Hypothese, dass in der Produktion eine deckungsbeitragsmaximale Belegungszeit gewählt wird. Außerdem lässt sich dem Beispiel auch der Schwachpunkt des Modells entnehmen: In die Beschreibung der Absatz- und Produktionsprozesse gehen nämlich ausschließlich die ersten Momente der Verteilungen der Zwischenankunfts- und Belegungszeiten ein. Eine Streuung der betreffenden Zeiten bzw. die Momente zweiter und größerer Ordnung bleiben unbeachtet. Ferner besitzt die angenommene Exponentialverteilung für Belegungszeiten keine empirische Bedeutung.

4.1.2 *Break-Even-Analyse auf der Basis von M/G/1-Modellen*

Eine erste Verbesserung gegenüber der bisherigen Annahme exponentialverteilter Belegungszeiten im M/M/1-Modell besteht darin, für diese Größen nur noch das erste und zweite Moment anzugeben und keine weiteren Festlegungen des Verteilungstyps zu treffen. Die „Gedächtnislosigkeit“, die (weiterhin) mit der exponentialverteilten Zwischenankunftszeit verbunden ist, kann dann toleriert werden, wenn der Ankunftsstrom durch

einen Poissonschen Prozess approximierbar ist.¹⁵ Unter rechentechnischen Gesichtspunkten besitzen diese (einengenden) Annahmen den Vorteil, noch exakte Kenngrößen für das Wartesystem angeben zu können. Voraussetzung zur Anwendung des Modells ist jedoch die Kenntnis des zweiten Moments der Belegungszeit, im vorliegenden Fall also $E(S^2)$. Im Gleichgewichtsfall kann nunmehr die erwartete Durchlaufzeit mittels

$$(19) \quad E(T) = \frac{E(S^2)}{2(E(A) - E(S))} + E(S)$$

berechnet werden. Eine Break-Even-Analyse kann dann durch Auswertung der Beziehungen (3) bis (7) oder (3), (5) und (12), jeweils in Verbindung mit (19), vorgenommen werden. Auf eine numerische Analyse soll jedoch an dieser Stelle zu Gunsten des nachfolgenden Ansatzes verzichtet werden,

4.1.3 Break-Even-Analyse auf der Basis von GI/G/1-Modellen

Eine weitere realitätsnahe Verallgemeinerung besteht darin, die Annahme eines Poisson-Prozesses der eintreffenden Aufträge aufzugeben. Zu diesem Zweck soll auch für die eintreffenden Aufträge kein bestimmter Verteilungstyp unterstellt, sondern lediglich vorausgesetzt werden, dass auch für die Zwischenankunftszeit mit $E(A^2)$ das zweite Moment bekannt ist¹⁶ und die einzelnen Ankünfte voneinander unabhängig eintreffen.

Unter den genannten Bedingungen können im Allgemeinen keine exakten Aussagen über den Erwartungswert der Durchlaufzeit getroffen werden. Es sind jedoch mehrere Ansätze bekannt, die stattdessen geeignete Approximationen entwickeln. Eine speziell für $C_A^2 \leq 2$ gute und an Erlangverteilungen getestete Näherung für die erwartete Durchlaufzeit $E(T)$ und die erwartete Wartezeit $E(W)$ bietet der folgende Ausdruck:¹⁷

$$(20) \quad E(T) \approx \left(\frac{\rho^2(1 + C_S^2)}{1 + \rho^2 \cdot C_S^2} \right) \cdot \left(\frac{E(A)(C_A^2 + \rho^2 \cdot C_S^2)}{2(1 - \rho)} \right) + E(S) \approx E(W) + E(S),$$

wobei $C_A^2 = V(A)/E^2(A)$ und $C_S^2 = V(S)/E^2(S)$ die quadrierten Variationskoeffizienten der Verteilungen A bzw. S und $\rho = \lambda/\mu = E(S)/E(A)$ die Auslastung des Systems darstellen.

¹⁵ Vgl. Neumann/Morlock (1993), S. 688.

¹⁶ Ist das zweite Moment z.B. der Zufallsvariablen A bekannt, kann daraus die Varianz $V(A)$ durch $V(A) = E(A^2) - E^2(A)$ bestimmt werden.

¹⁷ Vgl. Buzacott/Shanthikumar (1993), S. 74 ff. Zu weiteren Approximationen vgl. dieselben und Altiok (1996), S. 73 f.

In Verbindung mit dem Basismodell (3) bis (7) oder (3), (5) und (12) kann nunmehr mit (20) eine Break-Even-Analyse unter hinlänglich verallgemeinerten Bedingungen vorgenommen werden. Beachtenswert ist in diesem Zusammenhang die Einschränkung der Beziehung (20) auf Auftragseingangsprozesse mit $C_A^2 \leq 2$. Besonders stark schwankende Auftragseingänge sollten daher nicht mit diesem Wartesystem modelliert werden. Unter Umständen ist stattdessen für diese Probleme eine deterministische Approximation der Absatz- und Produktionsvorgänge in Gestalt einer kapazitierten Netzwerk- bzw. Projektplanung¹⁸ in Betracht zu ziehen.

Eine auf (20) basierende Break-Even-Analyse kann dazu dienen, Produktionssysteme vielfältig zu analysieren. Stellvertretend für umfassende parametrische Analysen soll zunächst auf die eingangs beschriebenen Probleme eingegangen werden. Dabei sind die Fixkosten auf einen Zeitraum von einem Monat bezogen, der gleichzeitig die Bezugsbasis für die anderen, mit der Zeit in Beziehung stehenden Parameter ist.

1. Betrachtet werden zwei alternative Produktionssysteme, die sich durch ihre Kostenstruktur unterscheiden. Das Planungssystem ist dergestalt ausgelegt, dass für die Durchführung der Produktion durch untergeordnete Instanzen die Maximierung der erwarteten Deckungsbeiträge antizipiert wird. Diese Maximierung erfolgt in der Entscheidungssituation 2, in der bei der Festlegung der erwarteten Belegungszeit $E(S)$ von einer erwarteten Zwischenankunftszeit $E(A) = 0,04$ ausgegangen wird. Diese genannten Annahmen führen zu den grau unterlegten Ergebnissen:

¹⁸ Vgl. die umfassende Übersicht von Kolisch/Padman (1997)

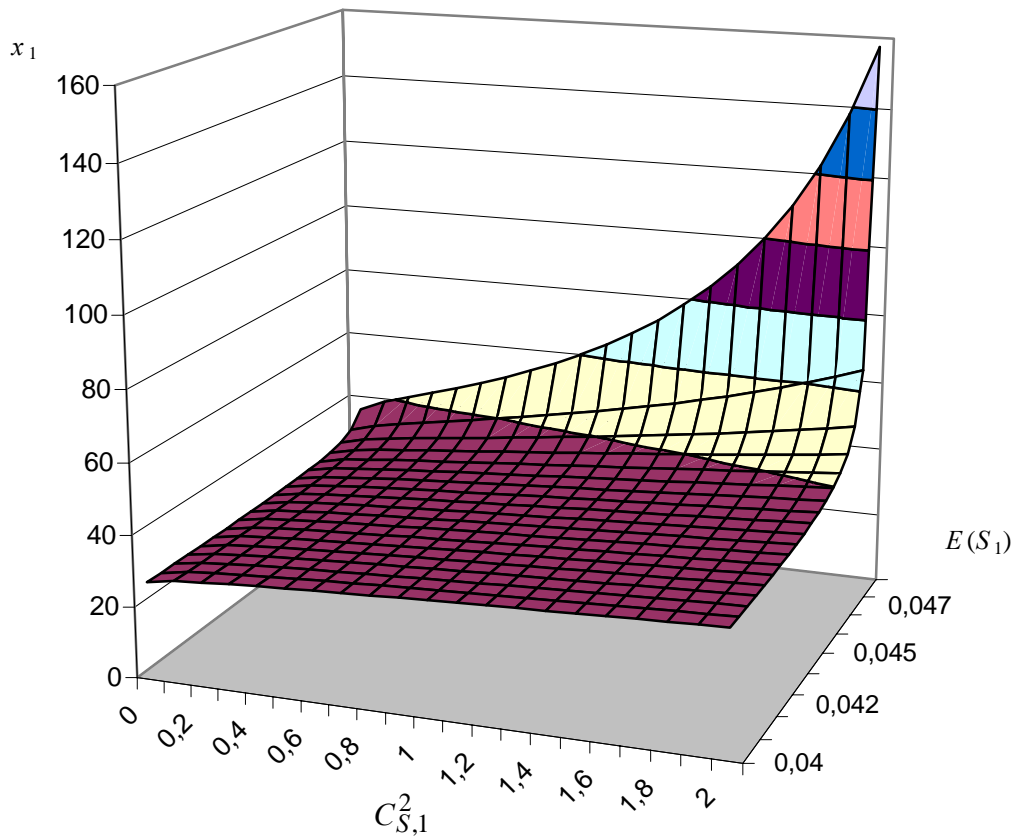
Tab. 2:

Produktionssystem 1:								
$K_{f,1}$	$d_{1,1}$	c_1	$p_{1,1}$	$p_{2,1}$	v_1	$E(A_1)$	$C_{A,1}^2$	$C_{S,1}^2$
100,00	5,00	0,60	0,02	0,18	0,50	0,04	1,60	0,80
$E(S_1)$		$E(T_1)$		$E(D_{2,1})$		x_1		
0,0322		0,269		3,765		26,560		
Produktionssystem 2:								
$K_{f,2}$	$d_{1,2}$	c_2	$p_{1,2}$	$p_{2,2}$	v_2	$E(A_2)$	$C_{A,2}^2$	$C_{S,2}^2$
80,00	5,00	0,50	0,03	0,1	0,50	0,04	1,60	0,80
$E(S_2)$		$E(T_2)$		$E(D_{2,2})$		x_2		
0,0339		0,169		3,580		22,346		

Produktionssystem 2 weist bei einem gleichen Kostensatz v und gleicher Stochastik im Auftragsankunftsprozess ($E(A_2)$, $C_{A,2}^2$) deutlich geringere Fixkosten $K_{f,2}$ und Lagerhaltungskosten c_2 als System 1 auf. Dennoch führt die unterschiedliche Kostenstruktur der Anpassung der Produktionsgeschwindigkeit ($p_{1,..}$, $p_{2,..}$) zu einer im Optimum geringer eingestellten Belegungszeit $E(S_1) = 0,0322$ bei Produktionssystem 1. Diese wird jedoch begleitet durch eine wesentlich höhere Durchlaufzeit $E(T_1) = 0,269$, die den Lagerhaltungskostenvorteil des Produktionssystems 2 verstärkt. Im Endeffekt resultiert dennoch ein höherer Deckungsbeitrag $E(D_{2,1}) = 3,765$, der wegen der vergleichsweise höheren Fixkosten $K_{f,1}$ trotzdem zu einer höheren Break-Even-Menge $x_1 = 26,560$ führt.

Ebenfalls von Interesse ist es, die Abhängigkeit der Break-Even-Menge von der Ausprägung des Bearbeitungsprozesses darzustellen. Für das Produktionssystem 1 gibt Abb. 5 einen entsprechenden Überblick. Dabei zeigt sich, dass die Break-Even-Menge x_1 bei niedrigen Variationskoeffizienten $C_{S,1}^2$ auf eine Änderung von $E(S_1)$ stabil bzw. robust reagiert. Selbst für hohe Variationskoeffizienten reagiert die Break-Even-Menge erst bei hohen Erwartungswerten $E(S_1)$ deutlich. Dagegen steigt schon bei niedrigeren Erwartungswerten die Break-Even-Menge mit $C_{S,1}^2$ erkennbar an. Aus diesen Resultaten kann geschlossen werden, dass beim Schätzen der Parameter der Genauigkeit des Variationskoeffizienten besondere Bedeutung zukommt. Ferner müssen beide Parameter im Bereich hoher Erwartungswerte $E(S_1)$ und damit hoher Auslastungen mit besonderer Vorsicht gewählt werden.

Abb. 5: Abhängigkeit der Break-Even-Menge vom Bearbeitungsprozess



2. In einem weiteren Beispiel sieht sich die Unternehmung saisonal stark schwankender Nachfrage gegenüber. Bei sonst gleichen Parametern sind für die Auftragsankunftsrate λ_1 und λ_2 bzw. die korrespondierenden erwarteten Zwischenankunftszeiten $E(A_1)$ und $E(A_2)$ jeweils angepasste, im Mittel zu erreichende Belegungszeiten $E(S_1)$ und $E(S_2)$ festzulegen sowie situationsabhängig Break-Even-Mengen zu bestimmen. Dabei wird wieder von Entscheidungssituation 2 ausgegangen. Ansonsten gelten die in Tab. 3 wiedergegebenen Daten:

Tab. 3

Nachfragesituation 1:									
$K_{f,1}$	$d_{1,1}$	c_1	$p_{1,1}$	$p_{2,1}$	v_1	$E(A_1)$	$C_{A,1}^2$	$C_{S,1}^2$	
100,00	5,00	0,60	0,02	0,18	0,50	0,035	1,80	0,80	
$E(S_1)$		$E(T_1)$		$E(D_{2,1})$		x_1			
0,0287		0,158		3,756		26,624			
Nachfragesituation 2:									
$K_{f,2}$	$d_{1,2}$	c_2	$p_{1,2}$	$p_{2,2}$	v_2	$E(A_2)$	$C_{A,2}^2$	$C_{S,2}^2$	
100,00	5,00	0,60	0,02	0,18	0,50	0,042	1,40	0,80	
$E(S_2)$		$E(T_2)$		$E(D_{2,2})$		x_2			
0,0338		0,553		3,623		27,601			

Der Vergleich der beiden Nachfragesituationen zeigt in Situation 1 einen kleineren Erwartungswert für die Belegungszeit $E(S_1)$ als in der Situation 2. Gleichzeitig gilt im Optimum eine erheblich kürzere erwartete Durchlaufzeit $E(T_1)$. Sie ist mit einer höheren Auslastung in Nachfragesituation 1 verbunden, die sich auf $E(S_1)/E(A_1) = 82\%$ im Gegensatz $80,48\%$ in Nachfragesituation 2 beläuft. Mit dem höheren Deckungsbeitrag $E(D_{2,1})$ verbindet sich eine entsprechend niedrigere Break-Even-Menge x_1 . Berechnet man die erwarteten Nachfragemengen, ergibt sich in Nachfragesituation 1 eine erwartete Nachfrage von $1/E(A_1) = 28,57$ während die erwartete Nachfrage in Situation 2 nur $1/E(A_2) = 23,81$ beträgt. In der Situation 2 liegt also die für den betreffenden Monat berechnete Break-Even-Menge oberhalb der erwarteten Nachfrage.

Zusammenfassend kann also festgestellt werden, dass eine explizite Erfassung der Stochastik im Nachfrage- und Produktionsprozess zu Ergebnissen führt, die sich bei abstrahierender, deterministischer Betrachtung verschließen. Auch wird deutlich, dass Break-Even-Mengen nachfrageabhängig definiert werden müssen. Keinesfalls dürfen sie nachfrageunabhängig, wie im deterministischen Fall meist unterstellt, festgelegt werden.

4.2 Modellierung für mehrere Bedienungskanäle

4.2.1 Break-Even-Analyse auf der Basis von M/M/n-Modellen

Den bisher dargestellten Modellen liegt die Herstellung eines Produkts in einem einzigen Bedienungskanal zu Grunde. Gegebenenfalls ist es jedoch von Interesse, Break-Even-

Mengen für alternative Produktionssysteme zu bestimmen, die sich durch die Anzahl gleichartiger Bedienungskanäle unterscheiden. Ein zur Produktion freigegebener Auftrag wird in diesem System an nur einem der vorhandenen Bedienungskanäle bearbeitet. Jeder Bedienungskanal kann dabei aus mehreren Kapazitätseinheiten bestehen, die wie im Einkanalssystem nicht explizit modelliert werden. Eingehende Aufträge warten zunächst in einer Warteschlange, aus der ein unbeschäftigter oder der nächste fertig werdende Bedienungskanal seinen nächsten Produktionsauftrag erhält. Werden erneut exponentialverteilte Zwischenankunfts- und Belegungszeiten der Aufträge unterstellt, lässt sich das Produktionssystem durch ein M/M/n-Warteschlangensystem beschreiben. Die erwartete Durchlaufzeit im Gleichgewicht beträgt:

$$(21) \quad E(T) = \frac{1}{n \cdot \mu - \lambda} \cdot \left(\frac{\lambda}{\mu} \right)^n \left(\frac{1}{(1 - \rho)n!} \right) \cdot p(0) + \frac{1}{\mu}.$$

Hierbei ist die Wahrscheinlichkeit dafür, dass sich kein Auftrag im System befindet:

$$p(0) = \frac{1}{\sum_{k=0}^{n-1} (\lambda/\mu)^k / k! + (\lambda/\mu)^n / (1 - \rho)n!}, \text{ und die Auslastung beträgt } \rho = \lambda / (n \cdot \mu).$$

Damit das Gleichgewicht stabil ist, muss $\rho < 1$ sein.

In einer Break-Even-Analyse kann die Gleichung für die erwartete Durchlaufzeit (21) wiederum mit dem Basismodell (3) bis (7) oder (3), (5) und (12) in Verbindung gebracht und ausgewertet werden. Auf eine exemplarische Betrachtung soll hier jedoch verzichtet werden.

Unter Anwendungsgesichtspunkten gilt für das vorliegende Modell nahezu die gleiche Kritik wie für das Modell auf Basis des M/M/1-Wartesystems. Für die Anwendung des Modells wirken erneut die angenommenen Exponentialverteilungen einschränkend. Aus diesem Grund empfiehlt sich der Übergang zum folgenden GI/G/n-Modell.

4.2.2 *Break-Even-Analyse auf der Basis von GI/G/n-Modellen*

Die Break-Even-Analyse auf der Grundlage des GI/G/n-Wartesystems beschreibt die gleiche Produktionsstruktur wie bei Integration eines M/M/n-Wartesystems mit der Ausnahme, dass für die Verteilungen der Zwischenankunfts- sowie der Belegungszeiten nur das erste und zweite Moment bekannt sind. Wie auch im Fall eines einzigen Bedienungskanals kann keine allgemeingültige Formel für die erwartete Durchlaufzeit angegeben werden. Aus diesem Grund wird erneut auf Approximationen dieser Größe zurückgegriffen.

Einfache Approximationen basieren auf dem Gedanken, die für das M/M/n-Wartesystem angegebene erwartete Durchlaufzeit zunächst in eine erwartete Wartezeit und eine erwartete Belegungszeit zu trennen und anschließend diese Wartezeit mit einem Korrekturfaktor zu multiplizieren, der die zweiten Momente des GI/G/n-Wartesystems enthält.¹⁹ Eine komplexere Approximation beruht ebenfalls zunächst auf der Isolierung der Wartezeiten. Ein Korrekturfaktor wird bei diesen Approximationen aus dem Verhältnis der Wartezeiten von M/M/n- zu M/M/1-Wartesystem $E(W)_{M/M/n} / E(W)_{M/M/1}$ berechnet. Von diesem Faktor kann angenommen werden, dass er tendenziell unabhängig von den unterstellten Verteilungsfunktionen ist und deshalb auch dem Verhältnis der Wartezeiten von GI/G/n- zu GI/G/1-Wartesystem entspricht.²⁰ Zur Berechnung der erwarteten Durchlaufzeit eines GI/G/n-Wartesystems kann dann auf die in Formel (20) implizit angegebene erwartete Wartezeit eines GI/G/1-Wartesystems zurückgegriffen werden:

$$\begin{aligned}
 E(T)_{GI/G/n} &\approx \frac{E(W)_{M/M/n}}{E(W)_{M/M/1}} \cdot E(W)_{GI/G/1} + E(S) \\
 (22) \qquad &= \left(\frac{1 + C_S^2}{1 + \rho^2 \cdot C_S^2} \right) \cdot \left(\frac{C_A^2 + \rho^2 \cdot C_S^2}{2} \right) \cdot E(W)_{M/M/n} + E(S)
 \end{aligned}$$

Die Bedingung für den Erhalt eines Gleichgewichts: $\rho = E(S) / (n \cdot E(A)) < 1$ bleibt bestehen.

5 Warteschlangenbasierte Break-Even-Analysen im Mehrproduktfall

5.1 Break-Even-Analyse auf der Basis von M/G/1-Modellen

Die bisher betrachteten Modelle zur Break-Even-Analyse beschreiben den Einproduktfall einer Produktion bei Unsicherheit oder einen Mehrproduktfall, bei dem sich der Nachfrage- und der Produktionsprozess durch Aggregation auf den Einproduktfall zurückführen lassen. Vergleichbare deterministische Ansätze sind nur dann sinnvoll, wenn entweder tatsächlich nur eine Einproduktfertigung vorliegt oder sich mehrere Produkte hinsichtlich ihrer Nachfrage- und Produktionsprozesse geringfügig unterscheiden. Ferner sind die betreffenden Modelle sinnvoll einsetzbar, falls es gelingt, die Kosten einer Mehrproduktherstellung zu separieren und den einzelnen Produktarten verursachungsgerecht zuzurechnen. Werden Warteschlangenansätze verwendet, lassen sich die dargestellten Produktionsmodelle auch auf den Mehrproduktfall übertragen. Hierbei müssen

¹⁹ Vgl. Marchal (1985), S. 147, Suri/Sanders/Kamath (1993), S. 215 und Altiok (1996), S. 74 f.

²⁰ Vgl. Buzacott/Shanthikumar (1993), S. 80.

dann entsprechend der Zugangsraten bzw. der Kehrwerte der Zwischenankunftszeiten die Produktionsmengen und Belegungszeiten aggregiert werden. Vor allem ist es notwendig, dass keines der erstellten Produkte hinsichtlich der Abarbeitungsreihenfolge der eingehenden Aufträge (z.B. in Aufträge für Geschäfts- und Privatkunden) präferiert wird.

Wird die letztgenannte Anforderung nicht erfüllt, bestehen also für die Produkte bzw. ihre Aufträge Präferenzklassen, gibt es dennoch die Möglichkeit die Produktion mit Hilfe modifizierter Warteschlangensysteme abzubilden. Dazu wird analog zum oben beschriebenen M/G/1-Modell ohne Prioritäten angenommen, dass die Zwischenankunftszeiten innerhalb einer Auftragsklasse bzw. Produktart ($k = 1, \dots, K$) mit dem Erwartungswert $E(A^{(k)}) = 1/\lambda^{(k)}$ exponentialverteilt sind. Für die Belegungszeiten sind das erste und zweite Moment ($E(S^{(k)})$ und $E(S^{(k)2})$) jeder Produktart (k) bekannt, jedoch liegen keine besonderen Informationen über die Verteilungstypen vor. Eine produktspezifische Auslastung der Kapazitätseinheit ist dann als $\rho^{(k)} = \lambda^{(k)} \cdot E(S^{(k)})$ definiert. Die Summe über alle produktspezifischen Auslastungen ergibt die (Gesamt-)Auslastung des Systems (ρ).

Wird unterstellt, dass die betrachteten Produktarten mit absteigender Priorität indiziert sind, ergeben sich folgende Erwartungswerte für die produktspezifischen Durchlaufzeiten:

$$(23) \quad E(T^{(1)}) = \frac{\lambda E(S^2)}{2(1-\rho_1)} + E(S^{(1)}) \quad \text{und}$$

$$E(T^{(k)}) = \frac{\lambda E(S^2)}{2(1-\rho_k) \cdot (1-\rho_{k-1})} + E(S^{(k)}) \quad \text{für } k = 2, \dots, K,$$

wobei als Kurzschreibweise $\lambda E(S^2) := \sum_{k=1}^K \lambda^{(k)} E(S^{(k)2})$ und $\rho_k := \sum_{r=1}^k \rho^{(r)}$ verwendet werden.

Die Break-Even-Analyse zum M/G/1-Wartesystem im Mehrproduktfall ähnelt den Basismodellen nach (3), (5) sowie (6) mit den entscheidungssituationsspezifischen Ergänzungen (7) bis (11) und kann als deren vektorielle Variante aufgefasst werden. Die eingeführten Parameter und Variablen sind lediglich um produktspezifische Indizes zu ergänzen, behalten jedoch ihre Bedeutung bei. In der Zielfunktion ist jetzt eine Gewichtung der Deckungsbeiträge mit den produktspezifischen Ankunftsraten $\lambda^{(k)}$ nötig, so dass ein Deckungsbeitrag pro Zeiteinheit relevant ist:

$$(24) \quad K^f = \sum_{k=1}^K E(D_2^{(k)}) \cdot x^{(k)}, \quad \text{wobei}$$

$$(25) \quad E(D_2^{(k)}) = d_1^k - E(T^{(k)}) \cdot c^{(k)} - \frac{p_1^{(k)}}{E(S^{(k)})} - p_2^{(k)} \cdot E(S^{(k)}) \text{ für } k = 1, \dots, K,$$

$$(26) \quad ES_{\min}^{(k)} \leq E(S^{(k)}) \leq ES_{\max}^{(k)} \text{ für } k = 1, \dots, K.$$

$$(27) \quad EA_{\min}^{(k)} \leq E(A^{(k)}) \leq EA_{\max}^{(k)} \text{ für } k = 1, \dots, K.$$

Je nach Entscheidungssituation sind ferner im vorangehenden Modell $E(T)$ bzw. $E(S)$ und $E(T)$ analog zu (8) bzw. (10) und (11) zu bestimmen. Da das Ergebnis der Break-Even-Analyse eine K -dimensionale Untermannigfaltigkeit ist, können die betreffenden Entscheidungssituationen um weitere Nebenbedingungen ergänzt werden, die spezielle Break-Even-Mengenkombinationen herausstellen. Von Interesse könnten z.B. Break-Even-Mengen einzelner Produkte sein, wenn für die jeweils anderen Produkte erwartete Zwischenankunftszeiten durchgehend als gültig unterstellt werden. Speziell lässt sich annehmen, dass für die jeweils anderen Produkte kein Absatz vorliegt. Dieser Spezialfall führt dann zu einer Break-Even-Analyse nach einem M/G/1-Wartesystem.

5.2 Break-Even-Analyse auf der Basis von GI/G/1-Modellen

Das vorangehend dargestellte Modell einer Break-Even-Analyse im Mehrproduktfall lässt sich wiederum verallgemeinern, wenn für die Prozesse der Zwischenankunftszeiten der verschiedenen Auftragsarten keine Exponentialverteilungen unterstellt werden, sondern jeweils nur erstes und zweites Moment einer beliebigen Verteilung als bekannt vorausgesetzt werden. Die Grundstruktur des Modells zur Break-Even-Analyse, bestehend aus den Gleichungen (24), (25), (26) und (27), bleibt erhalten. Nur für die erwarteten Durchlaufzeiten der unterschiedlichen Auftragsklassen muss anstelle von (23) auf Approximationen zurückgegriffen werden, die auf der Näherungslösung für die Wartezeit des zugehörigen aggregierten Einproduktsystems aus (20) beruhen:²¹

$$(28) \quad \begin{aligned} E(T^{(k)})_{GI/G/1} &\approx \frac{E(W^{(k)})_{M/G/1}}{E(W)_{M/G/1}} \cdot E(W)_{GI/G/1} + E(S^{(k)}) \\ &= \left(\frac{(1-\rho)}{(1-\rho_k) \cdot (1-\rho_{k-1})} \right) \cdot E(W)_{GI/G/1} + E(S^{(k)}) \end{aligned} \text{ für } k = 2, \dots, K$$

und

²¹ Vgl. die allgemeine Formulierung von Buzacott/Shanthikumar (1993), S. 88, die hier jedoch für Wartezeiten entwickelt wird.

$$E(T^{(k)})_{GI/G/1} \approx \left(\frac{1-\rho}{1-\rho_k} \right) \cdot E(W)_{GI/G/1} + E(S^{(k)}) \quad \text{für } k = 1.$$

Hierbei wird wiederum auf die Notation $\rho_k := \sum_{r=1}^k \rho^{(r)}$ und $\rho := \rho_K$ zurückgegriffen.

Zur Verdeutlichung von Produkt- bzw. Auftragspräferenzen seien zwei Beispiele mit drei Produkten betrachtet, die in absteigender Präferenzordnung indiziert sind. Die Ausgangsdaten des ersten Beispiels sind im oberen Teil der Tab. 4 verzeichnet, während sich die Ergebnisse im grau unterlegten Teil befinden. Wiederum wird unterstellt, dass innerhalb des Planungssystems auf der betrachteten Ebene eine Maximierung des Stückdeckungsbeitrags auf unteren Ebenen antizipiert wird. Diese Maximierung soll für Produkt 1 in der Entscheidungssituation 1 vorgenommen werden. Für die Produkte 2 und 3 werden spezifische Zwischenankunftszeiten $E(A^{(k)})$ unterstellt. Die Maximierungsvorschrift nach den Gleichungen (7) und (8) ist dann zu

$$(29) \quad \max E(D_2^{(1)}) = d_1^{(1)} - E(T) \cdot c^{(1)} - \frac{p_1^{(1)}}{E(S^{(1)})} - p_2^{(1)} \cdot E(S^{(1)}),$$

$$(30) \quad E(T) = E(T(E(S^{(1)}), E(S^{(2)}), E(S^{(3)}), 1/x^{(1)}))$$

zu konkretisieren. Alle Parameter mit Zeitbezug beziehen sich erneut auf einen Monat.

Tab. 4:

Produktionssystem:		$K_f = 100,00$	$E(A^{(2)}) = 0,4$	$E(A^{(3)}) = 0,35$			
Produkt k	$d_1^{(k)}$	$c^{(k)}$	$p_1^{(k)}$	$p_2^{(k)}$	v	$C_A^{(k)2}$	$C_S^{(k)2}$
1	10,00	0,60	0,04	0,12	0	0,80	0,70
2	8,00	0,40	0,02	0,12	0	1,00	0,80
3	9,00	0,30	0,02	0,15	0	1,20	0,90
	$E(S^{(k)})$	$E(T^{(k)})$	$E(D^{(k)})$	$x^{(k)}$	Deckungsbeitrag des Monats zur Kontrolle		
1	0,099	0,243	9,438	6,283			
2	0,027	0,491	7,072	[2,500]			
3	0,029	0,798	8,057	[2,857]			

Die Ergebnisse der Tab. 4 zeigen Break-Even-Mengen $x^{(k)}$ für die Produkte 2 und 3, die durch die fixierte Zwischenankunftszeit der betreffenden Aufträge feststehen und deshalb

in eckige Klammern gesetzt sind. Die dazugehörenden erwarteten Belegungszeiten $E(S^{(2)}) = 0,027$ und $E(S^{(3)}) = 0,029$ sind zusammen mit $E(S^{(1)}) = 0,099$ auf eine Maximierung des Deckungsbeitrags von Produkt 1 abgestimmt. Die Kostenstruktur des Produkts 1 führt zu einer vergleichsweise hohen Voreinstellung der erwarteten Belegungszeit. Dies führt dazu, dass zwar die Durchlaufzeit des Produkts 1 geringer ist als die der anderen Produkte, jedoch dieser durch die Priorität verursachte Effekt vergleichsweise schwach ausfällt.

Ausgehend von den Beispieldaten in Tab. 4 seien drei weitere Punkte der Untermannigfaltigkeit, die sich aus den Break-Even-Mengen zusammensetzt, hervorgehoben. Die betreffenden Punkte sind jeweils durch eine einzige positive Mengenkomponekte gekennzeichnet, während die anderen Mengenkomponekten den Wert 0 annehmen. Gegenstand der Untersuchung sind also die extremen Situationen, in denen der Fixkostenbetrag durch die Produktion nur eines einzigen Produkts zu decken ist. In diesen Fällen degeneriert das hier dargestellte Modell zu dem für GI/G/1 dargestellten Problem. Wird wiederum die Entscheidungssituation 1 angenommen, resultieren die in Tab. 5 dargestellten Ergebnisse.

Tab. 5:

Produktionssystem:		$K_f = 100,00$					
Produkt k	$d_1^{(k)}$	$c^{(k)}$	$p_1^{(k)}$	$p_2^{(k)}$	v	$C_A^{(k)2}$	$C_S^{(k)2}$
1	10,00	0,60	0,04	0,12	0	0,80	0,70
2	8,00	0,40	0,02	0,12	0	1,00	0,80
3	9,00	0,30	0,02	0,15	0	1,20	0,90
Produkt k	Fall	$E(S^{(k)})$	$E(T^{(k)})$	$E(D^{(k)})$	$x^{(k)}$		
1	$x^{(2)} = x^{(3)} = 0$	0,071	0,235	9,289	10,765		
2	$x^{(1)} = x^{(3)} = 0$	0,057	0,214	7,577	13,232		
3	$x^{(1)} = x^{(2)} = 0$	0,065	0,266	8,610	11,614		

Die Ergebnisse zeigen auf den ersten Blick, dass die Produktion des Produkts 1 die geringste Break-Even-Menge aufweist, was durch den hohen Stückdeckungsbeitrag $d_1^{(1)}$ bedingt ist. Ein Vergleich der erwarteten Deckungsbeiträge $E(D^{(k)})$ mit den entsprechenden Werten $d_1^{(k)}$ zeigt für Produkt 1 eine vergleichsweise hohe Differenz, woraus auf eine tendenziell höhere Abhängigkeit der variablen Stückkosten von den gewählten Zeitgrößen geschlossen werden kann.

6 Zusammenfassung

Die vorliegende Studie gibt einen Einblick in die Möglichkeiten, Break-Even-Analysen für eine einstufige, kundenauftragsbezogene Produktion bei stochastischen Absatz- und Produktionsstrukturen zu formulieren. Zur Abbildung dieser Strukturen wird auf unterschiedliche Warteschlangensysteme zurückgegriffen. Unter praktischen Gesichtspunkten erweisen sich dabei GI/G/-Systeme am ehesten geeignet, komplexe reale Sachverhalte realitätsnah abzubilden. Entsprechende Modelle besitzen zwar eine hohe Komplexität, lassen sich jedoch mit herkömmlichen Solver-Programmen in angemessener Zeit lösen.

Den angeführten Beispielen kann entnommen werden, dass sich gegenüber einer deterministischen Betrachtung, selbst bei einer einfachen stochastischen Modellierung, deutlich unterschiedliche Ergebnisse erzielen lassen, die in einzelnen Fällen zur Vermeidung von Fehlentscheidungen beitragen können. Diese Aussage trifft sowohl auf die Abbildung der Produktionsprozesse als auch auf die der Nachfrage- bzw. Absatzprozesse zu. Insbesondere zeigt sich, dass bei realistischer Betrachtung Break-Even-Mengen nicht unabhängig von der Nachfragestruktur sind und entsprechend spezifisch festgelegt werden müssen.

Die in die Break-Even-Analyse integrierten Warteschlangenmodelle lassen sich außerdem als ein Beitrag zur groben Abbildung von Auftragsannahme- und Produktionsprozessen auffassen. Die abgeleiteten erwarteten Durchlaufzeiten beziehen sich jedoch stets auf den postulierten Gleichgewichtszustand. Im Sinne einer aussagefähigen Anwendung der Modelle muss daher gefordert werden, dass die betreffenden Prozesse bereits eingeschwungen sind bzw. eine vernachlässigbare geringe Einschwingphase aufweisen. Damit in Beziehung stehend müssen hinreichend viele Aufträge vorliegen, die eine in den Gleichgewichtszustand mündende Betrachtung erlauben.

Ein Überblick über herkömmliche Break-Even-Analysen zeigt, dass auch hier jeweils ein Planungs- und Erfassungssystem mehr oder weniger verdeckt zu Grunde liegen muss. Die hier in die Break-Even-Analyse eingebauten Bausteine der Warteschlangenmodelle sollen in diesem Zusammenhang als Vorschlag verstanden werden, die Break-Even-Analyse grundsätzlich und erkennbar an ein Planungsinstrument, mindestens jedoch an ein geeignetes Prognoseinstrument, anzubinden. In diesem Sinne ist z.B. auch zu erwägen, an Stelle der Warteschlangenmodelle ein deterministisches Projektplanungssystem für die prognostizierten Aufträge zu Grunde zu legen, wenn mit einer geringen Anzahl stark differierender, deterministisch vorliegender Aufträge zu rechnen ist. Allgemein ist auch die Anbindung der Break-Even-Analyse an ein ERP-System vorstellbar und anstrebenswert. Dennoch bleibt auch hier das Problem der Verwendung unsicherer, zukünftiger Daten bestehen. Eine Weiterentwicklung der Break-Even-Analyse in Bezug auf unterschiedliche

Prozesstypen und damit unterschiedliche, zu integrierende Planungsbausteine sollte ebenfalls erwogen werden. Von Interesse dürfte insbesondere eine mehrstufige Erweiterung der Break-Even-Analyse sein. Für den Fall stochastischer Produktions- und Nachfragestrukturen könnte hier die Modellierung eines Planungssystems mittels Warteschlangennetzen zweckmäßig sein. Ihre Verwendung im Mehrproduktfall sollte es insbesondere ermöglichen, Variationen von Produktionsprozessen zu analysieren und damit die Break-Even-Analyse prozessorientiert durchzuführen.

Literaturverzeichnis

- Altiok, T.: Performance Analysis of Manufacturing Systems, New York, Berlin, Heidelberg 1996.
- Buzacott, J.A., Shanthikumar, J.G.: Stochastic Models of Manufacturing Systems, Englewood Cliffs 1993.
- Coenenberg, A.G.: Kostenrechnung und -analyse, 4. Aufl., Landsberg 1999.
- Ewert, R., Wagenhofer, A.: Interne Unternehmensrechnung, 3. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York 1997.
- Ferrara, W.L., Hayya, J.C, Nachman, D.A.: Normalcy of Profit in the Jaedicke-Robichek Model, in: The Accounting Review (47) 1972, S. 299-307.
- Gutenberg, E.: Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre, Bd. 1: Die Produktion, 24. Aufl., Berlin, Heidelberg, New York 1983.
- Jaedicke, R.K., Robichek, A.A.: Cost-Volume-Profit Analysis under Conditions of Uncertainty, in: The Accounting Review (39) 1964, S. 917-926.
- Kilger, W.: Kurzfristige Erfolgsrechnung, Wiesbaden 1962.
- Kolisch, R., Padman, R.: An Integrated Survey of Project Scheduling, Arbeitsbericht des Instituts für Betriebswirtschaftslehre, Christian-Albrechts-Universität Kiel 1997.
- Lorson, P., Schweitzer, Marcus: Kostenrechnung, in: Küting, K. (Hrsg.): Saarbrücker Handbuch der Betriebswirtschaftlichen Beratung, 2. Aufl. Herne, Berlin 2000, S. 233-273.
- Marchal, W.G.: Numerical Performance of Approximate Queuing Formulae with Application to Flexible Manufacturing Systems, in: Annals of Operations Research (3) 1985, S. 141-152.

Neumann, K., Morlock, M.: Operations Research, München, Wien 1993.

Schweitzer, M., Troßmann, E.: Break-Even-Analysen, 2.Aufl., Berlin 1998.

Suri, R., Sanders, J.L., Kamath, M.: Performance Evaluation of Production Networks, in: Graves, S.C., Rinnooy Kan, A.H.G., Zipkin, P.H. (Hrsg.): Logistics of Production and Inventory, Amsterdam u.a. 1993, S. 199-286.

Wolff, R.W.: Stochastic Modeling and the Theory of Queues, Englewood Cliffs 1989.