

Data Envelopment Analysis zur Unterstützung der Auswahl und Einführung von ERP-Systemen

Edward Bernroider, Michael Hahsler, Stefan Koch, Volker Stix

Abteilung für Informationswirtschaft
Wirtschaftsuniversität Wien
Augasse 2-6
A-1090 Wien

Abstract: Immer mehr Unternehmen setzen betriebswirtschaftliche Standardsoftwarepakete wie beispielsweise SAP R/3 oder BaaN ein. Die Auswahl und die Einführung solcher Systeme stellt für die meisten Unternehmen ein strategisch wichtiges IT-Projekt dar, das mit massiven Risiken verbunden ist. Bei der Auswahl des am besten geeigneten Systems gilt es einen Gruppenentscheidungsprozess zu unterstützen. Das darauf folgende Einführungsprojekt muss effizient, den "best practices" entsprechend, durchgeführt werden. In dieser Arbeit wird anhand von Beispielen aufgezeigt, wie beide Prozesse - die Auswahl und die Einführung - durch die Data Envelopment Analysis unterstützt werden können.

1. Einführung

Immer mehr Unternehmen setzen betriebswirtschaftliche Standardsoftwarepakete wie beispielsweise SAP R/3 oder BaaN ein. Die Implementierung der gewählten Lösung ist für einzelne Firmen teilweise sehr riskant und komplex, da einerseits die Software relativ teuer ist und andererseits bei der Einführung unternehmensinterne Prozesse verändert werden müssen. Aus diesem Grund stellen sich für Unternehmen, die betriebswirtschaftliche Standardsoftwarepakete einführen wollen, insbesondere folgende Fragen:

1. Wie kann das am besten geeignete ERP-System ausgewählt werden?
2. Wie kann das gewählte ERP-System effizient eingeführt werden?

Für die Auswahl des am besten geeigneten ERP-Systems müssen mehrere Systeme anhand der Bedürfnisse des Unternehmens objektiv miteinander verglichen werden. Es handelt sich meist um ordinale Messungen relativ zum Vorgänger- oder/und zu den Alternativsystemen [MMG02]. Bereits in den frühen Phasen der ERP-Einführung sollte der Aufwand für die Anpassung des Systems an die betrieblichen Erfordernisse des Unternehmens mit berücksichtigt werden. Der Auswahlprozess von ERP-Systemen stellt

einen halbstrukturiertes Entscheidungsproblem da, für das sich bisher keine formale Vorgehensweise durchgesetzt hat [LL98].

Nach der Systemauswahl muss ein effizienter Mitteleinsatz sichergestellt werden. Ein Großteil des notwendigen Aufwandes fließt im Rahmen von ERP-Projekten nicht in die Erstellung von neuem Programmcode, sondern in Anpassungsarbeiten (das sogenannte Customizing). In vielen Fällen zwingt die Einführung von ERP-Systemen aufgrund begrenzter Ressourcen für ERP-Systemerweiterungen und die damit verbundene Komplexität das Unternehmen allerdings, eine Änderung der Aufbau- und Ablauforganisation vorzunehmen. Für die Ermittlung des Anpassungsaufwandes sind daher traditionelle Bewertungsmaßzahlen für die Größe oder Komplexität von Software-Artefakten (wie Lines-of-Code [Pa92] oder Function Points [AG83]) nicht anwendbar.

Die Data Envelopment Analysis [CCR78a; CST99; Th01] ermöglicht allgemein einen Vergleich von Produktionsvorgängen bei Vorliegen mehrerer Inputs und Outputs und kann damit aufzeigen, welche Lösung effizient ist oder bei der Umwandlung welcher Inputs noch Verbesserungen möglich wären. Der vorliegende Artikel soll klären, ob die Data Envelopment Analysis in den Bereichen der Auswahl und Einführung von ERP-Systemen eingesetzt werden kann. Für diese Untersuchung werden kurz bekannte Anwendungen der Data Envelopment Analysis vorgestellt. Danach wird die Anwendung der Methode zum Vergleich und zur Auswahl von ERP-Systemen beschrieben. Danach wird diese Methode für die Analyse der Effizienz der Einführung von Standardsoftware im Rahmen einer empirischen Untersuchung beispielhaft angewendet.

2. Anwendung von DEA-Modellen

DEA-Modelle kommen dort zur Anwendung, wo knappe Ressourcen zielorientiert eingesetzt werden sollen. Die ersten DEA-Modelle wurden entwickelt, um die Leistungsfähigkeit von nicht gewinnorientierten Einheiten zu messen, für deren Inputs und Outputs keine eindeutigen Marktpreise existieren und auch sonst keine eindeutigen Bewertungsrelationen vorliegen [CCR78a]. Ein weites Einsatzgebiet stellt damit natürlich der gesamte öffentliche Bereich dar [Sc96]. Schwerpunkt der ersten Untersuchungen waren daher auch die verschiedensten Einrichtungen des Gesundheitswesens, insbesondere Krankenhäuser [Gr00], sowie schulische Förderprogramme [CCR78b].

In weiterer Folge wurde die DEA auch zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit von privatwirtschaftlichen Einheiten wie etwa Bankfilialen oder Supermärkten herangezogen, vor allem, wenn die Leistungsfähigkeit nicht nur in Gewinngrößen gemessen wird, sondern auch von Parametern wie etwa Umweltbedingungen, Ausfallzeiten oder Kundenzufriedenheit abhängt. Weitere beispielhafte Anwendungen umfassen die Bezahlung im professionellen Baseball [HM93], die Effizienz von IT-Investitionen [Ma94] oder auch die Effizienz in der Erarbeitung wissenschaftlicher Publikationen im Vergleich verschiedener Länder [KLS01].

Im Bereich der Software-Entwicklung wurde die DEA bisher nur selten zur Anwendung gebracht. Banker und Kemerer setzen diesen Ansatz ein, um die Existenz von sowohl steigenden als auch fallenden Skalenerträgen nachzuweisen [BK89]. Erstere treten in kleinen, letztere in größeren Software-Entwicklungsprojekten auf. Basierend auf publizierten Sammlungen von Projektdatensätzen berechnen die Autoren jeweils den Punkt der maximalen Produktivität (most productive scale size) innerhalb der Sammlung von Projekten, also jenen Projektumfang in beispielsweise Function Points [AG83], ab dem die Skalenerträge zu fallen beginnen. Banker und Slaughter verwenden die DEA im Bereich von Wartungs- und Ergänzungsprojekten [BS97]. Dabei kann nachgewiesen werden, dass steigende Skalenerträge vorliegen, die bei optimaler Ausnutzung eine Kostenreduktion um knapp 36 Prozent ermöglicht hätten. Die Ausnutzung dieses Effekts durch die Zusammenlegung von Projekten wurde jedoch weitestgehend durch organisatorische Nebenbedingungen wie unter anderen hohe Strafen für Terminüberschreitungen verhindert. Eine zur vorliegenden Arbeit ähnliche Untersuchung von ERP-Einführungsprojekten wurde durch Myrtveit und Stensrud durchgeführt [MS99a]. Dazu ziehen sie 30 SAP R/3-Projekte einer Beratungsfirma zur Durchführung der DEA heran (in einem anderen Artikel verwenden die Autoren diese Daten auch für eine Aufwandsschätzung [MS99b]). Als Input wird dabei der Aufwand (der jedoch aufgrund der Sensitivität der Daten nicht angeführt wird), als Output werden die Anzahl der Benutzer, EDI und Conversions herangezogen. Die Autoren zeigen dabei große Unterschiede in der Produktivität zwischen den einzelnen Projekten sowie das Vorhandensein von variablen Skalenerträgen auf.

3. Vergleich und Auswahl von ERP-Systemen

Betriebswirtschaftliche Standardsoftware oder Enterprise-Resource-Planning-Systeme (ERP-Systeme) sind Anwendungsprogramme, die zur Erledigung und Unterstützung aller im Unternehmen anfallenden betriebswirtschaftlichen Funktionen sowie zur Verwaltung aller für diese Aufgaben benötigten Informationen eingesetzt werden. ERP-Systeme verbinden wirtschaftliche Aspekte mit Informationstechnologie und ihre Einführung verspricht eine langfristige Sicherung von Wettbewerbsvorteilen. Am Markt befinden sich einige große und viele kleinere Anbieter von ERP-Lösungen. Die Auswahl des am besten passenden Systems wird durch folgende Eigenschaften von ERP-Systemen erschwert: ERP-Systeme sind stark integrierte, sehr große und komplexe Systeme. Die Implementierung eines Systems ist mit enormen Kosten sowie mit weitgehenden strukturellen Veränderungen des Unternehmens verbunden. Und wie einige in der Literatur dokumentierte Beispiele zeigen, kann die Einführung zu massiven Problemen führen [BSG99; Sc99].

Einer Studie zum Entscheidungsprozess bei der Einführung von ERP-Systemen in Österreich [BK00] ergab, dass nur 30% der Unternehmen (abgesehen von konventionellen Finanzmethoden) formale Evaluierungstechniken für die Auswahl benutzten. Am weitesten verbreitet waren Methoden auf Basis von Ranking und Scoring [RMSI00] und einige wenige Unternehmen verwendeten Real Options [Ta98; Tr96] oder das Hedonistische Modell [Sa87]. In der gleichen Studie wurde herausgefunden, dass die

Auswahl von der Mehrheit der befragten Unternehmen partizipativ unter Einbeziehung mehrerer Unternehmensbereiche, also als Gruppenentscheidung, getroffen wird. Der Auswahlprozess von ERP-Systemen stellt ein halbstrukturiertes Entscheidungsproblem dar, für das sich bisher keine formale Vorgehensweise durchgesetzt hat [LL98]. Hier wird an einem Beispiel gezeigt wie DEA (das CCR-Modell [CCR78a]) verwendet werden kann, um diesen Gruppenentscheidungsprozess zu unterstützen.

3.1. Anwendung der Data Envelopment Analysis

Im Zuge der Evaluierung von ERP-Systemen werden zunächst verschiedene Kriterien C_i bestimmt, welche von Experten als Grundlage für die Investitionsentscheidung bewertet werden sollen. Eine Studie zum ERP-Entscheidungsprozess in österreichischen Unternehmen [BK00] untersuchte die Bedeutung von 29 Kriterien, die durch Anwendung der Delphi-Methode mit Studenten, Praktikern und Forschern ausgewählt wurden. Für das vereinfachte Demonstrationsbeispiel in diesem Beitrag wurden daraus nun folgende 4 Kriterien entnommen: C1=Abarbeitungszeit, C2=Software Reife, C3=Kompatibilität, C4=Qualität des Supports.

Im nächsten Schritt werden die Systemalternativen nach den ausgewählten Kriterien bewertet. Die Werte M_i der Kriterien sind möglicherweise objektiv ermittelbar (Abarbeitungszeiten, Kompatibilität) oder auch nur subjektiv erfassbar (Software-Reife). Meist wird eine Skala für alle Werte festgelegt. Im vorliegenden Fall wird die Skala von 0 (schlechtester Wert) bis 10 (bester Wert) verwendet. Als Beispiel für 5 Alternativsysteme werden die in Tabelle 1 zusammengefassten Bewertungen angenommen.

Tabelle 1: Werte der Auswahlkriterien für 5 Alternativen

ERP-System	Abarbeitungszeit	Software Reife	Kompatibilität	Qualität des Supports
A	5	7	3	6
B	7	9	6	10
C	8	7	8	8
D	4	8	3	9
E	9	4	4	9

Der gesamte Nutzen jeder Alternative kann nun als gewichtete Summe der Einzelwerte errechnet werden:

$$B = \sum_{i=1}^4 W_i M_i, \text{ wobei } W_i \text{ das Gewicht eines Kriteriums bezeichnet.}$$

Bei Nutzwertanalysen und anderen Scoring-Methoden werden die Gewichte der einzelnen Kriterien vor der Bewertung der Alternativen festgelegt. DEA umgeht diese Festlegung mit all ihren Annahmen und Problemen, indem die optimalen Gewichte für jede Alternative direkt aus den Daten errechnet werden. Es werden für jede Alternative die Gewichte errechnet, die den Nutzen ausgehend von den gegebenen Kriterienbewertungen maximiert. Alternativen, die nicht einmal unter diesen vereinfachten Bedingungen maximalen Nutzwert erreichen, könnten bereits aus dem Entscheidungsprozess ausgeschlossen werden. Nebenbedingungen erlauben die Einschränkung der Gewichte auf bestimmte Bereiche. Häufig schließen Alternativen einige Kriterien durch Setzen des Gewichts auf 0 bei der Nutzenmaximierung aus und erreichen somit den maximalen Nutzwert. Dies kann beispielsweise durch den Einsatz von Nebenbedingungen für das der Berechnung zugrunde liegende Optimierungsproblem verhindert werden.

Ohne die Einführung von Nebenbedingungen führt die Anwendung der DEA zu dem Ergebnis, dass die Alternativen B, C und E 100% effizient sind. Alle drei Alternativen wählen unterschiedliche Gewichtungen, um dieses bestmögliche Resultat zu erzielen. Die Systeme A bzw. D sind 78% bzw. 90% effizient und daher auszuschließen. Erzielt man allerdings eine Einigung über den Bereich, in welchem Gewichte liegen müssen (siehe weiter unten), so sieht die Effizienz der einzelnen Alternativen wie in Tabelle 2 aus.

Tabelle 2: DEA Effizienz der einzelnen Alternativen im Überblick

System	Effizienz	Abarbeitungs-zeit	Software Reife	Kompatibilität	Qualität des Supports
A	66.88%	+2	+2	+3	+4
B	100%	-	-	-	-
C	93.98%	-1	+2	-2	+2
D	80.39%	+3	+1	+3	+1
E	85.71%	-2	+5	+2	+1

Tabelle 2 zeigt nicht nur, dass unter den gegebenen Nebenbedingungen nur noch das ERP-System B 100% effizient ist, es kann auch das Defizit, welches die anderen Systeme in einzelnen Bereichen haben, berechnet werden. Interessant ist hier beispielsweise die Alternative C. Diese ist in der Abarbeitungszeit und Kompatibilität besser als erforderlich wäre, hat dafür Defizite in Software-Reife und Qualität des Supports.

Die Einführung von Nebenbedingungen ermöglicht auch die Unterstützung von Gruppenentscheidungen, wie sie häufig im Rahmen der Auswahl eines geeigneten ERP-Systems vorliegen. Für Österreich zeigte sich beispielsweise, dass die ERP-Entscheidung von der Mehrheit der befragten Unternehmen partizipativ unter Einbeziehung mehrerer Unternehmensbereiche getroffen wird. Die Einbindung von Personen, die durch den späteren Einsatz des Systems betroffen sind und die betrieblichen Abläufe kennen, erhöht die Entscheidungsqualität und die Akzeptanz gegenüber der neuen IT/IS-Infrastruktur [Da93; GGKT97].

In unserem Beispiel wird ein Komitee bestehend aus 5 verschiedenen Mitgliedern des betroffenen Unternehmens zusammengesetzt, die nun die Aufgabe haben, die Bedeutung der verschiedenen Kriterien für ihr Unternehmen zu gewichten. Dies kann geschehen indem jedem Kriterium Prozentpunkte für dessen Wichtigkeit aus der Sicht des jeweiligen Betrachters vergeben werden (siehe Tabelle 3). Durch diese Bewertung werden durch die Gruppe implizit die obere und untere Schranke für die Gewichtung festgelegt. Diese Information kann dann als Nebenbedingung in das zu optimierende System einfließen. Das daraus resultierende Ergebnis wurde bereits in Tabelle 2 dargestellt.

Tabelle 3: Gewichtsschätzungen der beteiligten Personen

	Abarbeitungs- zeit	Software Reife	Kompatibilität	Qualität des Supports
IT Berater	16.7	33.3	16.7	33.3
Top Management	25.0	18.8	18.8	37.5
IT Abteilung	20.0	20.0	20.0	40.0
Abteilung 1	21.1	31.6	15.8	31.6
Abteilung 2	24.0	19.0	19.0	38.0

Im Gegensatz zu einer Nutzwertanalyse wird diese Gruppenentscheidung dadurch unterstützt, dass nicht ein bestimmter Wert festgelegt werden muss, sondern dass man sich nur auf einen Bereich einigt. Die gemeinsame Festlegung eines Bereichs fällt leichter als die Festlegung eines Wertes. Zudem kann sich jede Person in den daraus gefällten Entscheidungen wieder finden.

Es ergeben sich also unmittelbar namhafte Vorteile für das Top Management zur Entscheidungsunterstützung. Zum einen kann sich jede Alternative in ihr bestes Licht rücken und ihre Vorteile gegenüber anderen Alternativen demonstrieren. Dieser Vorgang ist durch die Optimierung eines LP objektiv nachvollziehbar. Zusätzlich stellt das System für nicht effiziente Lösungen, die Bereiche und das Ausmaß deren Defizite als Information zur Verfügung. Durch das Einführen von Nebenbedingungen ist es schließlich einfach das Wissen mehrerer beteiligter Personen in die Bewertung des Systems einfließen zu lassen.

4. Effizienzvergleich von ERP-Einführungsprojekten

Nach der Auswahl eines geeigneten ERP-Systems stellt die Einführung des Systems eine enorme Herausforderung für das Unternehmen dar. Die Einführung umfasst unter anderem das Customizing, also die Anpassung der unternehmensneutral ausgelieferten Standardsoftware an die spezifischen betriebswirtschaftlichen Anforderungen eines Unternehmens [St97]. Aufgrund der hohen Integration der zugrunde liegenden Software und den mit der Einführung teilweise einhergehenden starken Veränderungen an der Organisation selbst zeichnen sich die entsprechenden Einführungsprojekte häufig durch eine hohe Komplexität (und dadurch bedingt auch hohe Kosten und lange Laufzeiten) aus [Ba96; BK97; Ki98; KAZ97; MMG02; Sc98]. In einigen Fällen können solche Projekte auch zu schweren Problemen bis hin zum Bankrott des Unternehmens führen [Sc99; SV02].

Daher werden in der Literatur (und auch von Anbietern betriebswirtschaftlicher Standardsoftware wie beispielsweise SAP mit ASAP - Accelerated SAP [Br00]) verschiedenste Anregungen und Richtlinien für den Ablauf solcher Projekte [Ba96; Hu95; Jo97; Ki98], kritische Erfolgsfaktoren [HL99] sowie das Zusammenspiel von Anpassung der Organisation an die Software, Customizing, zusätzlicher Programmierung in der Produktsprache (beispielsweise ABAP/4 bei SAP R/3) oder auch sonstiger Zusatzprogrammierung [BK97; SV02] gegeben. Eine Entscheidung, die beispielsweise zu treffen ist, stellt jene nach der Einführungsstrategie dar, die entweder in einem Big-Bang-Ansatz alle Teilbereiche der Software gleichzeitig, oder in einem eher Prototyping-orientierten Vorgehen diese in einer festzulegenden Reihenfolge einzuführen versucht [Ba96; Ki98]. Ebenso ist festzulegen, ob die Implementierung in allen Unternehmensteilen parallel oder verschoben stattfinden soll [MTF00]. Je nach der gewählten Vorgehensweise umfasst ein ERP-Implementierungsprojekt meist eine Analysephase der betrieblichen Abläufe, Informationsflüsse und DV-Strukturen mit dem Ergebnis einer Ist-Analyse, darauf aufbauend eine Konzeptionsphase mit der Entwicklung eines Sollkonzepts, eine Auswahlphase der passenden Standardsoftware [BK00; EHW00] und schließlich eine Umsetzungsphase mit den vielfältigen Anpassungsmaßnahmen.

Aus den angeführten Herausforderungen und den Daten hinsichtlich Aufwands- und Zeitüberschreitungen von ERP-Einführungsprojekten resultiert ein Bedürfnis nach dem Vergleich solcher Projekte. Von besonderem Interesse bei einem solchen Benchmarking ist dabei naturgemäß für jedes Unternehmen die Produktivität, also das Verhältnis zwischen den Inputs eines Projektes und dem damit erzielten Output. Eng damit verwandt ist der Begriff der Effizienz, die als Verhältnis zwischen optimalem und dem beobachtetem Wert für den Input definiert ist. Der optimale Wert, also die Kurve der maximalen Produktionsmöglichkeiten, kann durch sogenannte Frontiers (Produktionsmöglichkeitsgrenzen) ausgedrückt werden. Die Distanz zwischen der Menge, die durch die Frontiers ausgedrückt wird, und den Input-Mengen lässt auf eine Ineffizienz der betrachteten Einheit schließen [Fa57].

Während für ERP-Einführungsprojekte die notwendigen Inputs über normale Prozessmetriken [CDS86] wie Mannmonate oder Zeitdauer ausgedrückt werden können,

sind für den Output die in der Software-Entwicklung normalerweise gebräuchlichen Produktmetriken wie beispielsweise Programmzeilen [Pa92] oder Function Points [AG83] nicht ohne weiteres anwendbar. Dies folgt daraus, dass keine neue Entwicklung vorgenommen wird, sondern eine Anpassung (auch der Organisation und der Geschäftsprozesse) erfolgt. Damit sind die üblichen Maßzahlen für das entstehende Software-Produkt nicht alleine aussagefähig, obwohl sie natürlich als eine Komponente zur Messung einer eventuellen Erweiterung durch Programmierung herangezogen werden können. Es müssen daher weitere Maßzahlen hinzugefügt werden, um ein möglichst komplettes Bild über den Output einer ERP-Implementierung zu bekommen. Bei Vorliegen von mehreren Outputs (und eventuell mehreren Inputs), normalerweise auch in unterschiedlichen Maßeinheiten gemessen, sind Produktivität und Effizienz jedoch nicht mehr einfach zu bestimmen. Deshalb wird im folgenden Abschnitt die Data Envelopment Analysis zum Einsatz gebracht.

Dazu ist es notwendig, entsprechende Daten über eine möglichst große Anzahl von Projekten zu erheben. Aus diesem Anlass wurde ein Fragebogen entwickelt, der an österreichische Firmen geschickt wurde, die bereits Standardsoftware eingeführt hatten. Insgesamt wurden 300 Unternehmen unterschiedlicher Branchen angeschrieben, wobei die Adressen von verschiedenen Standardsoftwareanbietern stammten und bereits in einer vorhergegangenen Untersuchung verwendet wurden [BK00]. Die Fragebögen wurden mit frankierten Rückkuverts an die Unternehmen verschickt.

Es konnte ein Rücklauf von 43 ausgefüllten Fragebögen erzielt werden, was einer Quote von ungefähr 14% entspricht. Wenn man die teilweise stark vertraulichen Daten insbesondere hinsichtlich des Aufwandes betrachtet, so erscheint dies als relativ hoch. Von diesen Fragebögen konnten jedoch nur 39 in die Analyse miteinbezogen werden, da die restlichen Bögen nicht das notwendige Datenmaterial enthielten. Im folgenden Abschnitt werden die erhobenen Variablen beschrieben und erste deskriptive Statistiken über das vorhandene Datenmaterial dargestellt.

Für die Durchführung der eigentlichen DEA gibt es verschiedene Softwareprodukte, die teilweise als Freeware zur Verfügung stehen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Programm verwendet, das dem Buch von Cooper, Seiford und Tone beigelegt ist [CST00]. Mit diesem DEA-Solver kann man verschiedene DEA Modelle, input- oder output-orientiert, sowie mit konstanten oder variablen Skalenerträge berechnen.

4.1. Datenmaterial

Für jedes Unternehmen wurden eine Reihe von Variablen erhoben. Dazu zählen einerseits solche, die die Unternehmen charakterisieren, nämlich Branche und Anzahl der Mitarbeiter, andererseits solche, die die Einführung der betriebswirtschaftlichen Standardsoftware beschreiben.

Zur Branche der befragten Unternehmen kann kaum ein einheitliches Bild gewonnen werden. Es zeigt sich, dass eine nennenswerte Anzahl von Unternehmen eigentlich nur aus den Branchen Handel (8 Unternehmen) und Produktion (14 Unternehmen) vorliegt.

Weitere vertretene Branchen sind unter anderem Banken, Chemie, Anlagenbau und Dienstleistung.

Hinsichtlich der Unternehmensgröße, gemessen an der Anzahl der Mitarbeiter, zeigt sich, dass ein großer Anteil der befragten Unternehmen kleine und mittlere Unternehmen sind, jedoch auch eine Reihe von Großunternehmen vertreten sind (siehe Tabelle 4).

Als erstes Kennzeichen des Einführungsprojektes wurde der Hersteller der Standardsoftware erhoben (Mehrfachnennungen möglich). Dabei zeigt sich in Übereinstimmung mit zahlreichen anderen Untersuchungen eine besonders starke Position von SAP im Markt. Insgesamt 61,5% der befragten Unternehmen haben eine Standardsoftware dieses Anbieters eingeführt. An zweiter Stelle liegt der holländische Hersteller BaaN mit 23,1%, es folgen Oracle, Xal und Navision mit jeweils ca. 7% der Firmen. Wenn zusätzlich die Unternehmensgröße betrachtet wird, zeigt sich der Effekt, dass BaaN in kleineren Unternehmen stärker (bei einem Drittel der Organisationen mit weniger als 250 Mitarbeitern), in Großunternehmen mit mehr als 1000 Angestellten jedoch gar nicht gewählt wurde. In diesen Unternehmen wurde ohne Ausnahme SAP R/3 eingeführt.

Tabelle 4: Unternehmensgröße

Mitarbeiter	Häufigkeit	Prozent
0-250	15	38,5
251-500	8	20,5
501-1000	5	12,8
1001-2000	3	7,7
Mehr als 2000	8	20,5
Gesamt	39	100,0

Des weiteren wurde erhoben, welche Module implementiert wurden. Dabei zeigt sich klar, dass der Bereich Rechnungswesen am stärksten vertreten ist: Bei 87% der betrachteten Unternehmen wurde das Finanz-Modul eingeführt, Controlling bei 79%. Des weiteren implementiert wurden bei 64% der Befragten Distribution, bei 44% Fertigung, bei 28% Projekt, bei 13% Transport, bei 15% Service und bei 51% sonstige. Im Durchschnitt wurden 3,82 unterschiedliche Module (Standardabweichung 1,48) implementiert.

Um die aus dem Einführungsprojekt resultierende ERP-Lösung genauer zu spezifizieren, wurden insgesamt vier zusätzliche Variablen erhoben. Diese sind die Anzahl der Mitarbeiter im Unternehmen, die die Standardsoftware nach abgeschlossener Implementierung einsetzen, das Ausmaß der Modifikationen an der Software, gemessen in Programmzeilen (Lines-of-Code), die Anzahl der Schnittstellen zu anderen Programmen und die Anzahl der Standorte, in denen die Lösung eingeführt wurde. Für diese Variablen gibt Tabelle 5 deskriptive Statistiken an.

Tabelle 5: Kennzeichen der ERP-Lösung

	N	Maximum	Mittelwert	Standardabw.
Anzahl eingeführter Module	39	7,00	3,82	1,48
Anwender der ERP-Lösung	39	1.500,00	217,46	364,23
Modifikationen (in LOC)	39	5.000,00	227,95	841,70
Schnittstellen	39	100,00	12,10	20,39
Standorte	39	62,00	4,26	9,98

Die letzten erhobenen Variablen beschäftigen sich mit dem Aufwand für das ERP-Einführungsprojekt. Dazu zählen als wichtigste Variablen die Dauer der Einführung in Wochen, der notwendige Aufwand in Mannjahren sowie die Gesamtkosten und ihre einzelnen Bestandteile. Gesondert erhoben wurden dabei die Kosten der Software selbst, die Kosten für die Anschaffung der notwendigen Hardware sowie für eventuell in Anspruch genommene externe Beratungsleistungen (wobei nur von 3 Unternehmen, also knapp 8% keine Berater hinzugezogen wurden). Dabei zeigt sich, dass die Kosten für Beratungsleistungen den größten Einzelposten darstellen. Die Ergebnisse zu diesen Variablen sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Aufwand der ERP-Einführungsprojekte

	N	Maximum	Mittelwert	Standardabw.
Dauer der Einführung (in Wochen)	39	156,00	43,05	29,45
Gesamter Aufwand (in Mannjahren)	39	87,21	4,77	17,85
Gesamtkosten (in EUR)	39	14.534.566,83	1.477.191,39	2.717.536,03
Kosten der Software (in EUR)	39	5.813.826,73	360.985,42	977.172,01
Kosten der Hardware (in EUR)	39	4.360.370,05	267.121,14	743.279,43
Kosten für Beratungsleistung (in EUR)	39	5.813.826,73	518.547,17	996.686,46

Als erste, der DEA vorangehende Analyse können die Korrelationen zwischen den beschriebenen Variablen betrachtet werden. Einerseits sind alle Variablen, die zur Quantifizierung des Aufwandes herangezogen werden, also die Gesamtkosten, die einzelnen Teilkosten sowie der Aufwand in Mannjahren durchwegs miteinander hoch positiv korreliert, und zwar mit Koeffizienten von 0,67 zwischen Gesamtkosten und Aufwand bis hin zu 0,95 (Signifikanzniveau in allen Fällen 0,01). Die Dauer des Einführungsprojektes ist jedoch nur mit den Gesamtkosten im Ausmaß von 0,44 (Signifikanzniveau von 0,01) korreliert, nicht jedoch mit dem Aufwand in Mannjahren. Von den Kennzeichen des ERP-Einführungsprojektes zeigen die Anzahl der Anwender und Schnittstellen einen Einfluss auf Gesamtkosten, Dauer und Aufwand, Ausmaß der Modifikationen und Anzahl der Standorte jedoch keinen statistisch nachweisbaren. Insbesondere zu den Kosten besteht eine hohe Korrelation, und zwar von der Anzahl der Anwender von 0,91 und der Schnittstellen von 0,81 (Signifikanzniveau jeweils 0,01). Für den Aufwand in Mannjahren sind die Korrelationseffizienten 0,5 (Anwender) beziehungsweise 0,54 (Schnittstellen), für die Dauer 0,52 und 0,33. Auch die Anzahl der

eingeführten Module zeigt eine signifikante Korrelation zu den Gesamtkosten (Korrelationskoeffizient von 0,42 mit einem Signifikanzniveau von 0,01).

4.2. Anwendung der Data Envelopment Analysis

Bei der Anwendung der DEA auf den Problembereich der ERP-Einführungsprojekte sind mehrere Festlegungen zu treffen. Diese bestehen vor allem in der Auswahl des zu verwendenden Modells und der enthalten Input- beziehungsweise Output-Faktoren.

Insbesondere ist bei der Auswahl eines Modells festzulegen, ob konstante oder variable Skalenerträge angenommen werden. Banker und Kemerer haben die Existenz von steigenden und fallenden Skalenerträgen bei Software-Projekten gezeigt [BK89], auch Myrtveit und Stensrud empfehlen die Anwendung eines Modells mit variablen Skalenerträgen [MS99a]. Bei einem Datensatz von Wartungs- und Erweiterungsprojekten haben Banker und Slaughter steigende Skalenerträge gefunden [BS97]. Des weiteren ist die Größe des ERP-Einführungsprojektes durch die Entscheidungsträger kaum beeinflussbar, was nach Schefczyk und Gerpott [SG95] ebenfalls auf die Anwendung eines Modells mit variablen Skalenerträgen hindeuten würde. Um das Vorliegen von variablen Skalenerträgen im vorliegenden Datensatz endgültig zu bestätigen, werden in einem ersten Schritt wie von Schefczyk und Gerpott vorgeschlagen Effizienzbewertungen für alle Projekte unter beiden Annahmen berechnet und diese dann verglichen.

Für die Orientierung des Modells wird eine Input-Orientierung ausgewählt, da das für eine Organisation notwendige Standardsoftwaresystem weitgehend durch die Anforderungen vorgegeben ist, und dieses unter angestrebter Minimierung der Input-Faktoren erstellt beziehungsweise eingeführt werden soll. Damit ergeben sich als anzuwendende Modelle CCR-I [CCR78a] für konstante beziehungsweise BCC-I [BCC84] für variable Skalenerträge.

Bei der Festlegung, welche Faktoren als Inputs beziehungsweise Outputs in das Modell aufgenommen werden sollen, ist unter anderem zu beachten, dass bei einer Erhöhung der Faktorenanzahl tendenziell immer mehr DMUs (Decision Making Unit) als effizient eingeschätzt werden, insbesondere je kleiner die verwendete Datenbasis ist. Außerdem sollen natürlich nur tatsächlich relevante Faktoren betrachtet werden. Im vorliegenden Fall bieten sich die Gesamtkosten der Einführung sowie der Aufwand in Mannjahren als Inputs an. Da die anderen Variablen nur Kostenbestandteile darstellen, erscheint es nicht sinnvoll, diese als eigene Faktoren aufzunehmen, außerdem weisen diese wie bereits dargestellt hohe Korrelationen untereinander auf. Als Outputs werden die Dauer der Einführung, die Anzahl der Anwender, der Schnittstellen und der eingeführten Module verwendet. Die Dauer der Einführung ist für viele Unternehmen von hohem Interesse und stellt des weiteren ein Kennzeichen dafür dar, wie effizient und schnell der Aufwand eingesetzt werden konnte. Das Ausmaß der Modifikationen und die Anzahl der Standorte weisen wie gezeigt im Gegensatz zu den anderen Variablen keinen signifikanten Einfluss auf den Aufwand auf, und werden daher nicht in das Modell aufgenommen.

Die Ergebnisse für die Anwendung der gewählten Modelle CCR-I mit konstanten und BCC-I mit variablen Skalenerträgen sind in Tabelle 7 zusammengefasst. Für jedes Modell sind die durchschnittliche Effizienzbewertung der Projekte (mit Standardabweichung), der Median, die niedrigste Effizienzbewertung aller Projekte (das Maximum beträgt naturgemäß immer 1) sowie die Anzahl der DEA-effizienten Projekte angeführt. Es zeigt sich deutlich, dass bei Anwendung des Modells BCC-I mit variablen Skalenerträgen die Effizienzbewertungen im Durchschnitt (0,7552 im Vergleich zu 0,4472) sowie auch das Minimum höher sind. Ebenso steigt die Anzahl der DEA-effizienten Projekte stark an, nämlich von 6 auf 22, was immerhin 56% aller Projekte entspricht. Diese Steigerung in der Effizienzbewertung ist dadurch erklärbar, dass größenbedingte Produktivitätsunterschiede vom Modell ausgeglichen werden und damit nicht mehr einige kleine Projekte bestimmend sind. Aber sogar im BCC-I Modell wird ein durchschnittliches Einsparungspotential von fast 25% angezeigt. Im Vergleich zu den Ergebnissen von Myrteit und Stensrud zeigt sich eine im Durchschnitt höhere Effizienz, da diese Autoren einen Wert von 0,56 bei Anwendung eines Modells mit variablen Skalenerträgen gefunden haben [MS99a]. Des weiteren wurden 9 der 30 untersuchten Projekte als DEA-effizient eingeordnet.

Tabelle 7: Zusammenfassung der Ergebnisse des CCR-I und BCC-I Modells

CCR-I	
Durchschnittliche Effizienz	0,4472
Standardabweichung	0,3219
Median	0,3726
Minimum	0,0039
Anzahl effizienter Projekte	6
BCC-I	
Durchschnittliche Effizienz	0,7552
Standardabweichung	0,3239
Median	1
Minimum	0,0267
Anzahl effizienter Projekte	22

Hinsichtlich des Vorliegens von variablen oder konstanten Skalenerträgen gibt es mehrere Varianten zur Überprüfung, da für jedes Projekt beide resultierende Effizienzbewertungen vorliegen. Eine Möglichkeit besteht in einem statistischen Test auf Gleichheit der Verteilungen. Da die Effizienzbewertungen aus einer DEA nicht normalverteilt sind, kann beispielsweise ein nicht-parametrischer Test für abhängige Stichproben (Wilcoxon Signed Rank) zur Anwendung gebracht werden. Eine andere Möglichkeit besteht darin, den Mittelwert der Differenzen, die laut einem Kolmogorov-Smirnov Test normalverteilt sind, mittels eines t-Tests auf 0 zu testen. In beiden Fällen lautet auf einem Signifikanzniveau von 0,01 das Ergebnis, dass ein signifikanter Unterschied zwischen den Effizienzbewertungen vorhanden ist. Somit liegen variable Skalenerträge vor und es ist das BCC-I Modell für den Effizienzvergleich der ERP-Einführungsprojekte heranzuziehen. Dieses Ergebnis deckt sich mit dem von Myrteit und Stensrud ohne statistische Methoden durch einfachen Mittelwertvergleich

gefundenen [MS99a], sowie den angeführten Ergebnissen aus dem Bereich der Software-Entwicklung [BK89; BS97].

Da damit die Annahme von variablen Skalenerträgen untermauert ist, können die Ergebnisse des BCC-I Modells für weitere Analysen herangezogen werden. Eine erste Möglichkeit besteht im Vergleich zwischen unterschiedlichen Gruppen von Unternehmen. Von besonderem Interesse kann dabei eine Einteilung anhand von Attributen wie dem verwendeten Vorgehensmodell bei der Einführung oder der Strategie bei Fragen von Änderungen an der Software im Gegensatz zu Änderungen an der Organisation sein. Damit könnten Rückschlüsse über die Auswirkungen dieser Entscheidungen auf die Effizienz der Einführungsprojekte gezogen werden. Da im vorliegenden Fall jedoch leider diese Kennzeichen nicht bekannt sind, kann eine solche Analyse nicht durchgeführt werden. Eine weitere, methodisch analoge Möglichkeit zur Einteilung in Gruppen besteht in der Branche. Sollten die Effizienzbewertungen dabei deutlich unterschiedlich sein, so könnte man daraus den Rückschluss ziehen, dass Vergleiche besser nur innerhalb einer Industrie zu ziehen sind. Andererseits könnte man in weiterer Folge versuchen, jene Kennzeichen einer Industrie herauszuarbeiten, die zu dieser erhöhten Effizienz führen, beispielsweise das Vorliegen einer entsprechenden Branchenlösung der betriebswirtschaftlichen Standardsoftware. Da nur von 2 Branchen ausreichende Nennungen vorhanden sind, werden diese verglichen. Dabei zeigt sich, dass zwischen den Branchen Produktion (mit einer mittleren Effizienzbewertung von 0,6298 und Median von 0,6066) und Handel (Mittelwert 0,6411 und Median 0,6564) kein statistisch signifikanter Unterschied besteht. Da wiederum nicht von einer Normalverteilung ausgegangen werden kann, wird der Mann-Whitney U-Test eingesetzt. Da die Werte dieser Branchen jedoch unter dem Gesamtschnitt liegen, werden diese beiden Gruppen noch jeweils gegen die Gruppe aller anderen Unternehmen getestet. Diese weisen eine mittlere Effizienzbewertung von 0,9121 und Median 1 auf und sind tatsächlich in beiden Vergleichen signifikant (Signifikanzniveau 0,05) effizienter als die Branchen Handel und Produktion. Des weiteren kann analog dazu ein Vergleich zwischen jenen Gruppen von Unternehmen gezogen werden, die Lösungen unterschiedlicher Anbieter eingeführt haben. Aufgrund der Datenbasis bieten sich hier nur SAP (24 Unternehmen mit mittlerer Effizienzbewertung 0,7938 und Median 1) und BaaN (9 Unternehmen mit mittlerer Effizienzbewertung 0,6208 und Median 0,5861) an, der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant.

Von hohem Interesse können die Ergebnisse auch für Organisationen sein, die die Einführung einer betriebswirtschaftlichen Standardsoftware planen. Da die DEA die auf den vorhandenen Daten basierende Produktionsgrenze ermittelt, kann diese eingesetzt werden, um den unter der Bedingung einer optimalen Effizienz nötigen Ressourceneinsatz für ein gegebenes Output-Niveau zu bestimmen. Die resultierende Input-Menge kann dann als Untergrenze für den tatsächlich anfallenden Aufwand angenommen werden, oder es kann auch ein anderes Effizienzniveau wie beispielsweise 0,8 zur Abschätzung herangezogen werden. Dabei kann aber natürlich auch nicht ausgeschlossen sein, dass die Produktionsgrenze durch dieses neue ERP-Einführungsprojekt erweitert wird und somit der Ressourceneinsatz sogar noch niedriger als bei bisheriger DEA-Effizienz ausfallen wird. Natürlich ist des weiteren für diese Anwendung die vorhergehende Quantifizierung der Output-Parameter notwendig, dies

sollte aber im vorliegenden Modell möglich sein. Bei mehreren Input-Parametern ist die Lösung jedoch naturgemäß nicht unbedingt eindeutig. Damit bieten die Ergebnisse einer DEA auch eine Möglichkeit zur Aufwandsschätzung für zukünftige ERP-Einführungsprojekte.

5. Zusammenfassung

Im vorliegenden Artikel wurde demonstriert, wie sich die Data Envelopment Analysis auf mehrere Problemgebiete der ERP-Einführung anwenden läßt. Diese Einführung von ERP-Systemen zeichnet sich oftmals durch hohe Kosten und Terminüberschreitungen aus. Eine entsprechende Auswahl des am besten geeigneten Systems und eine effiziente Einführung sind daher für betroffene Unternehmen von hoher Bedeutung.

Bei der Auswahl von ERP-Systemen kann die DEA den Gruppenentscheidungsprozess unterstützen. Im Gegensatz zur Nutzwertanalyse müssen bei DEA a priori keine Gewichte festgelegt werden, es reicht wenn sich die Entscheider auf einen Bereich der Gewichte einigen können. Beim Effizienzvergleich von ERP-Einführungsprojekten bietet sich der Einsatz von DEA an, da sich aufgrund der multi-dimensionalen Outputs in unterschiedlichen Messgrößen traditionelle Maßzahlen für die Effizienz des Ressourceneinsatzes nicht anwenden lassen. Das nicht-parametrische Verfahren stellt hier die Generalisierung der normalen Effizienzbewertung für den generellen Fall eines multi-Output, multi-Input Systems dar. Dabei werden anhand des tatsächlichen Produktionsverhaltens jene Einheiten identifiziert, die an der Produktionsgrenze liegen. Die resultierende Produktionsgrenze bietet eine Möglichkeit zur Aufwandsschätzung für zukünftige Projekte, indem bei Festlegung der Output-Parameter unter einer oder auch verschiedenen Effizienzannahmen die notwendigen Inputvektoren bestimmt werden. Damit bietet insgesamt die DEA ein wichtiges und gleichzeitig vielseitiges Werkzeug bei der Analyse von ERP-Einführungsprojekten.

Literaturverzeichnis

- [AG83] Albrecht, A.J.; Gaffney, J.E.: Software Function, Source Lines of Code, and Development Effort Prediction: A Software Science Validation. In: IEEE Transactions on Software Engineering 9(6), 1983, S. 639-648.
- [Ba96] Barbitsch, C.: Einführung integrierter Standardsoftware. Hanser, Wien 1996.
- [BCC84] Banker, R.D.; Charnes, A.; Cooper, W.: Some Models for Estimating Technical and Scale Inefficiencies in Data Envelopment Analysis. In: Management Science 30, 1984, S. 1078-1092.
- [BK89] Banker, R.D.; Kemerer, C.: Scale Economies in New Software Development. In: IEEE Transactions on Software Engineering 15(10), 1989, S. 416-429.
- [BK97] Buxmann, P.; König, W.: Empirische Ergebnisse zum Einsatz der betrieblichen Standardsoftware SAP R/3. In: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 39(4), 1997, S. 331-338.

- [BK00] Bernroider, E.; Koch, S.: Entscheidungsfindung bei der Auswahl betriebswirtschaftlicher Standardsoftware – Ergebnisse einer empirischen Untersuchung in österreichischen Unternehmen. In: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 32(4), 2000, S. 329-338.
- [Br00] Brand, H.: SAP R/3 : Einführung mit ASAP. Galileo Press GmbH, Bonn 2000.
- [BS97] Banker, R.D.; Slaughter, S.A.: A Field Study of Scale Economies in Software Maintenance. In: Management Science 43(12), 1997, S. 1709-1725.
- [BSG99] Bingi, P.; Sharma, M.; Godla, J.: Critical Issues Affecting an ERP Implementation. *Information Systems Management Decision*, 16(3), 1999, S. 7-14.
- [CCR78a] Charnes, A.; Cooper, W.; Rhodes, E.: Measuring the Efficiency of Decision Making Units. In: European Journal of Operational Research 2, 1978, S. 429-444.
- [CCR78b] Charnes, A.; Cooper, W.; Rhodes, E.: A Data Envelopment Analysis Approach to Evaluation of the Program Follow Through Experiments in U.S. Public School Education. Management Science Research Report No. 432, Carnegie-Mellon University, Pittsburgh, PA 1978.
- [CDS86] Conte, S.D.; Dunsmore, H.E.; Shen, V.Y.: Software Engineering Metrics and Models. Benjamin/Cummings, Menlo Park, CA 1986.
- [CST00] Cooper, W.; Seiford, L.; Tone, K.: Data Envelopment Analysis: A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software. Kluwer Academic Publishers, Boston, MA 2000.
- [Da93] Davenport, T. H.: Process Innovation: Reengineering Work through Information Technology. Harvard Business School Press, Boston, Massachusetts, 1993.
- [EHW00] van Everdingen, Y.; van Hillegersberg, J.; Waarts, E.: ERP Adoption by European Midsize Companies. In: Communications of the ACM 43(4), 2000, S. 27-31.
- [Fa57] Farrell, M.J.: The Measurement of Productive Efficiency. In: Journal of the Royal Statistical Society, Series A 120(3), 1957, S. 250-290.
- [GGKT97] Guha, S.; Grover, V.; Kettinger, W. J.; Teng, J. T. C.: Business Process Change and Organizational Performance. In: Exploring an Antecedent Model. Journal of Management Information Systems, 14(1), 1997, S. 119-154.
- [Gr00] Greißinger, P.: Wirtschaftlichkeitsanalysen im Gesundheitswesen: Analyse und beispielhafte Anwendung der Data Envelopment Analysis. Dt. Univ.-Verl., Wiesbaden 2000.
- [HL99] Holland, C.P.; Light, B: A Critical Success Factors Model for ERP Implementation. In: IEEE Software 16(3), 1999, S. 30-36.
- [HM93] Howard, L.W.; Miller, J.L.: Fair Pay for Fair Play: Estimating Pay Equity in Professional Baseball with Data Envelopment Analysis. In: Academy of Management Journal 36(4), 1993, S. 882-894.
- [Hu95] Hufgard, A.: Wirtschaftliche R/3 Einführung im Mittelstand – Einsatzmöglichkeiten von Methoden und Tools. In: Wenzel, P. (Hrsg.): Geschäftsprozeßoptimierung mit SAP-R/3 – Modellierung, Steuerung und Management betriebswirtschaftlich-integrierter Geschäftsprozesse. Vieweg Verlag, Braunschweig 1995, S. 43-82.
- [Jo97] Jochem, M.: Einführung integrierter Standardsoftware: ein ganzheitlicher Ansatz. Dissertation, Universität Essen 1997.
- [KAZ97] Knolmayer, G.; von Arb, R.; Zimmerli, C: Erfahrungen mit der Einführung von SAP R/3 in Schweizer Unternehmungen. Studie der Abteilung Information Engineering des Instituts für Wirtschaftsinformatik der Universität Bern, 3. Auflage, Bern 1997.
- [Ki98] Kirchmer, M.: Business Process Oriented Implementation of Standard Software. Springer-Verlag, Berlin 1998.
- [KLS01] Kocher, M.G.; Luptacik, M.; Sutter, M.: Measuring Productivity of Research in Economics : A Cross-Country Study using DEA. Department of Economics Working Paper Series / Department of Economics, Nr. 77, Wirtschaftsuniversität Wien 2001.
- [LL98] Laudon, K. C.; Laudon, J. P.: Management Information Systems - New Approaches to Organization & Technology (5th ed.), Prentice Hall, London 1998.

- [Ma94] Mahmood, M.A.: Evaluating Organizational Efficiency Resulting from Information Technology Investment: An Application of Data Envelopment Analysis. In: Information Systems Journal 4(2), 1994, S. 93-115.
- [MMG02] Martin, R.; Mauterer, H.; Gemünden, H.-G.: Systematisierung des Nutzens von ERP-Systemen in der Fertigungsindustrie. In: WIRTSCHAFTSINFORMATIK 44(2), 2002, S. 109-116.
- [MS99a] Myrtveit, I.; Stensrud, E.: Benchmarking COTS Projects Using Data Envelopment Analysis. In: Proceedings of 6th International Software-Metrics-Symposium. Boca-Raton, FL 1999, S. 269-278.
- [MS99b] Myrtveit, I.; Stensrud, E.: A Controlled Experiment to Assess the Benefits of Estimating with Analogy and Regression Models. In: IEEE Transactions on Software Engineering 25(4), 1999, S. 510-525.
- [MTF00] Markus, M.L.; Tanis, C.; van Fenema, P.C.: Multisite ERP Implementations. In: Communications of the ACM 43(4), 2000, S. 42-46.
- [Pa92] Park, R.E.: Software Size Measurement: A Framework for Counting Source Statements. Technical Report CMU/SEI-92-TR-20, Software Engineering Institute, Carnegie Mellon University 1992.
- [RMSI00] Remenyi, D.; Money, A.; Sherwood-Smith, M.; Irani, Z.: The Effective Measurement and Management of IT Costs and Benefits (2nd ed.), Butterworth-Heinemann, Oxford, UK 2000.
- [Sa87] Sassone, P. G.: Cost-Benefit Methodology for Office Systems. ACM Transactions on Information Systems, 5(3), 1987, S. 273-289.
- [Sc96] Schefczyk, M.: Data Envelopment Analysis: Eine Methode zur Effizienz- und Erfolgsschätzung von Unternehmen und öffentlichen Organisationen. In: Die Betriebswirtschaft 56, 1996, S. 167-183.
- [Sc98] Scheer, A.-W.: ARIS – Vom Geschäftsprozeß zum Anwendungssystem. 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin 1998.
- [Sc99] Scott, J.E.: The FoxMeyer Drugs' bankruptcy: Was it a failure of ERP? In: Proceedings of the Fifth Americas Conference on Information Systems (AMCIS 1999), Milwaukee, WI 1999, S. 223-225.
- [SG95] Schefczyk, M.; Gerpott, T.J.: Ein produktionswirtschaftlicher Benchmarking-Ansatz: Data Envelopment Analysis. In: Journal für Betriebswirtschaft 45(5-6), 1995, S. 335-346.
- [Se00] Sengupta, J.K.: Dynamic and Stochastic Efficiency Analysis: Economics of Data Envelopment Analysis. World Scientific, Singapore 2000.
- [St97] Steinbuch, P.: Prozessorganisation – Business Reengineering - Beispiel R/3. Friedrich Kiehl Verlag, Ludwigshafen 1997.
- [SV02] Scott, J.E.; Vessey, I.: Managing Risks in Enterprise Systems Implementations. In: Communications of the ACM 45(4), 2002, S. 74-81.
- [Ta98] Taudes, A.: Software growth options. Journal of Management Information Systems, 15(1), 1998, S. 165-186.
- [Th01] Thanassoulis, E.: Introduction to the Theory and Application of Data Envelopment Analysis: A Foundation Text with Integrated Software. Kluwer Academic Publishers, Norwell, MA 2001.
- [Tr96] Trigeorgis, L.: Real Options: Managerial Flexibility and Strategy in Resource Allocation. The MIT Press, Cambridge, MA 1996.