

# **Smart Enterprise Analytics**

**Evaluation, Adaption und Implementierung von Analyseverfahren zur  
Automatisierung des Informationsmanagements**

Inauguraldissertation

zur Erlangung des akademischen Grades eines  
Doktors der Wirtschaftswissenschaften  
des Fachbereichs Wirtschaftswissenschaften  
der Universität Osnabrück

vorgelegt von

Andreas Werner Varwig  
Master of Science in  
Money, Banking and Finance

Osnabrück, 2018

Tag der Disputation: 07.02.2018

Dekan: Prof. Dr. Bernhard Baumgartner

Referenten: Prof. Dr. Oliver Thomas  
Prof. Dr. Frank Teuteberg

## Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	III
Tabellenverzeichnis.....	III
Teil A – Dachbeitrag.....	IV
1 Ausgangssituation.....	1
2 Motivation und Zielsetzung.....	2
3 Einordnung.....	2
4 Methodik.....	4
4.1 Forschungsfragen.....	4
4.2 Methodenspektrum.....	5
4.3 Forschungsplan.....	7
5 Ergebnisse.....	8
5.1 Überblick.....	8
5.2 Big Data Analytics und dessen Auswirkungen auf die Informationstechnik.....	9
5.3 Quantitative Methoden in der unternehmerischen Leistungssteuerung.....	11
5.4 Datenbasierte Geschäftsmodelle.....	15
6 Implikationen.....	18
7 Limitationen.....	19
8 Zusammenfassung.....	20
9 Literatur.....	21
Teil B – Einzelbeiträge.....	V
Beitrag 1: Centralized resource planning and Yardstick competition.....	0
Beitrag 2: RMatlab-app2web.....	0
Beitrag 3: Zentrale Ressourcenverteilung in der Gesamtbanksteuerung.....	0
Beitrag 4: DevOps: IT-Entwicklung im Industrie 4.0-Zeitalter.....	0
Beitrag 5: Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service.....	0
Beitrag 6: Responding to the Forecast.....	0
Beitrag 7: Geschäftsmodellevolution im Technischen Kundendienst.....	0
Beitrag 8: Centralized Super-Efficiency and Yardstick Competition.....	0

## **Abkürzungsverzeichnis**

AM	Additive Manufacturing
BaaS	Benchmarking-as-a-Service
CGI	Common Gateway Interface
CRA	Centralized Resource Allocation
CRM	Customer-Relationship-Management
DBYC	DEA-Based Yardstick Competition
DEA	Data Envelopment Analysis
EE	Entscheidungseinheit
ERP	Enterprise-Resource-Planning
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LP	Linear Program
OR	Operations Research
PM	Predictive Maintenance
YC	Yardstick Competition

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 1:</b> Wissenschaftliche Einordnung (in Anlehnung an Becker et al. 2004) .....	4
<b>Abb. 2:</b> Forschungsplan .....	7
<b>Abb. 3:</b> Veränderung der Softwareentwicklung (in Anlehnung an Thomas et al. 2017) .....	9
<b>Abb. 4:</b> Ansicht eines Webformulars aus RMatlab-app2web (Varmaz et al. 2013a, S. 7).....	11
<b>Abb. 5:</b> Digitales Ersatzteillager (Varwig et al. 2017a, S. 138).....	15
<b>Abb. 6:</b> Datenintegration durch BaaS (in Anlehnung an Varwig et al. 2017b) .....	17

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 1.</b> Überblick über die für das Promotionsverfahren eingereichten Beiträge .....	8
<b>Tab. 2:</b> Factsheet Beitrag 1 .....	0
<b>Tab. 3:</b> Factsheet Beitrag 2 .....	0
<b>Tab. 4:</b> Factsheet Beitrag 3 .....	0
<b>Tab. 5:</b> Factsheet Beitrag 4 .....	0
<b>Tab. 6:</b> Factsheet Beitrag 5 .....	0
<b>Tab. 7:</b> Factsheet Beitrag 6 .....	0
<b>Tab. 8:</b> Factsheet Beitrag 7 .....	0
<b>Tab. 9:</b> Factsheet Beitrag 8 .....	0

## **Teil A – Dachbeitrag**

## 1 Ausgangssituation

Allerorten und über alle Branchen sind deutsche Unternehmen einem wachsenden Wettbewerb ausgesetzt. Neue Technologien werden eingeführt und Märkte werden immer weiter geöffnet. Durch Konzepte wie „autonomes Fahren“ und „E-Mobilität“ verändert die voranschreitende Digitalisierung bspw. bereits heute das globale Kräfteverhältnis und die grundsätzliche Wertschöpfung in der Automobilindustrie (Malleck und Mecklenbräuker 2015). Angesichts neuer Fertigungsverfahren, wie dem 3D-Druck, müssen Maschinenbauer befürchten, Ersatzteile für ihre Anlagen künftig nicht mehr selbst herstellen zu können (Varwig et al. 2017a). Solche Technologien wirken sich auch auf das metallverarbeitende Gewerbe und die beteiligten Zulieferer und nachgelagerten Dienstleister entlang der Wertschöpfungskette aus (Lachmayer et al. 2016; Thomas et al. 2015, 2016). Parallel dazu verändert sich die Erbringung von Dienstleistungen. Während Wartungsarbeiten des technischen Kundendienstes durch mobile Unterstützungstechnologien zunehmend durch nicht speziell geschultes Personal erbracht werden können (Metzger et al. 2017; Niemöller et al. 2016), wird das Beratungs- und Filialgeschäft von Banken und Versicherern zunehmend durch Direktbanken verdrängt (Lieberknecht 2016; Keck und Mertes 2015). Um ihr wirtschaftliches Überleben zu sichern, müssen Unternehmen daher stetig darauf bedacht sein, ihren Marktanteil zu vergrößern, die eigenen Kosten zu senken und neue Geschäftsfelder zu erschließen. Dies geht grundsätzlich auf zwei Wegen. Zum einen können bestehende Produkte und Dienstleistungen, resp. die Prozesse zu deren Erstellung und Erbringung, verbessert und optimiert werden, um bspw. Fertigungsqualitäten zu steigern oder Laufzeiten zu senken. Zum anderen können neue Produkte und Dienstleistungen entwickelt und angeboten werden. Dies kann auch in der Entwicklung hybrider Wertschöpfungsbündel erfolgen. Durch eine stärkere Verflechtung von Dienstleistungen und Produkten können vor allem Produzenten ihre Wettbewerbspositionen verbessern (Thomas et al. 2010; Spath und Demuß 2006).

Die Verfügbarkeit neuer Technologien hat gleichzeitig zu entscheidenden Veränderungen der Anforderungen und Wünsche von Kunden und Konsumenten geführt. Weil es immer mehr Anbieter am Markt gibt, die derartige Bedürfnisse erfüllen können, müssen auch die Maschinen und Anlagen deutscher Hersteller heute in der Lage sein, komplexe Aufgaben in kurzer Zeit bei geringen Ausfallzeiten zu erbringen. In den produktionsferneren Sektoren, wie bspw. der Logistik und dem Finanzdienstleistungssektor, führen insb. der massive Kostendruck und das Verlangen nach kürzeren Reaktionszeiten zum Hinterfragen der eigenen Leistungserstellungsprozesse (Keck und Mertes 2015). Der Begriff und das Verständnis von Leistung verändern sich hier dynamisch. Dies führt letztendlich dazu, dass Produkte und Dienstleistungen komplexer und gleichzeitig modularer werden (Burr 2014).

Um Maschinen und Anlagen zu verbessern und zu überwachen, werden von vielen Herstellern deshalb stetig neue, vielfältigere und komplexere Sensortechnologien verbaut (Huber und Kaiser 2015). Gleichzeitig werden vermehrt Informationen zum Betrieb mobiler Unterstützungstechnologien erhoben, um die dauerhafte Lauffähigkeit auch von Anlagen, die in abgelegenen Regionen benötigt werden, durch in Echtzeit angeleitete Wartungsarbeiten zu gewährleisten (Däuble et al. 2015). In anderen Branchen werden derweil detaillierte Leistungsprozesse und steuerungsrelevante Performance-Indikatoren definiert (Özcan et al. 2014). In der Konsequenz werden umfangreichere Produktions- und Leistungsdaten erhoben. Vielfach entstehen so „Datensilos“ für unstrukturierte Informationen.

Wenngleich gemeinhin akzeptiert ist, dass Informationen einer der Rohstoffe der Zukunft sind, bleiben die entstandenen Datensilos, vor allem in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), häufig ungenutzt (Seufert 2014). Dies hat verschiedene Ursachen. Zum einen fehlt es in KMU häufig an der notwendigen IT-Infrastruktur, um Massendaten automatisiert verarbeiten zu können. Aufgrund der relativ geringen Kosten für dessen Anschaffung, ist dies jedoch ein zu vernachlässigender Faktor. Bedeutsamere Ursachen sind in dem fehlenden Wissen über verfügbare und geeignete quantitative Methoden und im Fehlen von konkreten Anwendungsfällen und Geschäftsideen zu sehen. Obwohl (oder gerade weil) in der wissenschaftlichen Diskussion seit Jahrzehnten Verfahren zur Analyse von Massendaten entwickelt und vorgestellt werden, ist es KMU selten möglich, solche Methoden auszuwählen, die ihnen zu Wettbewerbsvorteilen aus der Analyse ihrer eigenen Daten verhelfen. Gleiches gilt auch für die Entwicklung neuer Produkte und Dienstleistungen. Bislang konzentrieren sich die Bemühungen von KMU bei der Integration neuer Daten in ihre Produkte und Dienstleistungen vornehmlich auf den Einsatz neuer Technologien.

## 2 Motivation und Zielsetzung

Die Identifikation von flexibel einsetzbaren, mächtigen Verfahren zur Massendatenanalyse (engl. Big Data Analytics) und die Schaffung von standardisierbaren Vorgehensmodellen zur Integration dieser Verfahren in IT-Systeme sind zentrale Herausforderungen für die moderne Wirtschaftsinformatik (Agarwal und Dhar 2014; Mertens und Barbian 2015). Insbesondere für KMU ist die Entwicklung standardisierter Lösungsansätze von großer Relevanz. Während Großkonzerne heute bereits über die Infrastrukturen und Personalressourcen mit dem entsprechenden Knowhow verfügen, werden KMU im internationalen Wettbewerb immer weiter abgehängt. Dies gilt über alle Branchen. Finanzdienstleister sind ebenso betroffen wie der Maschinen- und Anlagenbau.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit soll eine Wissensbasis geschaffen werden, welche es einer breiten Masse an Unternehmen ermöglicht, geeignete quantitative Methoden zur Datenanalyse zu erkennen und diese für sich nutzbar zu machen. Als geeignet gelten in diesem Kontext solche Methoden, welche zur Optimierung bestehender Prozesse der Leistungserstellung und -erbringung herangezogen werden können oder die Erschließung neuer Ertragsquellen ermöglichen. Dabei geht es gleichermaßen um die Identifikation, Erklärung und Demonstration von quantitativen Methoden und um die Identifikation und Entwicklung von datenbasierten Geschäftsmodellen. Dieses Wissen soll es Unternehmen ermöglichen, durch die analytische Verarbeitung ihrer vorhandenen, digitalisierten Informationen, bislang ungenutzte Leistungs- und Ertragspotenziale zu heben.

## 3 Einordnung

Das Primärziel dieses Forschungsvorhabens ist die Analyse, Entwicklung und Bereitstellung von quantitativen Methoden der (automatisierten) Datenanalyse für a) die Verbesserung bestehender, unternehmerischer Leistungserstellungsprozesse und b) die Entwicklung und Erschließung neuer datenbasierter Geschäftsmodelle. Es handelt sich somit um ein interdisziplinäres Dissertationsvorhaben an der Schnittstelle zwischen Betriebswirtschaftslehre (BWL), Operations Research (OR) und Wirtschaftsinformatik (WI). Weil, insbesondere im Hinblick auf die Zunahme unstrukturierter Massendaten, die Erschließung von quantitativen Methoden zur automatisierten Datenverarbeitung nicht ohne die Entwicklung und den Einsatz adäquater IT-Systeme möglich ist, nimmt die Wirtschaftsinformatik als Wissenschaftsdisziplin einen übergeordneten Stellenwert in diesem Dissertationsvorhaben ein (Ferstl und Sinz 2013, S.1; Thomas 2006, S. 10ff.).



Betriebswirtschaftslehre bezeichnet die Lehre von der Steuerung und Organisation wirtschaftlicher Betriebe. Gegenstand der BWL ist somit die Erforschung von betrieblichen (Entscheidungs-)Prozessen. Neben der reinen Beschreibung und Erklärung ist die Entwicklung von Instrumenten zur Entscheidungsunterstützung ein Kernziel der angewandten BWL (Wöhe und Döring 2013). Die in diese Dissertation eingebrachten Beiträge fokussieren primär, jedoch nicht ausschließlich, Herausforderungen und Prozesse, welche den Spezialgebieten Bankbetriebslehre und Finanzwirtschaft zuzuordnen sind. D.h., es werden insbesondere Entscheidungsprozesse bei und Unterstützungstechnologien für Finanzdienstleister und Banken im Detail betrachtet (Tolkmitt 2007).

Operations Research ist die Erforschung der Einsatzmöglichkeiten quantitativer Methoden in der Entscheidungsunterstützung. Hierunter wird insbesondere die Konzeption und Adaption von Methoden der linearen Optimierung verstanden. OR wird deshalb häufig auch als Teilgebiet der angewandten Mathematik bezeichnet (Werners 2013). Der Fokus liegt zumeist jedoch auch der Modellierung und Lösung konkreter wirtschaftswissenschaftlicher Probleme und Fragestellungen durch die Anwendung von Analyseverfahren in der elektronischen Datenverarbeitung (Zimmermann 2008). Im Rahmen dieser Dissertation werden insbesondere Methoden der Data Envelopment Analysis (DEA) thematisiert, welche einen speziellen Forschungsstrang des OR repräsentieren.

Die Wirtschaftsinformatik bildet eine Art natürliche Klammer über diese Forschungsarbeit. Sie fungiert „als anwendungsorientierter Vermittler zwischen der Betriebswirtschaftslehre und der Informatik [...]“ (Thomas 2006, S. 25). Ihr Ziel ist die Entwicklung und Bereitstellung von IT-Systemen, sowohl in Form von einzelnen Komponenten und spezifischen Technologien als auch in Form von kompletten IT-Architekturen, zur Unterstützung und Verbesserung unternehmerischer Leistungserstellung und -erbringung. Dabei geht es um die Erschaffung von konkretem Nutzen in realen Anwendungsgebieten. Aus diesem Grund ist die WI auch eine Realwissenschaft (Thomas 2006). IT-Systeme werden dabei als soziotechnische Systeme verstanden, anhand derer sich das Zusammenspiel von Mensch, Aufgabe und Technik charakterisieren lässt (Teubner 1999).

Die Wirtschaftsinformatik wird oftmals in zwei Forschungsstränge gegliedert: Behaviorismus und Design Science (Hevner et al. 2004; Österle et al. 2010). Dem Behaviorismus werden Forschungsarbeiten zur Analyse und Beschreibung bestehender IT-Systeme und des Verhaltens der Benutzer dieser Systeme zugeordnet. Die Forschung im Bereich des Design Science beschreibt und betreibt die Entwicklung neuer IT-Systeme. Während das Ziel der WI entlang des behavioristischen Paradigmas im Verstehen und im Erlangen von neuen Erkenntnissen liegt, übernimmt die WI im Rahmen des Design Science einen Gestaltungsauftrag (Österle et al. 2010; Becker et al. 2004). Bei der Gestaltung entstehen sog. IT-Artefakte. Als solche gelten u.a. die Entwicklung von Vokabularen, Methoden und Modellen, Komplett- oder Teilinstanzierungen von Konzepten und der Bau von Prototypen (March und Smith 1995; Becker und Pfeiffer 2006; Vaishnavi und Kuechler 2015). Dieses Forschungsvorhaben ist nicht eindeutig dem Behaviorismus oder dem Design Science Research zuzuordnen. Wenngleich in den meisten der eingebrachten Beiträge Artefakte erstellt und beschrieben wurden, wurden in einzelnen Beiträgen auch ausschließlich verhaltensorientierte Ziele verfolgt. Insgesamt sind folgende Artefakt-Typen entstanden:

- *Modelle*: Modelle sind überwiegend in Form von Prozess- und Vorgehensmodellen für die Anwendung quantitativer Methoden in spezifischen Kontexten entwickelt worden.
- *Methoden*: Durch die Adaption, Variation und Weiterentwicklung sind insbesondere neue Bewertungsmethoden auf Basis der DEA entstanden.

- *Instanziierungen:* Zu Evaluations- und Vergleichszwecken wurden bekannte quantitative Methoden sowie neu geschaffene DEA-Analysemethoden in R (und in Teilen in MATLAB) implementiert.

Neben der Klassifikation gemäß der Zielsetzung der Beiträge – Erkenntnisziel vs. Gestaltungsziel – können diese auch nach der Art ihres impliziten oder expliziten Forschungsauftrags unterschieden werden. Becker et al. (2004) differenzieren hierfür zwischen dem methodischen Auftrag und dem inhaltlich-funktionalen Auftrag. Während dem methodischen Auftrag solche Erkenntnisse und Artefakte zuzuordnen sind, welche Methoden und Techniken fokussieren, stellt der inhaltlich-funktionale Auftrag auf das Verständnis und die Erstellung konkreter Informationssysteme in spezifischen Unternehmen und Branchen ab. Die Einordnung in der resultierenden Positionsmatrix ist in Abb. 1 dargestellt.

	Erkenntnisziel	Gestaltungsziel
Methodischer Auftrag	B4	B1 B5 B8
Inhaltlich-funktionaler Auftrag	B7	B2 B3 B6 B7

Abb. 1: Wissenschaftliche Einordnung (in Anlehnung an Becker et al. 2004)

Der Dissertation liegen in ähnlichem Maße methodische und inhaltlich-funktionale Forschungsaufträge zu Grunde. Insgesamt werden in den eingebrachten Beiträgen überwiegend Gestaltungsziele verfolgt. Hierbei werden unterschiedliche Artefakte erstellt. Die eingebrachten Beiträge lassen sich jedoch nicht eindeutig einem Quadranten zuordnen. Die Darstellung zeigt die Zuordnung unter Berücksichtigung der größten Übereinstimmung nach Auftrag und Zielen. Im Hinblick auf Beitrag B7 kann gleichermaßen für die Zuordnung zu Erkenntnis- und Gestaltungszielen argumentiert werden. Wengleich der Kerninhalt des Beitrags ein neues Geschäftsmodell auf Basis des 3D-Drucks ist (Gestaltungsziel), ist die Bewertung der Notwendigkeit quantitativer Methoden für dieses Geschäftsmodell Bestandteil der Situationsanalyse in den beteiligten Branchen (Erkenntnisziel). In der Darstellung ist dies durch die gestrichelten Linien berücksichtigt. Die eingebrachten Beiträge decken somit alle vier Sektoren der Positionsmatrix ab.

## 4 Methodik

### 4.1 Forschungsfragen

Aus den Überlegungen und Beschreibungen der ersten beiden Kapitel lässt sich die folgende übergeordnete Forschungsfrage für das Dissertationsvorhaben ableiten:

**FF:** *Wie können Unternehmen quantitative Methoden nutzen, um ökonomisch verwertbare Erkenntnisse aus vorhandenen Massendaten zu gewinnen und dauerhaft im zunehmenden Wettbewerb zu bestehen?*

Um diese Frage möglichst umfassend zu beantworten, ist es notwendig, sie in drei Teilforschungsfragen zu zerlegen, welche sich wiederum weiter untergliedern lassen. Zunächst

gilt es zu erheben, inwiefern die geschilderte Problematik in Wissenschaft und Praxis bereits bekannt ist und wie ggf. bereits darauf reagiert wird. Damit ergibt sich als erste Teilforschungsfrage:

**FF1:** *Welche Auswirkungen hat die Zunahme des Volumens und der Komplexität zu verarbeitender Daten auf die Entwicklung und Implementierung von IT-Systemen?*

Hierbei soll sowohl erarbeitet werden, welche konkreten Herausforderungen bereits Auswirkungen auf die IT-Entwicklung haben und wie sich diese gestalten. Zudem ist zu thematisieren, welche Möglichkeiten bereits im Hinblick auf die Bereitstellung von quantitativen Verfahren zur Datenverarbeitung und deren Integration in IT-Systeme bestehen. Mit der anschließenden Forschungsfrage werden speziell solche quantitativen Methoden untersucht, welche zur Optimierung bestehender Prozesse zur Leistungserstellung und -erbringung verwendet werden können.

**FF2:** *Wie können quantitative Methoden dazu eingesetzt werden, um bestehende Leistungserstellungsprozesse effizienter zu gestalten?*

An diese Teilforschungsfrage ist auch ein konkreter Gestaltungs- und Entwicklungsauftrag gekoppelt. Damit ist gemeint, dass nicht nur zu erheben ist, welche quantitativen Methoden existieren, sondern auch, wie diese anzuwenden und ggf. (weiter) zu entwickeln sind, um eine Effizienzsteigerung zu ermöglichen. Die abschließende Teilforschungsfrage hat die Entwicklung und Erschließung konkreter datenbasierter Geschäftsmodelle zum Thema.

**FF3:** *Wie können quantitative Methoden dazu genutzt werden, neue datenbasierte Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und bereitzustellen?*

Mit der Beantwortung dieser Teilfrage ist sowohl zu untersuchen, inwiefern die Integration quantitativer Methoden der Datenverarbeitung selbst ein neues Geschäftsmodell darstellen kann, als auch, inwiefern solche Verfahren als *Business Enabler* dienen können, um neue Technologien einsetzen oder neue Produkte und Dienstleistungen anbieten zu können.

## 4.2 Methodenspektrum

In Forschungsarbeiten der Wirtschaftsinformatik wird ein mannigfaltiges Instrumentarium unterschiedlicher Methoden eingesetzt. Die wissenschaftlich akzeptierten Methoden lassen sich auf verschiedenen Ebenen unterscheiden. Zum einen können die meisten Vorgehensweisen eindeutig einem der beiden Forschungsziele – Erkenntnisgewinn oder Gestaltung – zugeordnet werden. Dies wird häufig als die Makroebene beschrieben (Wilde und Hess 2007). Darüber hinaus werden qualitative und quantitative Methoden unterschieden. Während qualitative Methoden eher weniger formale Vorgehensweisen beinhalten, die einem dynamischen Forschungsprozess folgen, sind quantitative Methoden stark formalisiert. Qualitative Methoden dienen häufig der Erschließung bislang unbekannter, komplexer Sachzusammenhänge (Myers 2009). Quantitative Methoden werden demgegenüber zur Bewertung und Analyse (empirischer) Daten herangezogen (Recker 2013). Eine weitere Möglichkeit, die in der WI eingesetzten Forschungsmethoden zu unterscheiden, ist die Beschaffenheit des Erkenntnisprozesses. Hierbei werden Induktion und Deduktion gegenüber-

gestellt. Als Induktion bezeichnet man das Erschließen von allgemeingültigen Zusammenhängen auf Basis einzelner Beobachtungen. Deduktion bezeichnet die Ableitung von Regelmäßigkeiten aus einer Vielzahl von Beobachtungen. (Thomas 2006).

Zur Beantwortung der in Abschnitt 4.1 skizzierten Forschungsfragen wurden in den eingebrachten Beiträgen jeweils individuell geeignete Forschungsmethoden eingesetzt. Damit wird im Rahmen dieses Dissertationsvorhabens ein multimethodisches Forschungsvorgehen gewählt. In der Literatur wird dieses Vorgehen auch als „Mixed Methods“-Ansatz bezeichnet. Das Vorgehen erlaubt es, problemspezifische Verfahren auszuwählen und zu kombinieren (Mingers 2001, 2003; Johnson und Onwuegbuzie 2004; Venkatesh et al. 2013). In den einzelnen Beiträgen wurden folgende Methoden angewandt:

- *Literaturrecherche*: Die Literaturrecherche ist ein Kerninstrument wissenschaftlichen Arbeitens und wurde in allen eingebrachten Beiträgen angewandt. Sie dient der Orientierung in einem Forschungsgebiet und ggf. der Erschließung einer Wissensbasis, welche das Fundament für anschließende Forschungstätigkeiten bildet (Palvia et al. 2004). Durch das Zusammentragen von Erkenntnissen, die von spezifischer Relevanz für das angestrebte Forschungsvorhaben sind, kann ein State-of-the-Art erhoben werden. Ein entsprechendes Vorgehen skizziert Fettke (2006). Von Webster und Watson (2002) wurde darüber hinaus ein Standardvorgehensmodell für eine strukturierte Literaturrecherche vorgestellt, welches eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Literaturstudien ermöglicht.
- *Entwicklung von Vorgehens- und Bewertungsmodellen*: Modelle dienen zur abstrakten Abbildung realer oder erwarteter Sachverhalte. Durch den Einsatz von Modellen können Zusammenhänge erklärt und die Erkenntnis- und Verständnisprozesse insgesamt vereinfacht werden (Meise 2001). Der Modelbegriff der WI ist sehr breit gefasst. Modelle können auf verschiedene Arten erstellt werden und verschiedene Informationen enthalten. Ein Modell kann somit sowohl in der formalsprachlichen Abbildung von Geschäftsprozessen, als auch in der piktographischen Darstellung von Datenbankarchitekturen bestehen (March und Smith 1995). Im Rahmen der eingebrachten Beiträge wurden primär Vorgehensmodelle zum Einsatz quantitativer Methoden und konkrete, neue quantitative Bewertungsmethoden konstruiert und beschrieben.
- *Fallstudie*: Fallstudien dienen zur Bewertung und Veranschaulichung bestehender oder beschriebener Sachverhalte oder Modelle. In ihnen werden bspw. Thesen, Konstrukte oder Modelle im Rahmen eines real existierenden Szenarios, im Sinne eines natürlichen Vorkommnisses, überprüft und demonstriert (Mingers 2003). Sie stellen damit ein, ggf. weniger formales, Äquivalent der Methode der Demonstration dar. Fallstudien wurden u.a. zur Effizienzanalyse im deutschen Bankwesen und zur Veranschaulichung der Wirksamkeit von DevOps-Strategien verwendet.
- *Demonstration*: Die Methode und der Begriff der Demonstration wird insbesondere im Kontext des Design Science Research verwendet. Als Demonstration bezeichnet man den Nachweis, im Sinne eines Proof of Concept, dass ein erschaffenes Artefakt, bspw. in Form eines Prototyps einer neuen Technologie, im Sinne des Erschaffenden funktioniert (Peffers et al. 2007). In den eingebrachten Beiträgen wurde u.a. die Funktion von entwickelten und implementierten quantitativen Bewertungsmodellen zur Prozessleistungsanalyse demonstriert.
  - *Implementierung*: Die Implementierung von IT-Systemen, resp. die Entwicklung von Programmcode zur Einbettung neuer Methoden in IT-Systeme, ist von zentraler Bedeutung bei der Konstruktion und Bewertung von Artefakten. Im Rahmen von Forschungsarbeiten implementierter Programmcode entspricht dabei einem Prototyp (Wilde und

Hess 2007). In den eingebrachten Beiträgen sind verschiedene Prototypen implementiert worden. Diese reichen in ihrer Komplexität von wenigen Zeilen Programmcode für die Bereitstellung spezieller quantitativer Analyseverfahren auf bestehenden Rechnern, bis hin zur Entwicklung alleine lauffähiger Applikationen zur Erhebung, Verarbeitung und Präsentation von analysierender Daten über Webformulare.

### 4.3 Forschungsplan

Aus den vorangegangenen Überlegungen ergibt sich der in Abb. 2 dargestellte Forschungsplan, bestehend aus den aufgestellten Forschungsfragen und den eingesetzten Methoden. Die Teilforschungsfragen FF1 - FF3 wurden in jeweils zwei Teilprobleme untergliedert. Durch die Zusammenführung der Erkenntnisse aus der Bearbeitung dieser Teilprobleme wird die Beantwortung der übergeordneten Forschungsfrage ermöglicht.

<b>FF</b>	Wie können Unternehmen quantitative Methoden nutzen, um ökonomisch verwertbare Erkenntnisse aus vorhandenen Massendaten zu gewinnen und dauerhaft im zunehmenden Wettbewerb zu bestehen?
<b>FF1:</b>	Welche Auswirkungen hat die Zunahme des Volumens und der Komplexität zu verarbeitender Daten auf die Entwicklung und Implementierung von IT-Systemen?
<b>FF1a:</b>	Welche Auswirkungen sind bereits in der Praxis festzustellen?
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literaturrecherche</li> <li>• Fallstudie</li> </ul>
<b>FF1b:</b>	Wie können quantitative Methoden zur Datenverarbeitung einer breiten Masse zugänglich gemacht werden?
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Implementierung</li> <li>• Demonstration</li> </ul>
<b>FF2:</b>	Wie können quantitative Methoden in IT-Systemen dazu eingesetzt werden, um bestehende Leistungserstellungsprozesse effizienter zu gestalten?
<b>FF2a:</b>	Wie kann (Prozess-)Effizienz mit quantitativen Methoden gemessen werden?
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literaturrecherche</li> <li>• Implementierung</li> <li>• Fallstudie (resp. Demonstration einer Modelladaption)</li> </ul>
<b>FF2b:</b>	Wie können diese Verfahren zur aktiven Leistungssteuerung eingesetzt werden?
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung von Vorgehensmodellen</li> <li>• Implementierung</li> <li>• Demonstration</li> </ul>
<b>FF3:</b>	Wie können quantitative Methoden dazu genutzt werden, neue datenbasierte Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln und bereitzustellen?
<b>FF3a:</b>	Wie können quantitative Methoden als Business Enabler dienen, um neue Geschäftsmodelle zu erschließen?
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Literaturrecherche</li> <li>• Entwicklung von Vorgehensmodellen</li> </ul>
<b>FF3b:</b>	Wie können quantitative Methoden selbst zum Kern datenbasierter Geschäftsmodelle werden?
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Entwicklung von Vorgehensmodellen</li> <li>• (Teil-)Implementierung</li> <li>• (Teil-)Demonstration</li> </ul>

Abb. 2: Forschungsplan

## 5 Ergebnisse

### 5.1 Überblick

In dieses Dissertationsvorhaben werden insgesamt 8 Beiträge eingebracht. Eine Übersicht über die einzelnen Beiträge ist in Tabelle 1 dargestellt. Die wesentlichen Ergebnisse werden in den nachfolgenden Unterkapiteln beschrieben.

**Tab. 1.** Überblick über die für das Promotionsverfahren eingereichten Beiträge

#	Publikationsorgan	Medium	JQ3	WKWI	Bibliographische Informationen	FF
1	Omega	Journal	B	B	Varmaz, A., <b>Varwig, A.</b> & Poddig, T. (2013). Centralized resource planning and Yardstick competition. <i>Omega</i> , 41(1): S. 112-118.	2
2	Journal of Statistical Software	Journal	-	-	Varmaz, A., Fieberg, C. & <b>Varwig, A.</b> (2013). RMatlab-app2web: Web Deployment of R/MATLAB Applications. <i>Journal of Statistical Software</i> , 54(1): S. 1-11.	1
3	Zeitschrift für Bankrecht und Bankwirtschaft (ZBB)	Journal	C/D	-	Varmaz, A., <b>Varwig, A.</b> & Laudi, P. (2017). Zentrale Ressourcenverteilung in der Gesamtbanksteuerung: Eine DEA-Anwendung. <i>Zeitschrift für Bankrecht und Bankwirtschaft</i> , 29(1): S. 22-32.	2
4	HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik	Journal	D	B	Thomas, O., <b>Varwig, A.</b> , Kammler, F., Zobel, B. & Fuchs, A. (2017). DevOps: IT-Entwicklung im Industrie 4.0-Zeitalter. <i>HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik</i> , 54(2): S. 178-188.	1
5	INFORMATIK 2017. Lecture Notes in Informatics	Tagung	C	C	<b>Varwig, A.</b> , Kammler, F. & Thomas, O. (2017). Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service. In: Eibl, M. & Gaedke, M. (Hrsg.), <i>INFORMATIK 2017</i> . Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 1883-1890.	1-3
6	INFORMATIK 2017. Lecture Notes in Informatics	Tagung	C	C	<b>Varwig, A.</b> , Kammler, F. & Thomas, O. (2017). Responding to the Forecast. In: Eibl, M. & Gaedke, M. (Hrsg.), <i>INFORMATIK 2017</i> . Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 1793-1805.	3
7	Additive Manufacturing Quantifiziert	Buchbeitrag	-	-	<b>Varwig, A.</b> , Kammler, F. & Thomas, O. (2017). Geschäftsmodellevolution im Technischen Kundendienst des Maschinen- und Anlagenbaus durch additive Fertigung-Ersatzteilbereitstellung als smart Service. In Lachmayer, R. & Lippert, R.B. (Hrsg.): <i>Additive Manufacturing Quantifiziert</i> , S. 133-143. Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.	3
8	Operations Research Proceedings 2010	Tagung	-	-	Varmaz, A., <b>Varwig, A.</b> & Poddig, T. (2011). Centralized Super-Efficiency and Yardstick Competition – Incentives in Decentralized Organizations. In Morasch, K., Pickl, S., Siegle, M. (Hrsg.): <i>Operations Research Proceedings 2010</i> , S. 53-58, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.	2

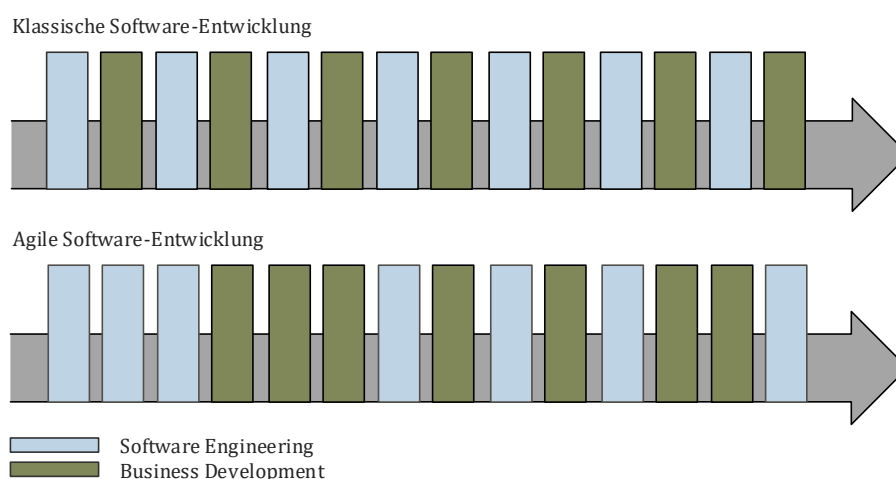
Der Großteil der eingebrachten Beiträge ist während der Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet für Informationsmanagement und Wirtschaftsinformatik der Universität Osnabrück entstanden. Dabei sind insbesondere Erkenntnisse aus der Mitarbeit im Projekt smartTCS eingeflossen. Einzelne Beiträge wurden während früherer Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter des Lehrstuhls für Allgemeine Betriebswirtschaftslehre, insbesondere Finanzwirtschaft an der Universität Bremen verfasst.

## 5.2 Big Data Analytics und dessen Auswirkungen auf die Informationstechnik

Die Veränderungen und Anforderungen, welche aus der zunehmenden Entstehung von Massendaten und dem damit einhergehenden wachsenden Bedürfnis, Zugriff auf Analysemethoden zu erhalten, resultieren (**FF1**), werden primär in den Beiträgen B2 und B4 adressiert. Ergebnisse mit direktem Bezug zu **FF1** sind außerdem auch in Beitrag B5 entstanden.

### 5.2.1 DevOps-Strategien in der Softwareentwicklung

Im Rahmen von Beitrag B4 wurde untersucht, inwiefern sich die IT-Entwicklung durch die Anforderung zur Verarbeitung von Massendaten verändert hat. Dabei wurden insbesondere die Veränderungen der Menge und Struktur unternehmenseigener Informationen und die interne Erwartungshaltung der Fachbereiche als Herausforderung ausgemacht. Mit steigender IT-Durchdringung gelten mehr denn je höchste Ansprüche an die Sicherheit, Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von IT-Systemen. Mit der Etablierung von DevOps-Strategien<sup>1</sup> wurde in der IT-Entwicklung eine Möglichkeit gefunden, um diesem Spannungsfeld gerecht zu werden.<sup>2</sup>



**Abb. 3:** Veränderung der Softwareentwicklung (in Anlehnung an Thomas et al. 2017)

Wenngleich die Umsetzung von DevOps Strategien vor allem in KMU noch immer schleppend verläuft, können immer weniger Unternehmen die Notwendigkeit zur Anpassung ihrer Entwicklungsstrategien ignorieren. Insbesondere nimmt die Bedeutung des Zeitfaktors rapide zu. Agile Entwicklungsstrategien, wie DevOps, ermöglichen es diesem Umstand Rechnung zu tragen. Sie stellen einen radikalen Umbruch in der industriellen IT-Entwicklung dar (Ravichandran et al. 2016). Der Unterschied zwischen dem klassischen IT-Entwicklungsprozess (im Sinne eines Wasserfallvorgehens) und der IT-Entwicklung im Rahmen einer DevOps-Strategie ist in Abb. 3 dargestellt.

<sup>1</sup> Der Begriff „DevOps“ ist eine Zusammenführung der englischen Begriffe „Development“ (dt.: Entwicklung) und „Operations“ (dt.: Betrieb). Heute gilt DevOps als Überbegriff für agile IT-Entwicklungsprozesse und Strategien (Thomas et al. 2017, S. 180).

<sup>2</sup> Die DevOps-Bewegung ist u.a. auf die wissenschaftlichen Diskussionen um „Agile System Administration“ und „Enterprise Systems Management“ zurückzuführen. Die grundsätzliche Idee hinter DevOps ist eine integrierte Zusammenarbeit der Entwicklungs- und Betriebsseite während der Entwicklung von IT-Applikationen und -Systemen (Thomas et al. 2017, S. 183f.).

Darüber hinaus konnte innerhalb des Beitrags im Rahmen einer Fallstudie zur IT-Entwicklung bei einem deutschen Lebensmittelhersteller aufgezeigt werden, welches immense Potenzial in der Adaption von agilen Entwicklungsstrategien liegt. In dem betrachteten Unternehmen wurde die Strategie in der IT-Entwicklung im Jahr 2012 bewusst dahingehend verändert, dass die Schaffung und Etablierung monolithischer Systeme vermieden wurde. Stattdessen wurden fortan kleine und Kleinstapplikationen mit eigenen fachlichen Aufgaben entwickelt. Dies hat zu einer erheblichen Verbesserung der Reaktionszeiten geführt. Während vormals mitunter komplette Release-Wechsel für die Erschließung neuer Funktionen, bspw. in ERP- und CRM-Softwarelösungen, notwendig war, können mittlerweile mehrere hundert Änderungen pro Jahr an den produktiven Anwendungen vorgenommen werden (Thomas et al. 2017, S. 182).

### 5.2.2 Webdienste zur Erschließung von Analysemethoden

Im Rahmen von Beitrag B2 wurde das Tool RMatlab-app2web entwickelt. Das Ziel der Toolentwicklung war es, einer breiten Masse an potentiellen Nutzern Zugriff auf die Anwendung verschiedener quantitativer Analyseverfahren zu bieten. Die Applikation ist plattformübergreifend, auf Windows- und Unix-Servern, betriebsfähig und besteht aus mehreren Komponenten. Zum einen wurden ausführbare Skripte für verschiedene Analyseverfahren implementiert. Hierzu wurden die Skriptsprachen MATLAB und R verwendet. Die implementierten Methoden beinhalten u.a. multivariate Regressionsmodelle und Preispfadsimulationen auf Basis von Monte-Carlo-Verfahren zur Bewertung von Finanzanlageprodukten. Zum anderen wurden in PHP ausführbare Skripte zur Weiterreichung der Ausgangsdaten, welche in Webformulare eingegeben werden können, an die MATLAB- und R-Serverdienste, sog. Common Gateway Interface (CGI) Skripte, erstellt.<sup>3</sup> Ein Webformular, welches durch das Tool bereitgestellt wird, ist in Abb. 4 dargestellt.

---

<sup>3</sup> Alle erstellten Skripte sind Bestandteil der Veröffentlichung und wurden im Data-Attachement des Beitrages zur Verfügung gestellt. Sie können unter <https://www.jstatsoft.org/index.php/jss/article/downloadSuppFile/v054i05/RMatlab-app2web.zip> abgerufen werden (Stand 29.05.2017).



INPUT:

Intent: This is a sample HTML form (POST method) to illustrate the mechanism of web application development using R (just R-base).  
Field of application: This example estimates a multiple linear regression model using OLS.

vY	mX
0.895271099577888	1, 0.615127926783762; 0.488865915892541
0.700385413671251	1; 0.685420096424219, 0.82948471383199
0.767911070536432	1, 0.314481155604522, 0.780845521491144
0.678777431594259	1, 0.588538697905052, 0.904341603404063
0.693481656742683	1, 0.984415958122989, 0.703952655947906
0.139902480092805	1, 0.397686640820553, 0.851134973907471
0.344517203342607	1, 0.019112295653907, 0.862976641486201
0.571804135098506	1, 0.277774075311338, 0.0244956878727995
0.510385778825077	1; 0.418348963250936; 0.553655233679542
0.306155032153048	1, 0.288174940102248, 0.725474113673334
0.647098619371856	1, 0.953487136779706, 0.958033124437661
0.405212770681274	1, 0.108383881838424, 0.549991092999571
0.964114567358722	1, 0.878176142304216, 0.4224972611468
0.000426599669920	1, 0.738522982335732, 0.628680599864962
0.081126626763832	1, 0.662546095969645, 0.894008869838733

Submit

Please enter a vector in vY as dependent variable and a vector or matrix in mX as independent variable(s).

**Attention:**

Do only use tab, comma or semicolon for column separation.

Do only use break line for row separation.

**Abb. 4:** Ansicht eines Webformulars aus RMatlab-app2web (Varmaz et al. 2013a, S. 7)

Das entwickelte Tool, resp. die Zusammenstellung der unterschiedlichen Skripte, hat mehrere Forschungslücken adressiert. Einerseits war den beteiligten Autoren zum Zeitpunkt der Applikationsentwicklung kein Tool bekannt, welches gleichermaßen die Anbindung von MATLAB- und R-Routinen an Webdienste ermöglicht. Ferner waren bis dato nur wenige Tools frei verfügbar, die über ein Mindestmaß an Benutzerfreundlichkeit und Bedienbarkeit über grafische Oberflächen geboten haben (Mineo und Pontillo 2006). Nicht zuletzt konnten die Tools, die frei verfügbar waren, entweder ausschließlich auf Unix- oder, in selteneren Fällen, ausschließlich auf Windows-Servern betrieben werden.

Für den Betrieb von RMatlab-app2web sind keinerlei spezielle Anpassungen an den jeweiligen Serverbetriebssystemen vorzunehmen. Lediglich die Installationen von MATLAB, R und eines beliebigen Webservers sind notwendig. (Für die Demonstration der Funktion des Tools wurde ein Apache HTTP Server in der Version 1.7.7 eingesetzt.) In Abhängigkeit zum eingesetzten Webserver müssen ggf. Berechtigungen für den Zugriff und die Ausführung der bereitgestellten Webformulare gesetzt werden. Die Funktion des entwickelten Tools wurde anhand verschiedener numerischer Beispiele demonstriert.

### 5.3 Quantitative Methoden in der unternehmerischen Leistungssteuerung

Inwiefern quantitativen Methoden eingesetzt werden können, um die Effizienz bestehender Prozesse der Leistungserstellung und -erbringung zu steigern (FF2), wird primär in den Beiträgen B1, B3 und B8 adressiert. Im Fokus der Beiträge standen dabei Methoden der Data Envelopment Analysis. In den einzelnen Beiträgen wurde die Anwendung verschiedener DEA-Bewertungsmodelle demonstriert. Darüber hinaus wurde, durch die Adaption be-

stehender DEA-Modelle, ein neues Bewertungsverfahren entwickelt: Die CRA-DEA-Supereffizienz. Das Konzept konnte durch Beitrag B1 in Omega zur Veröffentlichung gebracht werden.

### 5.3.1 Data Envelopment Analysis

Aufbauend auf den Überlegungen von Farrell (1957) wurde die Methodik der Data Envelopment Analysis von Charnes et al. (1978) und Banker et al. (1984) entwickelt, um die Umsetzung und Auswirkungen eines speziellen Bildungsprogrammes in den USA zu untersuchen. Seither wurde das Verfahren in verschiedensten Anwendungsgebieten eingesetzt, stets modifiziert und erweitert. Heute bezeichnet der Term nicht mehr nur eine einzelne Methode, sondern ein mächtiges Portfolio an Verfahren zur Leistungsanalyse. Sie ermöglichen es, über das Lösen eines oder mehrerer linearer Optimierungsprobleme (LP), eine Bewertung der Produktivität und Effizienz einzelner Entscheidungseinheiten (EE) eines großen Universums von Untersuchungsobjekten vorzunehmen.

Die Grundidee des Ansatzes ist es, einen Vergleich komplexer Produktionsprozesse vorzunehmen, der möglichst objektiv und umfassend die verfügbaren Informationen berücksichtigt und dennoch übersichtlich und eindeutig zu interpretieren ist. Bei der Analyse macht es keinen Unterschied, ob Organisationen, einzelne Produktionsprozesse oder ganze Volkswirtschaften verglichen werden. Alle Prozesse oder Organisationen, welche sich durch numerische Input- und Output-Faktoren hinreichend modellieren lassen, können bewertet werden. Der Leistungsvergleich mittels DEA wird durch ein hohes Maß an Informationsaggregation ermöglicht. Durch die Bildung von virtuellen Referenzprofilen werden die Informationen über Aufwendungen und Erträge einer EE zunächst komprimiert und anschließend mit den Leistungen ähnlicher EE verglichen. Unabhängig von der Quantität der verwendeten Informationen wird die Bewertung eines Untersuchungsobjektes somit auf eine einzige Kennzahl reduziert.

Seit der Einführung der DEA gehört die Bankeneffizienz zu den am häufigsten untersuchten Fragestellungen. Zumeist wurden in Interbankvergleichen die Leistungen von Gesamtbanken in verschiedenen Ländern bewertet. Im Rahmen des Beitrags B3 wurden die zentralen Erkenntnisse dieser Studien in Form einer umfassenden Literaturrecherche zusammengetragen und methodische Defizite klassischer DEA-Modelle im Kontext der Leistungsbewertung von Banken aufgezeigt. In der Literaturstudie wurde zunächst festgestellt, dass sich trotz der Vielzahl an veröffentlichten Bankeneffizienzanalysen kein einheitliches Bewertungsverfahren durchgesetzt hat und kein gemeinhin akzeptierter Leistungsbegriff in der Bankensteuerung etabliert wurde. Während die Wichtigkeit und Rolle einzelner Faktoren allgemein akzeptiert ist, wird vor allem die Rolle der Bankeneinlagen kontrovers diskutiert. Berger und Humphrey (1991, 1997) klassifizieren Bankeffizienzmodelle in zwei Gruppen: Die Produktivitätsmodelle und die Intermediationsmodelle. In Produktivitätsmodellen werden Einlagen als Output berücksichtigt. In Intermediationsmodellen gehen sie als Input in die Bewertung ein. Ein weiteres Bankeneffizienzmodell beschreiben Dyson et al. (2001): Den Profitansatz. Der Profitansatz wird insbesondere bei Analysen auf Filialebene zunehmend verwendet. Hierbei werden alle Bankerträge allen entstandenen Kosten gegenübergestellt. Zumeist werden die einzelnen Posten nach Kerngeschäften zusammengefasst, sodass das Bewertungsmodell aus wenigen Faktoren besteht. Im Gegensatz zum Intermediationsansatz und dem Produktivitätsansatz werden somit hauptsächlich Flussgrößen berücksichtigt. Einige Bank- und Bankfilialanalysen, welche den Profitansatz verwenden, bieten u.a. Sturm und Williams (2004), Drake et al. (2005), Pasiouras (2008) und Avkiran (2009).

Im Kontext der Bankleistungsbewertung wurden im Rahmen von Beitrag B3 zwei zentrale methodische Defizite der DEA-Basismodelle identifiziert. Weder sind sie in der Lage, mögliche Wechselwirkungen zwischen einzelnen Filialen zu berücksichtigen, noch ermöglichen sie eine globale Leistungsoptimierung potentiell zusammengehöriger EE. Gerade zwischen den Filialen einer Bank können jedoch erhebliche Wechselwirkungen bestehen. Da das normale DEA-Modell ausschließlich darauf abzielt, die individuelle Leistung einer Filiale zu verbessern, können Handlungsempfehlungen resultieren, die sich negativ auf den Handlungsspielraum anderer Filialen auswirken. Auch extreme Strategien können hierbei als individuell optimale Verhaltensweisen bestimmt werden. Darüber hinaus behindert die rein individuelle Leistungsbewertung eine globale Leistungsmaximierung. So lassen die Basismodelle bspw. ausschließlich die Reduktion von Ressourcen als Anpassungsstrategie zu. Die Möglichkeit des Verschiebens freier Ressourcen zu überdurchschnittlich produktiven Filialen, die bedeutsamste Möglichkeit eines zentralen Managements direkten Einfluss auf die Gesamtbankleistung auszuüben, ist nicht vorgesehen. Um diesen Defiziten in der Datenverarbeitung entgegen zu wirken, wurde in Beitrag B3 eine Adaption des CRA-DEA-Modells von Lozano und Villa (2004, 2005) vorgestellt, welche simultan einen internen und organisationsübergreifenden Leistungsvergleich ermöglicht. Die Wirksamkeit des Modells wurde anhand empirischer Leistungsdaten von 3 deutschen Genossenschaftsbanken veranschaulicht. Es konnte gezeigt werden, dass die Berücksichtigung von Interdependenzen im LP, dazu führt, dass den einzelnen Filialen Strategien vorgeschlagen werden, welche für die Gesamtbank, im Vergleich zur Bewertung mit klassischen DEA-Modellen, um ein Vielfaches vorteilhafter sind.

Obwohl Beitrag B3 erst deutlich später veröffentlicht wurde, sind die beschriebenen Überlegungen deutlich früher entstanden. Sie bilden die Basis für das in Beitrag B8 eingeführte und in Beitrag B1 weiterentwickelte Konzept der CRA-Supereffizienz. In der bis hierher beschriebenen Form eignen sich DEA-Methoden nur bedingt zur Leistungssteuerung. Zwar erlauben sie die Unterscheidung von effizienten und ineffizienten Leistungserstellungsprozessen und die Identifikation von optimalen Strategien für ineffizient operierende EE, Steuerungsimpulse für effiziente EE können jedoch nicht gesetzt werden.

### 5.3.2 CRA-DEA-Supereffizienz

Eine Möglichkeit der Leistungssteuerung mittels DEA ist in der Erstellung und dem Kommunizieren von Leistungsrankings gegeben. Als Leistungsrankings ist dabei das Erstellen einer Rangfolge der bewerteten Einheiten, basierend auf den gemessenen Leistungen, zu verstehen. Ein (DEA-) Performanceranking kann auf verschiedene Arten zur Steuerung eingesetzt werden. Zum einen können Leistungsrankings in der internen Entscheidungsfindung verwendet werden. Stehen bspw. bei einer anstehenden Entscheidung mehrere Alternativen zur Auswahl, so kann ein Ranking zur Entscheidungsfindung verwendet werden. Zum anderen können Leistungsrankings direkt zum Vergleich von EE verwendet werden. Für diesen Zweck haben Andersen und Petersen (1993) eine leichte Modifikation des DEA-Grundmodells entwickelt, die es ermöglicht den Gestaltungsspielraum, resp. das Ausmaß der Überperformance, einer effizienten EE zu quantifizieren. Das resultierende Leistungsmaß wird *Supereffizienz* genannt. Durch das Konzept der Supereffizienz ergeben sich zahlreiche neue Anwendungsgebiete für die DEA. So finden beispielsweise Supereffizienz-Rankings bei der Auswahl und Bewertung alternativer Investitionsmöglichkeiten Anwendung. In zahlreichen Studien wurden u.a. relative Bewertungen der Performances von Hedgefonds auf Basis des Supereffizienzmaßes durchgeführt (Gregoriou et al. 2005; Glawischnig und Sommersguter-Reichmann 2010). Darüber hinaus hat sich das Verfahren als nützliches Instrument zur Datensatzanalyse erwiesen. So kann das Auftreten von außergewöhnlich

hohen Supereffizienzwerten als ein Indiz für die Inhomogenität des Datensatzes, welche eine Verzerrung der Leistungsbewertung verursachen würde, gedeutet werden (Banker und Chang 2006).

Weil die Steuerungswirksamkeit von Rankings stark abhängig vom Anwendungsgebiet ist, wurde untersucht, inwiefern sich Supereffizienz-Maße mit einem direkt wirksamen Belohnungs- und Bestrafungsmechanismus verknüpfen lassen. Die Integration der DEA in solche Anreizmechanismen wurde erstmals von Bogetoft (1994) beschrieben. Basierend auf dem *Yardstick Competition*-Ansatz (YC) von Shleifer (1985), hat Bogetoft (1994, 1995, 1997, 2000), unter der Bezeichnung *DEA-Based Yardstick Competition* (DBYC), verschiedene Anreizmodelle entwickelt. Um künstlichen Wettbewerb zwischen Produktionseinheiten zu schaffen, welche ansonsten keinen regulierenden Marktkräften ausgesetzt sind, greift Bogetoft auf die Performanceindikatoren der DEA zurück. Die Verwendung der DEA als „Wettbewerbssurrogat“ bietet dabei zahlreiche Vorteile gegenüber der Vorgehensweise von Shleifer (1985) (Przybilla 2002, S. 119). Während das ursprüngliche YC-Modell bspw. auf die Gleichheit der zu regulierenden Firmen angewiesen ist, kann das DEA-basierte Verfahren begrenzte Heterogenität berücksichtigen. Dies hat zur Folge, dass größere Gruppen von Agenten verglichen werden können. Somit wird der Erfolg von strategischem Verhalten, insbesondere Absprachen, deutlich reduziert (Felder und Schmitt 2004, S. 360).

Basierend auf diesen Überlegungen wurden das Konzept der CRA-DEA Supereffizienz zur Leistungssteuerung eingeführt (B8) und weiterentwickelt (B1). Die resultierenden Logiken zur Berechnung sind im Folgenden dargestellt. Während in den Gleichungen (1a) - (1e) die Adaption des CRA-DEA-Modells unter Berücksichtigung historischer Leistungsdaten beschrieben wird, ist die Berechnung der CRA-DEA-Supereffizienzmaße in Gleichung (2) abgebildet.<sup>4</sup>

$$\min_{\Lambda, \Pi, \theta} \theta \quad (1a)$$

$$\text{s.t.: } [\mathbf{X}\Lambda + \mathbf{X}^+\Pi]\mathbf{e}_n \leq \theta\mathbf{X}\mathbf{e}_n \quad (1b)$$

$$[\mathbf{Y}\Lambda + \mathbf{Y}^+\Pi]\mathbf{e}_n \geq \mathbf{Y}\mathbf{e}_n \quad (1c)$$

$$[\Lambda^T\mathbf{e}_n] + [\Pi^T\mathbf{e}_z] = \mathbf{e}_n \quad (1d)$$

$$\Lambda, \Pi, \theta \geq 0 \quad (1e)$$

In der Lösung des LP (1a) - (1e) wird das optimal zu erreichende Inputniveau ( $\theta$ ) einer Organisation bestimmt, welche in verschiedenen Produktionsstätten (bspw. Filialen) produziert. Das optimal zu erreichende Niveau wird dabei unter der Berücksichtigung aller bekannten Produktionsprofile bestimmt. Ein Produktionsprofil setzt sich aus verschiedenen Inputs (X) und Outputs (Y) zusammen. Historische Profile, die bei der Berechnung berücksichtigt werden, sind durch ein + gekennzeichnet. Die Optimierung erfolgt durch die Variation der Gewichtungsmatrizen ( $\Lambda$  und  $\Pi$ ) und die damit einhergehende Bildung von Linearkombinationen aller Profile.

$$\theta_k^{SE1} = \frac{\tilde{\theta}}{\theta_k} \text{ bzw. } \theta_k^{SE2} = \frac{(1-\tilde{\theta}_k)}{(1-\tilde{\theta})} \quad (2)$$

<sup>4</sup> Die Gleichungen (1a) bis (1e) sind in Matrixschreibweise dargestellt. Sie bilden ein LP ab, welches aus  $n$  EE,  $z$  historischen Datensätzen,  $m$  Inputs und  $s$  Outputs besteht. So ist X bspw. von der Dimension ( $m \times n$ ). Summen werden über die Multiplikation mit dem Einheitsvektor  $\mathbf{e}$  gebildet. Für eine detaillierte Beschreibung des LPs siehe Varmaz et al. (2013b), S. 113f. (Beitrag B1).

Das in den Gleichungen (1a) - (1e) vorgestellte Effizienzmaß wird für die Bestimmung der CRA-DEA-Supereffizienz einer Filiale  $k$  nun zweimal berechnet. Einmal unter Berücksichtigung aller Leistungsprofile und ein zweites Mal während das Leistungsprofil der Filiale  $k$  aus dem Lösungsraum ausgeschlossen wird. Die CRA-DEA-Supereffizienz ergibt sich nun aus dem Verhältnis beider Optima gemäß Gleichung (2). In Gleichung (2) ist durch die  $\sim$  gekennzeichnet, dass es sich um bestimmte Optima handelt. Das so geschaffene Supereffizienzmaß erlaubt es, die relative Bedeutung einer Filiale für eine zusammengehörige Organisation zu bestimmen, bei der eine Ressourcenverschiebung über alle beinhalteten Organisationseinheiten möglich und gewollt ist. Es kann analog zum gewöhnlichen Supereffizienzmaß im DBYC-Modell von Bogetoft (1994, 1995, 1997, 2000) eingesetzt werden. Die Funktion und der Nutzen der CRA-DEA-Supereffizienz in der Leistungssteuerung wurde anhand verschiedener Analysen von Echtdateen unterschiedlicher Banken demonstriert.

## 5.4 Datenbasierte Geschäftsmodelle

Die Entwicklung und Beschreibung datenbasierter Geschäftsmodelle wurden vorwiegend in den Beiträgen B5, B6 und B7 thematisiert. Die resultierenden Ergebnisse werden nachfolgend zusammengefasst.

### 5.4.1 Predictive Maintenance und das digitale Ersatzteillager

In Beitrag B7 wird u.a. dargestellt, wie quantitative Methoden als Business Enabler für die Erschließung neuer Geschäftsmodelle dienen können. Kerninhalt des Beitrags ist die Beschreibung eines Konzepts zur flächendeckenden Adaption von additiven Fertigungsverfahren (AM) (von engl. Additive Manufacturing) im deutschen Maschinen- und Anlagenbau durch ein digitales Ersatzteillager. Die Entwurfsskizze des Konzepts ist in Abb. 5 dargestellt.

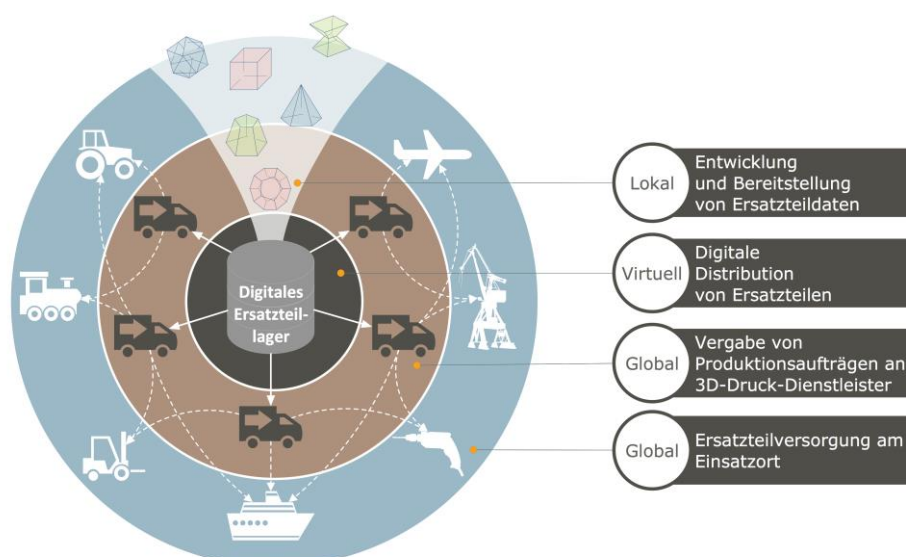


Abb. 5: Digitales Ersatzteillager (Varwig et al. 2017a, S. 138)

Um in der zunehmenden Wettbewerbsintensität zu bestehen, setzen deutsche Maschinen- und Anlagenbauer insbesondere auf die Verbesserung der Zuverlässigkeit ihrer Produkte. Im Fokus steht hierbei häufig die Anpassung von Wartungsdienstleistungen. Durch die Beschleunigung von Prozessabläufen und eine verbesserte Servicequalität können variable Kosten reduziert, mehr Kunden bedient und eine höhere Kundenzufriedenheit und -bindung erreicht werden. Nicht zuletzt gilt es auch direkte Kosten, welche durch Maschinenstillstände bei den Betreibern entstehen und den Herstellern in Rechnung gestellt werden können, zu vermeiden (Bacchetti und Sacconi 2012). Der Einsatz von AM kann es ermöglichen, die benötigte Zeit für die Bereitstellung von Ersatzteilen, u.a. durch die Vermeidung von Transportwegen, erheblich zu verkürzen. Eine weitere Zeitersparnis kann außerdem in solchen Fällen erzielt werden, in denen Ersatzteile mehrfach angepasst und verändert werden müssen (im Sinne eines Rapid Prototyping).

Damit AM jedoch in der Nähe des Maschinenstandortes dazu genutzt werden kann, Ersatzteile herzustellen, ist es notwendig, dass digitale Konstruktionsdaten des Ersatzteils vorhanden sind. Auch müssen die Ersatzteilhersteller Zugriff auf diese Informationen erhalten. Durch ein digitales Ersatzteillager können diese Erfordernisse bedient werden. Weil selbst moderne AM-Verfahren auch heute noch sehr zeitintensiv sind, ist es notwendig, den Ersatzteilbedarf frühzeitig zu erkennen. Zu diesem Zweck setzen Unternehmen vermehrt sog. Predictive Maintenance Konzepte um. Durch die permanente Auswertung vieldimensionaler Sensordaten und die stetige Weiterentwicklung von Analysealgorithmen ist es möglich, den Maschinenzustand immer genauer zu überwachen und Wartungsmaßnahmen bedarfsnah auszulösen.

Vor diesem Hintergrund wurden in Beitrag B6 verschiedene quantitative Methoden zur automatisierten Maschinendiagnostik und Ausfallvorhersage untersucht. Im Fokus standen dabei insbesondere Neuronale Netze, welche sich in besonderem Maße zur Musteranalyse in hochfrequenten Sensordaten eignen. In einer Literaturstudie wurden zunächst die Unterschiede zwischen den verschiedenen Typen von Neuronalen Netzen erarbeitet. Dabei wurden die Anwendungsmöglichkeiten, die bereitzustellenden Inputdaten, die zu erwartenden Erkenntnisse sowie die grundsätzlichen Vor- und Nachteile der Verfahren gegenübergestellt. Um Aussagen über die Eignung einzelner Neuronaler Netze für die Maschinenzustandsdiagnostik abzuleiten, wurden anschließend verschiedene Anwendungsberichte und -studien aufbereitet. Dabei wurden zwei zentrale Herausforderungen für die Entwicklung von automatisierten Diagnosesystemen auf Basis Neuronaler Netze identifiziert.

Zum einen gilt es, die physische Positionierung von Sensormesspunkten zu optimieren. Durch eine suboptimale Positionierung von Sensoren werden vermeidbare Redundanzen erzeugt, welche Analysealgorithmen vor große Probleme stellen können. Dies kann bspw. dann auftreten, wenn zwei Temperatursensoren Daten in unmittelbarer Nähe erfassen. Durch die (annähernd) vollständige Korrelation dieser Temperaturdaten wird die Mustererkennung erheblich erschwert. Andererseits kann scheinbare Redundanz auch gewollt sein. Erheben die Temperatursensoren bspw. die gleichen Temperaturen an unterschiedlichen Positionen der Anlage, so liefern sie zwar die gleichen Daten, jedoch nicht die selben Informationen. Dies muss bei der Positionierung der Sensoren berücksichtigt werden. Die zweite große Herausforderung in der automatisierten Diagnostik besteht in der Definition der zulässigen Komplexität der Maschinenzustände. Im Rahmen der Diagnose werden die meisten Neuronalen Netze zur Klassifikation eingesetzt. D.h., sie weisen die Zustandsinformationen eines bestimmten Zeitpunkts einer vorab definierten Kategorie zu. Auch hier gilt es, das optimale Maß an Komplexität zu finden und ein Set an Zustandskategorien zu definieren, welches ausreichende Unterscheidungsmöglichkeiten bietet und gleichzeitig zuverlässig zugewiesen werden kann.

### 5.4.2 Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service

Ein datenbasiertes Geschäftsmodell, welches die Fähigkeiten der DEA ausnutzen kann, wurde in Beitrag B5 vorgestellt: Benchmarking-as-a-Service (BaaS). BaaS kann dazu genutzt werden, um dezentrale Datensilos zu harmonisieren und ein unternehmensübergreifendes Informationssystem aufzubauen. Das vorgestellte Einsatzszenario dabei ist der Maschinen- und Anlagenbau. Hier herrscht in vielen Fällen Informationsasymmetrie zwischen den Herstellern und Betreibern von Anlagen. Obwohl die Hersteller stets bestrebt sind, detailliertere Betriebsinformationen über die eigens hergestellten Maschinen zu erlangen und entsprechend umfangreiche Sensorik- und Archivierungsinstrumente verbauen, haben sie selten einen vollständigen Zugriff auf diese Informationen. Insbesondere dann, wenn ein Hersteller gleichartige Maschinen für verschiedene, in Konkurrenz stehende Betreiber liefert, verweigern die Betreiber häufig die Herausgabe ihrer Betriebsdaten an die Maschinenhersteller. Im Rahmen des Beitrags B5 wurde dieses Dilemma am Beispiel eines deutschen Druckanlagenherstellers veranschaulicht.

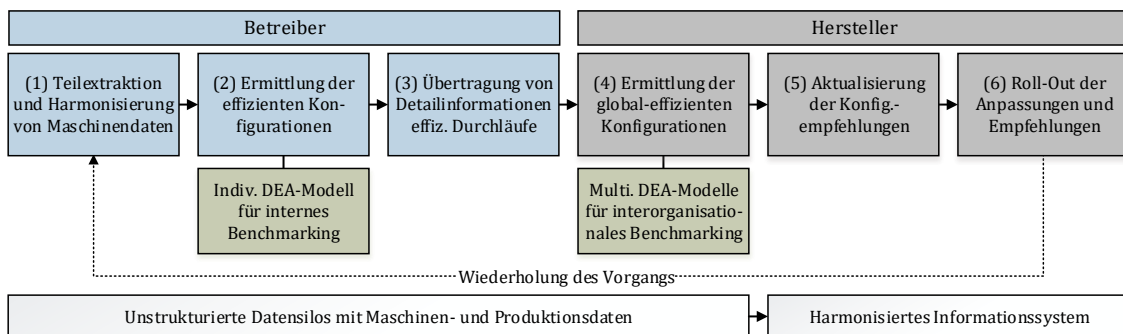


Abb. 6: Datenintegration durch BaaS (in Anlehnung an Varwig et al. 2017b)

Während die Anlagenhersteller über die benötigten methodischen Fachkenntnisse und Detailinformationen über die Maschinenkonstruktion verfügen, um die Betriebsdaten der Maschine auszuwerten, fehlen das entsprechende Wissen und die benötigten Infrastrukturen auf Betreiberseite häufig. Dies hat zur Folge, dass eine Vielzahl von ungenutzten Datensilos entsteht. Mit zunehmender Betriebsdauer werden diese Datenspeicher unübersichtlicher. BaaS ist ein neues Geschäftsmodell für die Anlagenhersteller, mit dem sie die Betreiber zum Teilen ihrer Betriebsinformationen bewegen könnten. Die Kernidee des 6-stufigen Vorgehensmodells zur Datenintegration durch BaaS ist die Unterscheidung von nützlichen und rein zu archivierenden Betriebsdaten. Als nützlich gelten dabei all solche Betriebsinformationen, die während der – aus der innerbetrieblichen Perspektive eines jeweiligen Betreibers – effizienten Maschinenkonfiguration entstanden sind. Durch die Bereitstellung dieser nützlichen Betriebsdaten auf einer betreiberübergreifend genutzten Informationsplattform, können die Anlagenhersteller individuelle Empfehlungen für die Anpassung von Maschinenkonfigurationen ableiten und übermitteln.

Die DEA kommt in diesem Anwendungsfall, wie in Abb. 6 dargestellt, zweimal zum Einsatz. Zum einen wird beim Anlagenbetreiber ein internes Benchmarking der Maschinenleistungen durchgeführt. Hierbei kann ein betreiberspezifischer Leistungsbegriff vorgegeben und ein entsprechendes Bewertungsmodell konstruiert und berechnet werden. Dadurch werden diejenigen Maschinendurchläufe identifiziert, welche unter einer effizienten Konfiguration der Maschine erfolgt sind. Die entsprechenden Daten – dies beinhaltet alle Be-

triebsdaten dieser Durchläufe, auch solche, welche nach dem Leistungsverständnis des Betreibers zu vernachlässigen sind – werden nun in das Informationssystem des Anlagenherstellers übertragen. Im nächsten Schritt wird durch den Anlagenhersteller eine Vielzahl von Effizienzanalysen, mindestens eine pro unterschiedlichem Leistungsverständnis der Betreiber, mit den Daten aller am BaaS teilnehmenden Unternehmen durchgeführt. So kann festgestellt werden, ob die einzelnen Konfigurationen auch im interorganisationellen Leistungsvergleich effizient gelten würden. Falls dies nicht der Fall ist, können entsprechende Anpassungsempfehlungen je Leistungsverständnis bestimmt werden. Während der Vorteil für die Betreiber hier in einer potentiellen Leistungssteigerung bei gleichzeitigem Einblick in die Konfigurationen anderer Maschinenbetreiber besteht, können die Anlagenhersteller nicht nur eine neue Dienstleistung anbieten, sie können die gewonnenen Informationen außerdem für weitere Analysen und ggf. weitere datenbasierte Geschäftsmodelle einsetzen.

## 6 Implikationen

Auf Basis der einzelnen Beiträge lassen sich verschiedene wissenschaftliche Implikationen konstatieren. So stellen die Beiträge B1 und B8 eine neue Methode des quantitativen Benchmarkings und eine Ergänzung der wissenschaftlichen Diskussion um die Data Envelopment Analysis insgesamt dar. Durch die Adaption und Integration bekannter DEA-Verfahren konnte ein neuer Leistungsindikator konstruiert werden, welcher eine objektive Bewertung des Beitrags und der Relevanz einzelner Entitäten eines Unternehmens für die Gesamtleistung der Organisation ermöglicht. Dieses Verfahren wird noch weiterzuentwickeln sein, bspw. im Hinblick auf die Fähigkeit mit zufällig verzerrten oder unvollständigen Daten umgehen zu können.

Darüber hinaus ist für einen breiten Einsatz von Benchmarking-Methoden wie der DEA eine Definition von Standardleistungsbegriffen notwendig. Wenngleich diese Methoden auch hochindividuelle Leistungsbegriffe und -prozesse abbilden können, kann die Auswahl leistungsrelevanter Informationen, insbesondere für solche Unternehmen, die Leistung bislang ausschließlich anhand monetärer Kennzahlen bemessen haben, einen erheblichen Aufwand darstellen und von der Umsetzung neuer Verfahren abhalten. Die Erhebung und Definition von Standarddatenmodellen stellt auch für die Forschung zur optimierten Wartungsplanung (im Sinne von PM) und in der Maschinendiagnostik eine große Herausforderung dar. Insbesondere gilt es hierbei Strukturen zu schaffen, die von vielen Unternehmen unterschiedlicher Branchen in gleichem Maße genutzt werden können. Im Fokus steht dabei u.a. auch die Etablierung neuer Methoden zur Harmonisierung unterschiedlicher Signalfrequenzen.

Insgesamt muss es ein künftiges Ziel der wissenschaftlichen Diskussion sein, den Zugang zu neuem Methodenwissen in der unternehmerischen Praxis zu vereinfachen. Es müssen Lehr- und Publikationskonzepte entwickelt werden, welche die Übertragung neuester wissenschaftlicher Erkenntnisse ermöglichen und die Anwender gleichzeitig nicht überfordern. Nur solche Methoden, welche ohne Expertenwissen zu verstehen sind, werden in der Praxis akzeptiert werden. Gleichzeitig ist es jedoch notwendig, eine zu starke Vereinfachung quantitativer Analyseverfahren zu vermeiden, um deren Leistungsfähigkeit nicht nachhaltig negativ zu beeinflussen.

Die Erschließung von Analysemethoden durch eine breite Masse an Unternehmen und Anwendern führt mittelfristig zu einem tieferen Verständnis über die eigene Leistungserbringung und birgt das Potenzial zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle. Moderne quantitative Methoden ermöglichen so das Anbieten von intelligenten Dienstleistungen am komplexen Produkt und stärken das Ertragspotenzial bestehender Produkt-Service-Systems.



Diese können u.a. in der Umsetzung des beschriebenen digitalen Ersatzteillagers und in dem Konzept BaaS bestehen. Gleichzeitig führt die analytische Massendatenverarbeitung zu einer Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit, insbesondere von kleinen und mittleren Unternehmen. Die beschriebenen und entwickelten DEA-Methoden können zur Effizienzsteigerung in der Leistungserstellung und -erbringung genutzt werden und ermöglichen die Optimierung des Ressourceneinsatzes. Wenngleich derartige Formen der Effizienzsteigerung zu einem Personalabbau führen können, sichern die entsprechenden Maßnahmen langfristig den Erhalt von Arbeitsplätzen in Deutschland.

Die voranschreitende Digitalisierung und die Implementierung von Analyseverfahren führen zu einer grundsätzlichen Veränderung der Wertschöpfung, der zur erledigenden Arbeitsschritte und der Anforderung an die Qualifikation von Arbeitskräften. Für Unternehmen ist es daher unumgänglich, entsprechende Maßnahmen in der Personalplanung zu berücksichtigen und neue Mitarbeiter mit methodischem Wissen, sog. Data Scientists, anzuwerben und einzustellen. Gleichzeitig ist es notwendig, vorhandene Mitarbeiter zu Schulen, damit sie nicht durch die veränderten Aufgabenstellungen abgehängt werden.

## 7 Limitationen

Limitationen der hier dargestellten Forschungsarbeit sind u.a. im Fokus der erforschten und entwickelten statistischen Methoden zu sehen. Zum einen wird ein breites Spektrum an quantitativen Methoden für die Lösung der dargestellten Herausforderungen in der wissenschaftlichen Literatur diskutiert, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht, bzw. nur am Rande, thematisiert wurden. In der unternehmerischen Leistungssteuerung gelten u.a. Kennzahlensysteme, wie die „Balanced Scorecard“, oder ökonomische Konzepte, wie der „Economic Value Added“, als wirksame und etablierte Methoden. Auch im Hinblick auf datenbasierte Dienstleistungen und Geschäftsmodelle wie PM wird in der wissenschaftlichen Literatur neben der Anwendung von Neuronalen Netzen ein breites Portfolio an quantitativen Methoden vorgeschlagen.

Zum anderen stellt die rein quantitative Datenanalyse nur einen Aspekt der effektiven Umsetzung einer Smart Enterprise Analytics Lösung dar. Eine weitere zentrale Herausforderung liegt in der automatisierten Wissensextraktion aus unstrukturierten Textinformationen. So werden bspw. in der Maschinendiagnostik noch heute Informationen aus manuell erfassten Wartungs- und Arbeitsberichten oftmals vernachlässigt. Daneben ist die informationstechnische Erschließung von Verfahren des Text Minings auch in anderen Anwendungsszenarien unabdingbar. Die gilt u.a. für das Social Media Marketing in der Imagekampagnensteuerung oder in der Interfaceentwicklung für Lösungen in den Bereichen Connected Car und Autonomes Fahren (Agarwal und Dhar 2014).

Auch im Hinblick auf die Betrachtung der DEA als Hauptinstrument zur Effizienzverbesserung bestehender Prozesse selbst, können Limitationen ausgemacht werden. Neben, im Vergleich zu klassischen Methoden der Leistungsbewertung und -steuerung, zahlreichen Stärken, insbesondere durch die immense Informationsverdichtung, die Objektivität und die umfassende Informationsverarbeitung, weisen bisherige DEA-Modelle noch Mängel auf. Die Defizite sind insbesondere in der Datenabhängigkeit der Methoden, als auch in der Perspektive der Optimierungsverfahren zu sehen. Als nicht parametrische Verfahren sind DEA-Methoden bspw. stark abhängig von der Genauigkeit und Richtigkeit der verwendeten Informationen (Dyson et al. 2001). Zufällige Abweichungen können bislang nicht berücksichtigt werden und führen zu falschen Leistungsbeurteilungen. Insbesondere dann, wenn zu vergleichenden EE im Wettbewerb stehen, ist die Vollständigkeit und Richtigkeit der verfügbaren Informationen nur schwer zu gewährleisten.

Nicht zuletzt wurden in den einzelnen Beiträgen nur Vorgehensmodelle und erste, prototypische Instanziierungen dargestellt. Eine langfristige Bewertung der Wirksamkeit dieser Methoden und die praktische Umsetzung einzelner Vorgehensmodelle stehen noch aus.

## 8 Zusammenfassung

Die stetige Zunahme an zu verarbeitenden Daten hat die IT-Entwicklung bereits grundsätzlich verändert. Dies wurde in Beitrag B4 dargestellt. Insbesondere im Hinblick auf die Notwendigkeit, die Anforderungen von Fachabteilungen in immer kürzeren Reaktionszeiten umsetzen zu können, werden sog. DevOps-Strategien in der IT-Entwicklung umgesetzt. Dies führt dazu, dass sich die klassische Rollenverteilung verändert und Entwickler, Tester und Fachabteilungen stärker zusammenrücken. Mit RMatlab-app2web wurde im Rahmen von Beitrag B2 im Hinblick auf FF1 zudem ein Tool entwickelt und vorgestellt, welches einer breiten Maße potentieller Nutzer Zugang zu Analyseverfahren bereitstellen kann.

Mit der Adaption und Weiterentwicklung von DEA-Methoden wurden in den Beiträgen B1, B3 und B8 Verfahren zur Effizienzanalyse und Leistungssteigerung bestehender Prozesse zur Leistungserstellung und -erbringung, im Sinne von FF2, vorgestellt. Die DEA, insb. das eigens entwickelte Konzept der CRA-Supereffizienz, kann ein Instrument zum aktiven Leistungsmanagement in dezentralen Organisationen darstellen. Die entwickelten Bewertungs- und Analyseverfahren sind in der Lage, spezifische Abhängigkeiten zwischen zu bewertenden Leistungserstellern zu berücksichtigen und erlauben eine objektive und reproduzierbare, quantitative Bewertung der Bedeutsamkeit einzelner Leistungsersteller für die Gesamtleistung einer Organisation. Leistungsanreize können bspw. durch die Einbettung in leistungsorientierte Vergütungssysteme erzielt werden.

Quantitative Methoden können nicht nur zur Verbesserung bestehender Produkte und Dienstleistungen eingesetzt werden. Dies konnte im Rahmen der Beantwortung von FF3 insbesondere in den Beiträgen B5, B6 und B7 dargestellt werden. Quantitative Methoden ermöglichen so bspw. deutlich mehr als die Optimierung von Wartungsplänen und die Umsetzung von PM-Konzepten. Sie dienen gleichzeitig als Enabler, um neue Geschäfts- und Kooperationsmodelle, wie ein Digitales Ersatzteillager, anbieten zu können und die flächendeckende Erschließung neuer Technologien, wie dem 3D-Druck, zu erleichtern. Das in Beitrag B5 vorgestellte Benchmarking-as-a-Service ist ein solches, neues Geschäftsmodell, welches die Methoden der DEA nutzt.

Die entwickelte Wissensbasis stellt einen Anfang für die Umsetzung des Konzepts Smart Enterprise Analytics dar. Neben der konkreten Implementierung einzelner Komponenten der beschriebenen Lösungen und Vorgehensmodelle und Langzeitstudien über deren Wirksamkeit und Rentabilität, bieten sich auch die Erschließung weiterer quantitativer Methoden aus der Perspektive der WI und die Entwicklung weiterer Geschäftsmodelle für nachfolgende Forschungsvorhaben an.

## 9 Literatur

- Agarwal, R., Dhar, V. (2014) Big Data, Data Science, and Analytics: The Opportunity and Challenge for IS Research. *Information Systems Research*, 25 (3): S. 443-448.
- Andersen, P., Petersen, N. C. (1993) A Procedure for Ranking Efficient Units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 39 (10): S. 1261-1264.
- Avkiran, N. K. (2009) Opening the black box of efficiency analysis: An illustration with UAE banks. *Omega*, 37 (4): S. 930-941.
- Bacchetti, A., Saccani, N. (2012) Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice. *Omega*, 40 (6): S. 722-737.
- Banker, R., Charnes, A., Cooper, W. (1984) Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30: S. 1078-1092.
- Banker, R., Chang, H. (2006) The super-efficiency procedure for outlier identification, not for ranking efficient units. *European Journal of Operational Research*, 175 (2): S. 1311-1320.
- Becker, J., Holten, R., Knackstedt, R., Niehaves, B. (2004) Epistemologische Positionierungen in der Wirtschaftsinformatik am Beispiel einer konsensorientierten Informationsmodellierung. In Frank, U. (Hrsg.) *Wissenschaftstheorie in Ökonomie und Wirtschaftsinformatik*. Wiesbaden, Deutscher Universitätsverlag, S. 335-336.
- Becker, J., Pfeiffer, D. (2006) Beziehungen zwischen behavioristischer und konstruktionsorientierter Forschung in der Wirtschaftsinformatik. In Zelewski, S., Akca, N. (Hrsg.) *Fortschritt in den Wirtschaftswissenschaften*. Wiesbaden, DJV, S. 1-17.
- Berger, A.N., Humphrey, D. B. (1991) The dominance of inefficiencies over scale and product mix economies in banking. *Journal of Monetary Economics*, 28 (1): S. 117-148.
- Berger, A.N., Humphrey, D.B. (1997) Efficiency of financial institutions: International survey and directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 98 (2): S. 175-212.
- Bogetoft, P. (1994) Incentive Efficient Production Frontiers: An Agency Perspective on DEA. *Management Science*, 40 (8): S. 959-968.
- Bogetoft, P. (1995) Incentives and productivity measurements. *International Journal of Production Economics*, 39: S. 67-81.
- Bogetoft, P. (1997) DEA-Based Yardstick Competition: The Optimality of Best Practice Regulation. *Annals of Operations Research*, 73: S. 277-298.
- Bogetoft, P. (2000) DEA and Activity Planning under Asymmetric Information. *Journal of Productivity Analysis*, 13: S. 7-48.
- Burr, W. (2014) III. Modularisierung, Leistungstiefengestaltung und Systembündelung bei technischen Dienstleistungen. *Markt- und Unternehmensstrukturen bei technischen Dienstleistungen*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 11-42.
- Charnes, A., Cooper, W.W., Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2 (6): S. 429-444.
- Däuble, G., Özcan, D., Niemoeller, C., Fellmann, M., Nüttgens, M., Thomas, O. (2015) Information Needs of the Mobile Technical Customer Service - A Case Study in the Field of Machinery and Plant Engineering. *IEEE*, S. 1018-1027.
- Drake, L., Hall, M., Simper, R. (2005) The Impact of Macroeconomic and Regulatory Factors on Bank Efficiency: A Non-Parametric Analysis of Hong Kong's Banking System. *Hong Kong Institute for Monetary Research*, S. 1443-1466.
- Dyson, R.G., Allen, R., Camanho, A.S., Podinovski, V.V., Sarrico, C.S., Shale, E.A. (2001) Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of Operational Research*, 132 (2): S. 245-259.

- Farrell, M. (1957) The measurement of productive efficiency. *Journal of the Royal Statistical Society*, 120 (3): S. 253-290.
- Felder, S., Schmitt, H. (2004) Data envelopment analysis based bonus payments: Theory and application to inpatient care in the German state of Saxony-Anhalt. *The European Journal of Health Economics*, 5 (4): S. 357-364.
- Ferstl, O.K., Sinz, E.J. (2013) *Grundlagen der Wirtschaftsinformatik*. 7., aktualisierte Auflage, München, Oldenbourg.
- Fettke, P. (2006) State-of-the-Art des State-of-the-Art: Eine Untersuchung der Forschungsmethode „Review“ innerhalb der Wirtschaftsinformatik. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK*, 48 (4): S. 257-266.
- Glawischnig, M., Sommersguter-Reichmann, M. (2010) Assessing the performance of alternative investments using non-parametric efficiency measurement approaches: Is it convincing? *Journal of Banking & Finance*, 34 (2): S. 295-303.
- Gregoriou, G.N., Sedzro, K., Zhu, J. (2005) Hedge fund performance appraisal using data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 164 (2): S. 555-571.
- Hevner, A.R., March, S.T., Park, J., Ram, S. (2004) Design Science in Information Systems Research. *MIS Q.*, 28 (1): S. 75-105.
- Huber, D., Kaiser, T. (2015) Wie das Internet der Dinge neue Geschäftsmodelle ermöglicht. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 52 (5): S. 681-689.
- Johnson, R. Burke, Onwuegbuzie, A.J. (2004) Mixed Methods Research: A Research Paradigm Whose Time Has Come. *Educational Researcher*, 33 (7): S. 14-26.
- Keck, M., Mertes, S. (2015) Einfluss der Digitalisierung auf die Bankfiliale – neue Technologien für mehr Kundennähe. In Seidel, M., Liebetrau, A. (Hrsg.) *Banking & Innovation 2015*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 195-200.
- Lachmayer, R., Lippert, R.B., Fahlbusch, T. (2016) *3D-Druck beleuchtet: Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung*. Berlin, Springer Berlin Heidelberg.
- Lieberknecht, J. (2016) Digitalisierung und Regulierung: Katalysatoren eines sich wandelnden Bankgeschäftes. In Hellenkamp, D., Fürderer, K. (Hrsg.) *Handbuch Bankvertrieb*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 25-37.
- Lozano, S., Villa, G. (2004) Centralized resource allocation using data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 22: S. 143-161.
- Lozano, S, Villa, G (2005) Centralized DEA models with the possibility of downsizing. *Journal of the Operational Research Society*, 56 (4): S. 357-364.
- Malleck, H., Mecklenbräuker, C. (2015) Die Digitalisierung des Verkehrs – Mobilität 4.0. e & i *Elektrotechnik und Informationstechnik*, 132 (7): S. 371-373.
- March, S.T., Smith, G.F. (1995) Design and natural science research on information technology. *Decision Support Systems*, 15 (4): S. 251-266.
- Meise, V. (2001) *Ordnungsrahmen zur prozessorientierten Organisationsgestaltung: Modelle für das Management komplexer Reorganisationsprojekte*. Hamburg, Kovač.
- Mertens, P., Barbian, D. (2015) Researching “Grand Challenges”: A “Grand Challenge”. *Business & Information Systems Engineering*, 57 (6): S. 391-403.
- Metzger, D., Niemöller, C., Berkemeier, L., Brenning, L., Thomas, O. (2017) Vom Techniker zum Modellierer – Konzeption und Entwicklung eines Smart Glasses Systems zur Laufzeitmodellierung von Dienstleistungsprozessen. In Thomas, O., Nüttgens, M., Fellmann, M. (Hrsg.) *Smart Service Engineering*. Wiesbaden, Springer Fachmedien Wiesbaden, S. 193-213.
- Mineo, A.M., Pontillo, A. (2006) Using R via PHP for Teaching Purposes: R-php. *Journal of Statistical Software*, 17 (4), S. 1-20.

- Mingers, J. (2001) Combining IS Research Methods: Towards a Pluralist Methodology. *Information Systems Research*, 12 (3): S. 240-259.
- Mingers, J. (2003) The paucity of multimethod research: a review of the information systems literature. *Information Systems Journal*, 13 (3): S. 233-249.
- Myers, M.D. (2009) *Qualitative research in business and management*. Los Angeles, SAGE.
- Niemöller, C., Metzger, D., Fellmann, M., Özcan, D., Thomas, O. (2016) Shaping the Future of Mobile Service Support Systems – Ex-Ante Evaluation of Smart Glasses in Technical Customer Service Processes. In Mayr, H.C., Pinzger, M. (Hrsg.) *Informatik von Menschen für Menschen (Informatik 2016)*. Klagenfurt, Österreich, S. 753-767.
- Österle, H., Becker, J., Frank, U., Hess, T., Karagiannis, D., Krcmar, H., Loos, P., Mertens, P., Oberweis, A., Sinz, E.J. (2010) Memorandum zur gestaltungsorientierten Wirtschaftsinformatik. *Schmalenbachs Zeitschrift für betriebswirtschaftliche Forschung*, 62 (6): S. 664-672.
- Özcan, D., Fellmann, M., Thomas, O. (2014): Towards a Big Data-based Technical Customer Service Management. In: Plödereder, E., Grunske, L., Schneider, E., Ull, D. (Hrsg.): 44. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik – INFORMATIK 2014, Big Data – Komplexität meistern, LNI, Volume P-232, Bonn, Köllen, S. 187-198.
- Palvia, P., Leary, D., Mao, E., Midha, V., Pinjani, P., Salam, A. (2004) Research methodologies in MIS: an update. *Communications of the Association for Information Systems*, 14 (1): S. 526-542.
- Pasiouras, F. (2008) Estimating the technical and scale efficiency of Greek commercial banks: The impact of credit risk, off-balance sheet activities, and international operations. *Research in International Business and Finance*, 22 (3): S. 301-318.
- Peffer, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M.A., Chatterjee, S. (2007) A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, 24 (3): S. 45-77.
- Przybilla, R.P. (2002) *Benchmarking als Wettbewerbssurrogat in der öffentlichen Abfallwirtschaft*. Josef Eul Verlag.
- Ravichandran, A., Taylor, K., Waterhouse, P. (2016) *Practical DevOps. DevOps for Digital Leaders*. Berkeley, CA, Apress, S. 125-137.
- Recker, J. (2013) *Scientific Research in Information Systems*. Berlin, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
- Seufert, A. (2014) Entwicklungsstand, Potentiale und zukünftige Herausforderungen von Big Data – Ergebnisse einer empirischen Studie. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 51 (4): S. 412-423.
- Shleifer, A. (1985) A theory of Yardstick Competition. *The RAND Journal of Economics*, 16 (3): S. 319-327.
- Spath, D., Demuß, L. (2006) Entwicklung hybrider Produkte – Gestaltung materieller und immaterieller Leistungsbündel. In Bullinger, H., Scheer, A. (Hrsg.) *Service Engineering*. Berlin, Springer Berlin Heidelberg, S. 463-502.
- Sturm, J., Williams, B. (2004) Foreign bank entry, deregulation and bank efficiency: Lessons from the Australian experience. *Journal of Banking & Finance*, 28 (7): S. 1775-1799.
- Teubner, R. (1999) *Organisations- und Informationssystemgestaltung: theoretische Grundlagen und integrierte Methoden*. Wiesbaden, DUV.
- Thomas, O. (2006) *Management von Referenzmodellen: Entwurf und Realisierung eines Informationssystems zur Entwicklung und Anwendung von Referenzmodellen*. Berlin, Logos-Verl.
- Thomas, O., Loos, P., Nüttgens, M. (2010) *Hybride Wertschöpfung*. Berlin, Springer Berlin Heidelberg.

- Thomas, O., Kammler, F., Sossna, D. (2015) Smart Services: Geschäftsmodellinnovationen durch 3D-Druck. *Wirtschaftsinformatik & Management*, 7 (6): S. 18-29.
- Thomas, O., Kammler, F., Zobel, B., Sossna, D., Zarvic, N. (2016) Supply Chain 4.0: Revolution in der Logistik durch 3D-Druck. *IM+io Fachzeitschrift für Innovation, Organisation und Management*, S. 58-63.
- Thomas, O., Varwig, A., Kammler, F., Zobel, B., Fuchs, A. (2017) DevOps: IT-Entwicklung im Industrie 4.0-Zeitalter: Flexibles Reagieren in einem dynamischen Umfeld. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 54 (2): S. 178-188.
- Tolkmitt, V. (2007) *Neue Bankbetriebslehre: Basiswissen zu Finanzprodukten und Finanzdienstleistungen*. 2., überarbeitete Auflage, Wiesbaden, Gabler.
- Vaishnavi, V., Kuechler, W. (2015) *Design science research methods and patterns: innovating information and communication technology*. Second edition. Boca Raton, CRC Press, Taylor & Francis Group.
- Varmaz, A., Fieberg, C., Varwig, A. (2013a) RMatlab-app2web : Web Deployment of R / MATLAB Applications. *Journal of Statistical Software*, 54 (5), S. 1-11.
- Varmaz, A., Varwig, A., Poddig, T. (2013b). Centralized resource planning and Yardstick competition. *Omega*, 41(1), S. 112-118.
- Varwig, A., Kammler, F., Thomas, Oliver (2017a) Geschäftsmodellevolution im Technischen Kundendienst des Maschinen- und Anlagenbaus durch additive Fertigung – Ersatzteilbereitstellung als smart Service. In Lachmayer, Roland, Lippert, Rene Bastian (Hrsg.) *Additive Manufacturing Quantifiziert*. Berlin, Springer Berlin Heidelberg, S. 133-143.
- Varwig, A., Kammler, F., Thomas, O. (2017b) Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service – Vorschlag eines Vorgehensmodells zur Entwicklung eines unternehmensübergreifenden Informationssystems mittels Data Envelopment Analysis. In 47. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik – INFORMATIK 2017, Digitale Kulturen, in Begutachtung.
- Varwig, A., Kammler, F., Thomas, O. (2017c) Responding to the Forecast: Towards the Integration of Machine State Prediction and Required Maintenance Services. *Digitale Kulturen (Informatik 2017)*. In 47. Jahrestagung der Gesellschaft für Informatik – INFORMATIK 2017, Digitale Kulturen, in Begutachtung.
- Venkatesh, V., Brown, S.A., Bala, H. (2013) Bridging the qualitative-quantitative divide: Guidelines for conducting mixed methods research in information systems. *MIS Quarterly: Management Information Systems*, 37 (1): S. 21-54.
- Webster, J., Watson, R.T. (2002) Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. *MIS Q.*, 26 (2): S. xiii-xxiii.
- Werners, B. (2013) *Quantitative Entscheidungsunterstützung. Grundlagen des Operations Research*. Berlin, Springer Berlin Heidelberg, S. 1-31.
- Wilde, T., Hess, T. (2007) Forschungsmethoden der Wirtschaftsinformatik: Eine empirische Untersuchung. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK*, 49 (4): S. 280-287.
- Wöhe, G., Döring, U. (2013) *Einführung in die allgemeine Betriebswirtschaftslehre*. 25., überarbeitete und aktualisierte Auflage, München, Verlag Franz Vahlen.
- Zimmermann, H. (2008) *Operations Research: Methoden und Modelle; für Wirtschaftsingenieure, Betriebswirte, Informatiker*. 2., aktualisierte Auflage, Wiesbaden, Vieweg.

## **Teil B – Einzelbeiträge**

## Beitrag 1: Centralized resource planning and Yardstick competition

---

Titel	Centralized resource planning and Yardstick competition
Autoren	Armin Varmaz, <b>Andreas Varwig</b> , Thorsten Poddig
Publikationsorgan	Omega
Ranking	VHB JQ3: B WKWI: B
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Varmaz, A., Varwig, A. & Poddig, T. (2013). <i>Centralized resource planning and Yardstick competition</i> . Omega, 41(1), S. 112-118.
Abstract	Multidivisional and decentralized firms often operate inefficiently. In most cases, central management's instruments to influence its branches' behavior are limited. Although relative performance evaluation has been argued to be of great use in defining incentive mechanisms, such approaches cannot be transferred easily to internal performance management. We approach this issue by changing the perspective of performance evaluation. Based on the recently introduced CRA-DEA model, we develop a new super-efficiency measure that enables to establish purposive intra-organizational incentive mechanisms. By means of a numerical example, analyzing the performance of a German retail bank, the applicability of our measure is shown and compared to standard DEA models. Centralized super-efficiency seems able to suit the specific needs of intra-organizational performance management.
Identifikation	DOI: 10.1016/j.omega.2011.10.005
Link	<a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048312000242">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305048312000242</a>
Copyright	© 2012 Elsevier Ltd.

---

**Tab. 2:** Factsheet Beitrag 1



# Centralized resource planning and Yardstick competition

## Abstract

Multidivisional and decentralized firms often operate inefficiently. In most cases, central management's instruments to influence its branches' behavior are limited. Although relative performance evaluation has been argued to be of great use in defining incentive mechanisms, such approaches cannot be transferred easily to internal performance management. We approach this issue by changing the perspective of performance evaluation. Based on the recently introduced CRA-DEA model, we develop a new super-efficiency measure that enables to establish purposive intra-organizational incentive mechanisms. By means of a numerical example, analyzing the performance of a German retail bank, the applicability of our measure is shown and compared to standard DEA models. Centralized super efficiency seems able to suit the specific needs of intra-organizational performance management.

## 1. Introduction

Among other reasons, due to asymmetric information and individual ambitions of semi-autonomous decision makers, the production of goods and/or services in complexly structured organizations often is inefficient. This problem is particularly evident in decentralized organizations, such as banks. Putting own interests first, branch managers often impede the efforts a central management makes to enhance the organization's overall performance. Without considering the consequences for fellow branches, single managers permanently fight for larger fractions of shared resources. In many cases this causes a harmful competition within the organization, leading to a suboptimal resource allocation and avoidable inefficiencies.

Until today, banks' central managements do hardly have instruments for active and sustainable performance management. However, based on Data Envelopment Analysis (DEA), promising approaches to dynamic incentive schemes have been developed. Studies by Bogetoft (1997) and Bogetoft (2000) on DEA based Yardstick Competition (DBYC) demonstrate how measures of relative performance can be used to induce and control competition on non-competitive markets. Since the introduction of DBYC, its applicability and utility have been analyzed in many studies. Resende (2002) applies DBYC to the management of Brazilian energy firms. Although he concludes that an implementation would be rather costly and time consuming, he argues that the expected efficiency increases are likely to outweigh these drawbacks. Studying the regulation of Portuguese water and sewerage services, Marques (2006) directly compares the expected results of DBYC and the basic YC approach. He finds DBYC to be superior and also argues for the implementation of such incentive schemes. The concept's extensive adaptability has been shown by Agrell et al. (2005). They present a multi-dimensional, multi-period DBYC model for the management of the electricity distribution in Scandinavia.

The objective of this article is to transfer DBYC into the context of intra-organizational performance management. However, the incentive mechanisms, so far, are explicitly developed for external regulation and based on individual performance optimization. Hence, the consequences of individual behavior changes for other branches of the same system are mostly neglected. Possible benefits from an internal reallocation of resources are also not taken into account. Consequently, for DBYC to be used in intra-organizational performance

management, modifications are needed. Based on a DEA model for centralized resource allocation (CRA-DEA) by Lozano and Villa (2004), we develop two new performance measures that enable to define purposive incentive schemes for branches and branch managers.

The rest of this article is structured as follows. Section 2 briefly outlines the DEA-based Yardstick Competition model from Bogetoft (1997). Following a discussion of the drawbacks of ordinary DEA in intra-organizational performance evaluation, CRA-DEA is presented and CRA super-efficiencies are developed in section 3. In section 4 these methods are applied to accounting data of a German retail bank. Efficiency and super-efficiency scores are calculated and compared to the standard model. Section 5 concludes with a summary of our main findings and provides an outlook on further research to be done.

## 2. DEA based Yardstick competition

The work of Bogetoft (1994) and Bogetoft (1997) on DEA based incentives originates from the Yardstick Competition (YC) model of Shleifer (1985). Originally YC is a game theoretical approach, enabling a regulator (principal) to control the behavior of  $n$  identical monopolies (agents), operating on different, closed markets. The basic model is set out as a one-shot game at which information asymmetry comes from the principal's inability to monitor the agents' behavior. The principal has to design a contract that will be accepted by the agents and provides them with incentives to enhance production processes and produce at minimal costs. In Shleifer's model, cost reductions and technological progress are achieved by proportionate, performance-related cost reimbursements to the agents. If the regulator would have certain information about the individual production technologies, it would be possible to achieve a first best solution. However, since such detailed information are hardly available to the regulator, production technologies have to be estimated and individual performances have to be measured. For this purpose Shleifer (1985) introduces the concept of "shadow firms" (p. 322) as benchmarks. All firms that are to be evaluated have to report their individual production costs to the regulator. From the cost information that have been disclosed, a virtual shadow firm for each firm  $i$  is created by computing the average of the costs that have been reported by the other  $n-1$  firms. Different levels of outputs are not taken into account. The average of the costs that are reported by the other  $n-1$  firms defines the *efficient cost level* of  $i$ . These are the costs at which the regulator expects firm  $i$  to be able to produce. The performance of a firm  $i$  is computed as the ratio of the costs  $i$  has reported to the regulator to its efficient cost level. Depending on this performance score, costs are proportionately refunded. While poor performers are not fully reimbursed, the costs of good performers are overcompensated.

Shleifer's model captivates by its simplicity. Numerous drawbacks, however, have prevented its widespread use. The vulnerability towards collusion, the need for identical firms and the imperfect modelling of production processes are the most important weaknesses to be mentioned (Bogetoft (1994), Bogetoft (1997)). Firstly, although an agent cannot directly affect the compensation he is paid, he could agree with the other agents on systematically disclosing wrong information. If enough agents lie and report too high information to the regulator, the efficient cost levels the agents are compared with and hence their cost reimbursements increase. Consequently, the incentive mechanism becomes ineffective.

Secondly, since Shleifer (1985) does not account for different output levels and instead uses cost averages to calculate efficient cost levels, only identical firms, producing the same output, can be evaluated. Since smaller than average firms would have cost advantages

while firms producing more than the average amounts of outputs would have cost disadvantages, the benchmarking process could not be fair. Furthermore, the incentive power of mean values is questionable. On the one hand, using averages as benchmarks is rather costly for a central management. On the other hand, if the agents are compared to an average value only, it might not be optimal for them to improve their production technology and minimize their production costs. This becomes a problem if technology enhancement is costly. Since rational agents only maximize their individual profits, they might be better off by not investing in technology improvements. This problem even worsens if the evaluation and reimbursement procedure is carried out repeatedly. Both problems could at least be eased, if *best practices* would be used as benchmarks instead (Bogetoft (1997)).

Last but not least, the basic YC model only considers monetary information in measuring individual performances. In many cases, such information is not enough to fully model a firm's production process. For instance, non-monetary information, such as service quality, could be an important output factor. Being aware of these strengths and weaknesses, Bogetoft (1997) transfers YC to the regulation of public firms on one market. He introduces the idea of DEA based Yardstick Competition and demonstrates that one optimal reimbursement plan is given by the following equation:

$$b_i = c_i + \rho_i[\theta_i - 1]c_i, \forall i \quad (1)$$

Each firm  $i$  is paid a transfer ( $b_i$ ) which depends on the firm's individual costs ( $c_i$ ), its performance ( $\theta_i$ ) and a parameter  $\rho_i$ . While individual costs have to be reported to the principal too, Bogetoft (1997) determines the individual performance of a firm  $i$  using DEA.<sup>1</sup> In contrast to the approach of Shleifer (1985), the agents are thereby compared to the best practice. The parameter  $\rho_i$  adjusts the incentive's impact and has to be negotiated individually to make an agent accept the payment scheme. It defines the proportion of costs that is relevant for the calculation of rewards and penalties, respectively. Poor performers are thereby guaranteed a basic income that prevents from immediate failure and provides time for adjustments.<sup>2</sup>

DEA enables to determine single, unambiguous measures of efficiency and allows to evaluate large universes of organizations. By means of linear programming, best practices and adequate benchmarks for the inefficient decision making units (DMUs) are identified. Furthermore, DEA not only enables to take more than just cost information into account in measuring performance, it also can be used to evaluate DMUs of different sizes.

However, as can be seen from (1), the performance estimator  $\theta_i$  has to be able to take values above 1. If this requirement is not met, agents would only receive negative incentives, i.e. punishments for performing worse than best practice. Consequently, they would only try to perform as good as best practice, but would have no incentives for further improvements. Hence, the use of ordinary DEA-models, where  $\theta_i$  in  $(0,1]$ , is inappropriate. One solution to this problem are super-efficiencies. Measures of super-efficiency can take values

---

<sup>1</sup> Being a DEA efficiency score,  $\theta_i$  becomes less 1 if an agent  $i$  operates inefficiently. Consequently, the costs of such an agent would not be fully reimbursed.

<sup>2</sup> Note that (1) is appropriate only to a limited extent as a permanent incentive. In the long run this payment scheme could lead to a concentration of resources on few or even a single, well performing firm. Consequently, many underperformers would have to be closed. This is not always intended by the regulating instance. In such situations a payment scheme based on performance rankings, perhaps particularly dealing with top performers, seems reasonable.

above 1 and calculate the degree to which efficient DMUs outperform the inefficient.<sup>34</sup> Based on the super-efficiency model of Andersen and Petersen (1993), Bogetoft (1997) develops a modified approach, allowing external information to be taken into account. The corresponding LP is given by the following equations:

$$\begin{aligned} & \min_{\lambda_i, \alpha_h, \theta_o^*} \theta_o^* & (2a) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq o}}^n \lambda_i x_{ki} + \sum_{h=1}^z \alpha_h x_{kh} \leq \theta_o^* x_{ko}, \forall k & (2b) \\ & \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq o}}^n \lambda_i y_{ri} + \sum_{h=1}^z \alpha_h y_{rh} \geq y_{ro}, \forall r & (2c) \\ & \sum_{\substack{i=1 \\ i \neq 1}}^n \lambda_i + \sum_{h=1}^z \alpha_h = 1 & (2d) \\ & \lambda_i, \alpha_h \geq 0; \theta_o^* > 0 \end{aligned}$$

This program has to be solved for each of the  $n$  agents. Except for the additional sum terms in the restrictions, the notation is similar to the standard DEA literature.  $\theta_o^*$  is a scalar, measuring the super-efficiency of agent  $o$ . It is defined in the interval  $(0, \infty^+)$ . Since the actual agent to be evaluated is excluded from the reference set  $i \neq o$ , any agent that is identified to produce efficiently by an ordinary DEA-model can receive a super-efficiency score above 1. Positive deviations from 1 show the degree to which agent  $o$  outperforms the reference set. If  $\theta_o^* \rightarrow \infty^+$ , then agent  $o$  is a corner solution, i.e. there is no comparable agent in the dataset. Such DMUs are often also referred to as being hyper-efficient. The super-efficiency scores of inefficient agents are equal to their scores in ordinary DEA.  $x_k$  and  $y_r$  are vectors, containing information of all agents on their  $k$  inputs and  $r$  outputs, respectively. Accordingly,  $x_{ki}$  ( $y_{ri}$ ) contains information on the usage of input  $k$  (production of output  $r$ ) by agent  $i$ . The  $\lambda$ -vector is used to define an adequate (virtual) benchmark. Any historical or external information available to the regulator are represented by the additional sum terms.<sup>5</sup> While the number of additional observations to be considered is given by  $z$ , the  $\alpha$ -vector is equivalent to the  $\lambda$ -vector but to be used for the additional information only. The model of Bogetoft (1997) is based on the variable returns to scale (VRS) DEA model by Banker et al. (1984), ensuring only DMUs of similar sizes to be compared. For this purpose only convex linear combinations of the DMUs in the dataset are allowed to define individual

<sup>3</sup> An introduction to the functionality and applicability of super-efficiencies can be found at Zhu (2009).

<sup>4</sup> Particularly in banking, measures of super-efficiency are today widely-used in analyzing the drivers of process efficiency and for benchmarking purposes. An actual application of super-efficiency measures in banking can be found at Avkiran (2011).

<sup>5</sup> Note, however, only information on efficiently producing DMUs/agents are able to broadly provide incentives. Additional inefficiently producing DMUs could only be used to create virtual benchmarks for hyper-efficient agents (corner solutions). They would have no effect on the super-efficiency scores of any of the other agents. Furthermore, only such DMUs should be additionally included which have been operating under similar technological and legislative circumstances. Otherwise the identified individual targets could be unachievable.

benchmarks, see (2d). Overall the evaluation model by Bogetoft (1997) is a LP with  $(n+z+1)$  variables and  $(k+r+1)$  restrictions.

Measuring individual performances according to this linear program enables to abate the three major drawbacks of YC that have been addressed earlier. Firstly, DEA is highly flexible. It is able to evaluate multidimensional production processes<sup>6</sup> and can process various types of production factors and outputs that are given in numerical values. DEA is even able to handle monetary and non-monetary information at the same time. Consequently, DEA does not depend on identical firms to measure performance. Simply a reference set of DMUs that produce similarly<sup>7</sup> is needed. Performance evaluation by DEA hence enables to highly increase the number of DMUs to be managed. This and the possibility to include historical or external information furthermore ease the vulnerability towards collusion. On the one hand, if the number of DMUs to compare is considerably increased, collusion becomes harder to sustain. Even if enough agents agree upon lying, since the agents' disclosures do not affect the historical information, effective incentives are still provided.<sup>8</sup> Due to these qualities, DBYC can be applied more easily to real world regulation problems.

### 3. Intra-organizational Yardstick competition

Until today, most applications of DBYC focus on creating incentives for different organizations on non-competitive markets. Incentives have mainly been calculated by inter-organizational performance comparisons. However, within decentralized organizations such approaches entail various drawbacks. Although basic DEA-models enable to calculate individual minimal costs, they cannot account for interdependencies between associated branches. Furthermore, ordinary models do not consider the consequences of shared resources. They aim to reduce individual input consumption only. Hence, possible improvements of an organization's overall performance from reallocating resources among the branches - which is an important control instrument by central managements - are neglected. To account for intra-organizational interdependencies and shared resources, we suggest a change of the perspective in performance evaluation. Therefore the use of other, innovative DEA models seems reasonable.

Since their introduction, several modifications and extensions to the basic models of Charnes (1978) and Banker (1984) have been made. First approaches to account for restrictions in target setting are presented by Thompson et al. (1986). Athanassopoulos (1995) provides optimization procedures that calculate efficiency parameters subject to a superior goal. Such DEA-based goal programming and benchmarking approaches have constantly been refined, for a recent study see e.g. Stewart (2010). For the purpose of multi-dimensional benchmarking, DEA has also been combined with other conceptual frameworks, such as the Balanced Scorecard.<sup>9</sup> Faere and Whittaker (1995) firstly introduced DEA models that are able to consider interdependencies between the evaluated DMUs. More recently, DEA models, trying to account for certain interdependencies by modelling multi-step

---

<sup>6</sup> Production processes with multiple input and output factors.

<sup>7</sup> In terms of a similar production technology

<sup>8</sup> Note that DEA is a non-parametric approach and highly dependent on reliable data. If no true data are available, benchmarking becomes inaccurate.

<sup>9</sup> See, among others, Amado et al. (2011) or Grigoroudis et al. (2012).

or network production processes, have been developed, see e.g. Paradi et al. (2011). A comprehensive review of such models is presented by Cook et al. (2010).<sup>10</sup>

However, one approach that explicitly was developed to support centralized resource planning and takes an internal perspective in performance evaluation is proposed by Lozano and Villa (2004), CRA-DEA. CRA-DEA thus seems to be a reasonable starting point for developing internal incentive mechanisms. First applications of CRA-DEA have been made to private and public sector organizations as well. Lozano et al. (2004) calculate an optimal distribution of collecting boxes for improving the recycling of glass waste in Spanish municipalities. Compared to an analysis with classic DEA models, CRA-DEA identifies larger saving potentials. Malekmohammadi (2009), who compare the optimal strategies of five commercial banks in Malaysia, find similar results. Again CRA-DEA identifies strategies that lead to a lower consumption of resources, compared to the model of Banker et al. (1984). First suggestions for extensions and modifications of the original CRA-DEA are made by Lozano and Villa (2005) and Asmild et al. (2009). The input oriented CRA-DEA model<sup>11</sup>, slightly modified to be able to account for possible external data, is given by the following program:

$$\begin{aligned} & \min_{\tilde{\lambda}_{ji}, \tilde{\alpha}_{jh}, \tilde{\theta}} \tilde{\theta} & (3a) \\ \text{s.t.} \quad & \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n \tilde{\lambda}_{ji} x_{ki} + \sum_{h=1}^z \tilde{\alpha}_{jh} x_{kh} \right) \leq \tilde{\theta} \sum_{i=1}^n x_{ki}, \forall k & (3b) \\ & \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n \tilde{\lambda}_{ji} y_{ri} + \sum_{h=1}^z \tilde{\alpha}_{jh} y_{rh} \right) \geq \sum_{i=1}^n y_{ri}, \forall r & (3c) \\ & \sum_{i=1}^n \tilde{\lambda}_{ji} + \sum_{h=1}^z \tilde{\alpha}_{jh} = 1, \forall j & (3d) \\ & \tilde{\lambda}_{ji}, \tilde{\alpha}_{jh} \geq 0; \tilde{\theta} > 0 \end{aligned}$$

The notation is similar to the model (2a)-(2d).  $\tilde{\theta}$  denotes the system's overall efficiency and is defined in the interval  $(0,1]$ . While in classic DEA models the individual targets are defined by  $n$  independent  $\lambda$ -vectors of the dimension  $1 \times n$ , CRA-DEA simultaneously calculates the targets for every branch in a  $n \times n$ -matrix by the  $\lambda_{ji}$  variables, with  $j$  in  $\{1, \dots, n\}$  and  $i$  in  $\{1, \dots, n\}$ . CRA-DEA thereby simultaneously optimizes the performances of every unit within the dataset. In other words, to evaluate the overall performance of a system of  $n$  branches that are producing  $m$  inputs and  $s$  outputs, one linear program with  $n^2+1$  variables and  $m+s+n$  constraints has to be solved. Thereby, the interdependencies among the branches are taken into account and an overall optimal production plan is computed.<sup>12</sup> Consequently, however, only one performance measure is computed for the entire system of

<sup>10</sup> A very good overview of those DEA models that consider internal and complex structures between single DMUs is also provided by Castelli et al. (2010).

<sup>11</sup> The CRA model can also be designed with an output orientation, similar to the model below (Lozano and Villa (2004)).

<sup>12</sup> Note that, while a standard DEA assumes that inputs cannot be reallocated among the DMUs at all, this model assumes the opposite. In its basic form no restrictions on the feasibility of resource reallocation are assumed.

branches. Also similar to the model of Bogetoft (1997), possibly available  $z$  historical or external observations are included with the additional sum terms in the restrictions (3b) and (3c). Like  $\lambda$ ,  $\alpha$  is a matrix that contains all weights of the additionally considered units. Although the basic CRA-model and the slightly modified version presented above consider variable returns to scale, by either dropping or adjusting the restriction (3d) accordingly, it would also be possible to account for constant, non-increasing or non-decreasing returns to scale (Lozano and Villa (2004)).

Compared to the outlined DBYC-model of Bogetoft (1997), CRA-DEA based Yardstick Competition thus seems able to suit the specific needs of centralized performance management. However, CRA-DEA only computes a single measure of efficiency for an entire organization. To derive a CRA-DEA based incentive scheme according to equation (1), individual measures are needed which have to satisfy certain requirements. Most important is the ability to measure *overperformance* and take values above one, cf. previous section. For this purpose we subsequently suggest a method to compute CRA-DEA super-efficiencies.

Since all branches are evaluated simultaneously, CRA-DEA super-efficiency cannot be calculated similar to the approach of Andersen and Petersen (1993) by changing the restrictions on the  $\lambda$ -matrix. Instead, the problem shown in the equations (3a)-(3d) has to be solved  $n+1$  times, where the dataset to be evaluated is adjusted each time. In the first step, the entire dataset is used to compute an organization's overall efficiency score,  $\tilde{\theta}$ . Subsequently, the optimization has to be carried out  $n$  times with the information on one branch being excluded, each at a time. Thus,  $n$  datasets are formed which contain data on the inputs ( $x_k$ ) and outputs ( $y_r$ ) of  $n-1$  DMUs, as shown in the following equations:

$$x_{ki}^{\#} = [x_{kj}] \quad \forall j \neq i \quad (4a)$$

$$y_{ri}^{\#} = [y_{rj}] \quad \forall j \neq i \quad (4b)$$

The superscript # is a label to denote the reduced datasets. Let  $\tilde{\theta}_i^{\#}$  denote the  $i$ -th solution to the CRA-model, where  $i$  in  $\{1, \dots, n\}$ . The contribution of branch  $i$  to overall performance can now easily be calculated by the ratio of overall and partial performance, see the following equation:

$$\tilde{\theta}_i^a = \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\theta}_i^{\#}} \quad \text{or} \quad \tilde{\theta}_i^b = \frac{(1 - \tilde{\theta}_i^{\#})}{(1 - \tilde{\theta})} \quad (5)$$

The parameter  $\tilde{\theta}_i^a$  shows how much overall performance changes by considering DMU  $i$ . If DMU  $i$  has no effect on the organization's overall performance,  $\tilde{\theta}_i^a$  is equal to 1. If the overall performance increases (decreases) by considering DMU  $i$ , then  $\tilde{\theta}_i^a > 1$  ( $\tilde{\theta}_i^a < 1$ ). However, in cases of high values of  $\tilde{\theta}$ , assuming homogeneous datasets, super-efficiencies calculated by  $\tilde{\theta}_i^a$  will not vary largely. To derive more effective incentives in such situations, it might be reasonable to calculate super-efficiencies based on improvement potentials which are measured by the differences of the efficiency parameters to one. The according super-efficiency parameter is given by  $\tilde{\theta}_i^b$ . Both super-efficiency measures ( $\tilde{\theta}_i^a$  and  $\tilde{\theta}_i^b$ ) fully correlate<sup>13</sup>, but differ in variance. While the variance of  $\tilde{\theta}_i^b$  is larger for high values of  $\tilde{\theta}$  the

<sup>13</sup> This is due to  $\tilde{\theta}_i^a = \tilde{\theta}_i^b * ((\tilde{\theta} - \tilde{\theta}_i^2) / (\tilde{\theta}_i^{\#} - \tilde{\theta}_i^{\#2}))$ .

variance of  $\tilde{\theta}^a$  is larger for small values of  $\tilde{\theta}$ .<sup>14</sup> However, one obvious but severe problem with  $\tilde{\theta}_i^b$  occurs in the extreme case of  $\tilde{\theta} = 1$ . Under such circumstances the individual branches' contributions to overall performance cannot be measured by  $\tilde{\theta}_i^b$ .

Compared to ordinary super-efficiency scores, using the approach in incentive schemes similar to (1) entails various advantages. Firstly, CRA-DBYC is able to circumvent the three major drawbacks of YC, too. Similar to the amended super-efficiency model from Bogetoft (1997), it is possible to include available external or historical information, such that collusion would have hardly an effect on the incentives' power. However, since we carry out an intra-organizational performance evaluation, we do not expect the problem to be as severe as in external regulation. We expect the principal (central management) in this case to have access to more information. Also CRA-DEA is able to handle monetary and non-monetary information at the same time. Furthermore, compared to ordinary DEA, CRA-super-efficiency scores are a more purposive measure of an individual branch's contribution to an organization's overall performance. Systemic interdependencies and shared resources are taken into account. Besides these theoretical strengths, CRA-DEA-super-efficiencies are also methodically advantageous compared to ordinary super-efficiencies. In some situations, an ordinary super-efficiency model can become insolvable. This phenomenon is called *hyper-efficiency*.<sup>15</sup> The CRA program, however, is always solvable. Except for the extreme case of  $\tilde{\theta} = 1$ , causing  $\tilde{\theta}_i^b$  being insolvable, hyper-efficiencies cannot occur. Moreover,  $\tilde{\theta}_i^a$  can always be calculated. Consequently, if performance measures like  $\tilde{\theta}_i^a$  or  $\tilde{\theta}_i^b$  would be used to define optimal transfers according to (1), a branch would get an incentive to always act in the best interest of the entire organization and contribute as much as possible to overall performance.

#### 4. Numerical example

For demonstrating the applicability of the CRA super-efficiency measures, a performance analysis of the branches of a small German retail bank is carried out. To measure the branches' efficiency a *profit model* is used, which is in line with Avkiran (2009). The bank's production process is divided into two inputs and outputs, each. The branches' expenses on interest payments (IEX) as well as their personnel expenses (PEX), which are a proxy for non-interest expenses, are considered as inputs. The interest expenses comprise any payments for deposits. Besides wages, also payments for employee trainings and social insurance contributions are included in PEX. The outputs are given by the branches' interest income (IIN) and all other income (OIN). OIN mostly contains the branches' fees earned from security trading, mortgages and insurance businesses. Similar bank efficiency models are also used in recent studies by Atallah and Le (2006), Drake et al. (2006) and Pasiouras (2008).<sup>16</sup> All data used within our example are given in table 1.

---

<sup>14</sup> This holds due to  $\tilde{\theta}, \tilde{\theta}_i^{\#}$  in  $(0,1]$ . If  $\tilde{\theta}$  and all values for  $\tilde{\theta}_i^{\#} > 0.5$  and  $< 1$ , then  $\tilde{\theta}_i^a$  in  $(0.5, 2)$  and  $\tilde{\theta}_i^b$  in  $(0, \infty^+)$ . Consequently, the variance of  $\tilde{\theta}_i^b$  is larger. If, however,  $\tilde{\theta}$  and all values for  $\tilde{\theta}_i^{\#} > 0$  and  $< 0.5$ , then  $\tilde{\theta}_i^a$  in  $(0, \infty^+)$  and  $\tilde{\theta}_i^b$  in  $(0.5,2)$ . However, if the values are below and above 0.5, it cannot directly be seen which measure's variance is higher.

<sup>15</sup> On the infeasibility of super-efficiency models see, for example, Zhu (2009).

<sup>16</sup> Until today several models of bank branch efficiency have been presented. A comprehensive overview and discussion is provided by Paradi et al. (2011).



**Table 1** Actual and historical bank branch data. The dataset consists of actual data on 16 branches and historical data on eight branches. All data are taken from a small German cooperative bank and scaled in thousands of EUR. ID identifies the branches, PEX are personnel expenses, IEX denotes the interests on expenses, IIN denotes the interest income and OIN denotes all other branch income.

ID	PEX	IEX	IIN	OIN
1	1532	2769	11092	1231
2	998	1757	5529	778
3	853	1220	2384	464
4	180	378	632	133
5	584	876	1847	297
6	498	2080	2689	524
7	261	395	1358	203
8	609	883	2688	352
9	222	528	791	149
10	264	700	856	193
11	1078	1448	1873	611
12	222	503	770	217
13	258	412	520	138
14	696	1099	2836	443
15	176	361	477	104
16	236	301	724	159
$\Sigma$	8667	15710	37066	5996
Mean	541.69	981.88	2316.63	374.75
17	145	379	669	114
18	162	307	518	82
19	1350	1995	11103	1301
20	163	305	454	94
21	239	285	750	143
22	217	460	731	220
23	173	324	481	172
24	253	287	692	189

The bank consists of 16 branches. Furthermore, to demonstrate the effects of incorporating historical or external data, additional observations on 8 branches are considered in the analyses. The 8 additional observations are real data which have been observed in some of the bank's branches in previous years. They all satisfy the requirements of Bogetoft (1997) and achieve a VRS efficiency score of 1. All branches, actual and historical, also have been operating under similar technological and legislative circumstances. All efficiency and super-efficiency scores are calculated with and without included the historical information in the analyses. The results of the analyses without including the historical information are presented in table 2.

The  $\theta$ -column contains the efficiency scores that have been calculated with the ordinary VRS-model by Banker et al. (1984).  $\tilde{\theta}$  denotes the overall efficiency score of the CRA-model. The corresponding super-efficiency scores are given in the columns  $\tilde{\theta}^*$  (VRS super-efficiency),  $\tilde{\theta}^a$  and  $\tilde{\theta}^b$  (both CRA super-efficiency). If only the actual data on the 16 branches is analyzed and the historical data are not included, the VRS-model identifies 7 branches operating efficiently (1, 4, 6, 7, 12, 15, 16). On average, the VRS-model estimates an efficiency score of 91.6% for the branches. As expected, due to the consideration of an internal reallocation of resources, the overall efficiency score calculated by the CRA-model is

smaller, i.e. larger improvement potentials are found by the CRA-model. However, for our sample the difference between the average VRS efficiency and the CRA efficiency score, 8.1%, is considerably big. Even bigger are the differences between the super-efficiency scores of both models. Only for 8 of the 16 branches the calculated scores exhibit the same tendency in both models (3, 5, 8, 9, 10, 11, 13, 16). All of these branches have either performed exceptionally good or bad in the VRS-model.<sup>17</sup>

**Table 2** Branch efficiency scores. All scores are computed without historical data being included in the dataset.  $\theta$  = VRS efficiency scores;  $\tilde{\theta}$  = CRA efficiency score;  $\theta^*$  = VRS super-efficiency scores;  $\tilde{\theta}^a, \tilde{\theta}^b$  new CRA super-efficiency scores.

ID	$\theta$	$\tilde{\theta}$	$\theta^*$	$\tilde{\theta}^a$	$\tilde{\theta}^b$
1	1	0,835	NaN	1,033	1,161
2	0,981		0,981	1,022	1,110
3	0,818		0,818	0,991	0,953
4	1		1,075	0,998	0,989
5	0,699		0,699	0,988	0,937
6	1		1,242	0,987	0,932
7	1		1,182	0,995	0,974
8	0,837		0,837	0,996	0,980
9	0,892		0,892	0,993	0,964
10	0,831		0,831	0,992	0,960
11	0,923		0,923	0,997	0,987
12	1		1,176	0,982	0,909
13	0,807		0,807	0,993	0,967
14	0,864		0,864	1	1
15	1		1,037	0,993	0,967
16	1		1,262	1,002	1,012
Mean	0,916		0,975	0,998	0,988

For all these branches, except for branch 16, super-efficiency scores below 1 are estimated. Branch 16, however, is classified super-efficient by both models. The remaining 8 branches' scores' tendencies are unclear. In most cases the CRA score is below 1, while the VRS score is above 1. This indicates that, although the branches individually are operating efficiently, their behavior is not beneficial with regard to the bank's overall performance. Only for two branches (2, 14) the CRA super-efficiency scores are above 1 while the VRS scores are below 1. Although these branches technically could improve, reallocating their resources could enhance the whole system's efficiency even more.<sup>18</sup> Furthermore, it is worth mentioning that, when the historical data are not included, one case of hyper-efficiency occurs. For branch 1 the ordinary super-efficiency model is infeasible. In contrast, a CRA super-efficiency score can be computed. The average VRS and CRA super-efficiency scores are very close. While the branches achieve an average  $\tilde{\theta}^*$  of 0.975, the average  $\tilde{\theta}^a$  - and  $\tilde{\theta}^b$  -scores are 0.998 and 0.988, respectively. The results, however, change significantly

<sup>17</sup> However, as can be seen at branch 6, exceptionally high super-efficiency scores do not inevitably lead to a CRA super-efficiency score that is above 1.

<sup>18</sup> Note that for branch 14 the CRA super-efficiency score equals 1. This means that its inclusion in the dataset has neither a positive nor a negative effect on the bank's overall performance.

if the historical data are included in the evaluation. The corresponding values are summarized in table 3.

**Table 3** Adjusted branch efficiency scores. All scores are computed with historical data being included in the dataset.  $\theta$  = VRS efficiency scores;  $\tilde{\theta}$  = CRA efficiency score;  $\theta^*$  = VRS super-efficiency scores;  $\tilde{\theta}^a, \tilde{\theta}^b$  new CRA super-efficiency scores.

ID	$\theta$	$\tilde{\theta}$	$\theta^*$	$\tilde{\theta}^a$	$\tilde{\theta}^b$
1	0,880	0,705	0,880	1,044	1,100
2	0,799		0,799	1,014	1,034
3	0,595		0,595	0,972	0,931
4	0,922		0,922	1,003	1,008
5	0,573		0,573	0,982	0,957
6	1		1,076	1,027	1,062
7	1		1,061	1,006	1,015
8	0,692		0,692	0,991	0,977
9	0,776		0,776	1,001	1,002
10	0,768		0,768	1,002	1,005
11	0,646		0,646	0,956	0,890
12	0,970		0,970	1,010	1,024
13	0,738		0,738	0,994	0,986
14	0,658		0,658	0,993	0,983
15	0,902		0,902	0,999	0,998
16	0,985		0,985	1,001	1,002
Mean	0,807		0,815	1,000	0,998

As expected, artificially extending the reference set by including the historical data<sup>19</sup> causes the estimated efficiency scores to decrease notably. The average VRS scores as well as the CRA efficiency measure decrease by more than 10 percentage points compared to the analysis without including the historical data. Hence, the additional observations enable to identify further space for improvements. When the historical data are included, only two branches operate efficient according to the VRS-model (6, 7).

Comparing the super-efficiency scores, there are also considerable differences when the historical data are included. Although now for 9 of the 16 branches (3, 5, 6, 7, 8, 11, 13, 14, 15) the same tendencies of the super-efficiency scores are estimated by the VRS-model and the CRA-model, this does not happen for the same branches as without including the historical data. Also noticeable is the increase in branches which are identified by the VRS-model to operate inefficiently but receive a CRA super-efficiency score which is above 1 (1, 2, 4, 9, 10, 12, 16). Although these branches technically produce inefficiently, they positively contribute to the bank's overall performance. This also is a result from the extended reference technology. Since new strategies can be considered in reallocating the resources, a substantial improvement of the bank's overall productivity seems achievable. This effect more than compensates the technical inefficiency of single branches and leads to CRA super-efficiency scores above 1. The opposite case, one branch producing efficiently according to the VRS-model but receiving a CRA super-efficiency score below 1, does not occur anymore. Furthermore, it is worth mentioning that those branches which are identified to produce least

<sup>19</sup> As has already been mentioned, the historical data only consists of branches that operate efficiently under the VRS-model's evaluation.

efficient by the VRS-model are not classified super-efficient by the CRA-model, too. On average the VRS super-efficiency scores decrease by about 16 percentage points. The CRA super-efficiency scores, however, slightly increase. This and the frequent occurrence of different tendencies give rise to the suspicion that the VRS super-efficiency-model, particularly in an intra-organizational analysis, tends to systematically underestimate individual performances. Not incorporating a branch's contribution to the whole organizations' performance could cause expedient components to be unnecessarily but severely punished. However, on the other hand, performance management based on the VRS super-efficiency scores, at least for this sample, would be less costly for the central management.

**Table 4** Original and optimal overall production plans. All values are given in thousands of EUR. The line 'Inputs used' contains the overall costs for the usage of PEX and IEX. Profit is calculated as (IIN+OIN) - (PEX+IEX).

Variables	Actual data	$\theta$	$\tilde{\theta}$	$\theta_{hist}^a$	$\tilde{\theta}_{hist}^a$
PEX	8667	7432	7237	6634	6108
IEX	15710	14310	13118	11912	11072
IIN	37066	44524	43443	41378	37066
OIN	5996	5996	5996	6068	5996
Inputs used	24377	21742	20355	18545	17180
Profit	18685	28778	29084	28904	25882

<sup>a</sup> 'Hist' denotes that historical data is included in the reference set.

The ordinary VRS-model and the CRA-model do not only compute different performance scores, they also identify different input and output targets. The original production plans as well as the suggestions by the VRS-model and the CRA-model, with and without historical data being included, are illustrated in table 4. Keeping outputs at least constant, every model finds possible reductions for both inputs. Comparing the optimal production plans, computed without the historical data being included, the suggested input consumption is notably smaller by the CRA model. For our sample, the CRA-model estimates potential savings in input consumption of more than 4 Mio EUR. Also the achievable increase of outputs from the CRA-optimization is just slightly less than from the VRS-model. Although it is the CRA-model's primary objective to reduce input consumption, this results in the CRA-optimization being even more profitable than the ordinary approach. The results are slightly different when the historical data are included in the dataset. Although the CRA-model still identifies the optimal production plan with least input consumption, the corresponding possible achievement in increasing outputs is considerably less. Consequently, comparing the results when historical data are included only, the VRS-model does seem to be more profitable. However, particularly in industries such as banking, the aspect of increasing outputs can mostly be neglected. In most cases, the banking industry is highly competitive, the outputs of banking are highly dependent on economic demand and the markets are developed. Hence, although it technically may be possible to increase outputs, practically it hardly is. Consequently, at least for the numerical example provided above, the CRA-DEA approach seems to be superior.

## 5. Conclusion

Complexly structured organizations often operate inefficiently. Particularly decentralized organizations, such as banks, hardly possess powerful instruments for intra-organizational performance management. Although DEA based Yardstick Competition has been argued to

be of great use in deriving effective incentive mechanisms, due to methodical deficits of ordinary DEA models, such mechanisms cannot be transferred directly to internal performance management. The objective of this article was to transfer the concept of DBYC to intra-organizational performance management.

Based on the works of Bogetoft (1997) and Lozano and Villa (2004) a new approach to measure individual performances of associated DMUs has been developed. We introduced the concept of centralized super-efficiency, providing individual performance indicators and incentives that are based on intra-organizational optimization procedures. Furthermore, we presented an amendment to the CRA-model, enabling to account for historical or external information in deriving optimal production plans.

The applicability of our approach has been illustrated by an analysis of the performances of 16 branches of a German retail bank. The use of the modified CRA-model in performance evaluation allows incorporating the consequences and prospects of internal interdependencies, such as shared resources. By simultaneously calculating optimal strategies for every branch, not only the individual performances of single branches but their co-operation and the systems' overall performance can be improved. For the data used within the presented numerical example, the CRA-model suggests adjustments enabling to achieve significantly less input consumption compared to the classic VRS-model. Particularly the results from including additional historical observations are remarkable.

However, the research on intra-organizational performance management still is at its very beginning. Efforts have to be made, for instance on further exploring potential benefits and limits of integrating external information into a centralized performance evaluation. Also the applicability of CRA-DEA super-efficiencies to other problems remains to be investigated. Last but not least, the development of different incentive mechanisms based on other DEA models seems a reasonable issue for further research.

## References

- Agrell, P.J., Bogetoft, P., Tind, J. (2005) DEA and Dynamic Yardstick Competition in Scandinavian Electricity Distribution. *Journal of Productivity Analysis*, 23(2), S. 173-201.
- Amado, C.A.F., Santos, S.P., Marques, P.M. (2011) Integrating the Data Envelopment Analysis and the Balanced Scorecard approaches for enhanced performance assessment. *Omega*, InPress.
- Andersen, P., Petersen, N.C. (1993) A procedure for ranking efficient units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 39, S. 1261-1264.
- Asmild, M., Joseph, J.C., Paradi, C., Pastor, J.T. (2009) Centralized resource allocation BCC models. *Omega*, 37(1), S. 40-49.
- Ataullah, A., Le, H. (2006) Economic reforms and bank efficiency in developing countries: The case of the Indian banking industry. *Applied Financial Economics*, 16, S. 653-663.
- Athanassopoulos, A.D. (1995) Goal Programming & Data Envelopment Analysis (GoDEA) for Target-Based Multi-Level Planning: Allocating Central Grants to the Greek Local Authorities. *European Journal of Operational Research*, 87, S. 535-550.
- Avkiran, N. (2009) Opening the black box of efficiency analysis: An illustration with UAE banks. *Omega*, 37, S. 930-941.
- Avkiran, N. (2001) Association of DEA super-efficiency estimates with financial ratios: Investigating the case for Chinese banks. *Omega*, 39, S. 323-334.
- Banker, R., Charnes, A., Cooper, W. (1984) Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30, S. 1078-1092.

- Bogetoft, P. (1994) Incentive Efficient Production Frontiers: An Agency Perspective on DEA. *Management Science*, 40(8), S. 959-968.
- Bogetoft, P. (1997) DEA-Based Yardstick Competition: The Optimality of Best Practice Regulation. *Annals of Operations Research*, 73, S. 277-298.
- Bogetoft, P. (2000) DEA and Activity Planning under Asymmetric Information. *Journal of Productivity Analysis*, 13, S. 7-48.
- Castelli, L., Pesenti, R., Ukovich, W. (2010) A classification of DEA models when the internal structure of the Decision Making Units is considered. *Annals of Operations Research*, 173(1), S. 207-235.
- Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, S. 429-444.
- Cook, W., Liang, L., Zhu, J. (2010) Measuring performance of two-stage network structures by DEA: A review and future perspective. *Omega*, 38, S. 423-430.
- Drake, L., Hall, M.J.B., Simper, R. (2006) The impact of macroeconomic and regulatory factors on bank efficiency: A non-parametric analysis of Hong Kong's banking system. *Journal of Banking and Finance*, 30, S. 1443-1466.
- Färe, R., Whittaker, G. (1995) An intermediate input model of dairy production using complex survey data. *Journal of agricultural economics*, 46(2), S. 201-223.
- Grigoroudis, E., Orfanoudaki, E., Zopounidis, C. (2012) Strategic performance measurement in a healthcare organisation: A multiple criteria approach based on balanced scorecard. *Omega*, 40, S. 104-119.
- Lozano, S., Villa, G. (2004) Centralized resource allocation using data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 22, S. 143-161.
- Lozano, S., Villa, G. (2005) Centralized DEA models with the possibility of downsizing. *Journal of the Operational Research Society*, 56, S. 357-364.
- Lozano, S., Villa, G., Adenso-Diaz, B. (2004) Centralised target setting for regional recycling operations using DEA. *Omega*, 32(2), S. 101-110.
- Malekmohammadi, N., Hosseinzadeh Lotfi, F., Jaafar, A.B. (2006) Centralized resource allocation in DEA with interval data: An application to commercial banks in Malaysia. *International Journal of Mathematical Analysis*, 3(16), S. 757-764.
- Marques, R.C. (2006) A yardstick competition model for Portuguese water and sewerage services regulation. *Utilities Policy*, 14, S. 175-184.
- Paradi, J., Rouatt, S., Zhu, H. (2011) Two-stage evaluation of bank branch efficiency using data envelopment analysis. *Omega*, 39, S. 99-109.
- Pasiouras, F. (2008) Estimating the technical and scale efficiency of Greek commercial banks: The impact of credit risk, off-balance sheet activities, and international operations. *Research in International Business and Finance*, 22, S. 301-318.
- Resende, M. (2002) Relative efficiency measurement and prospects for yardstick competition in Brazilian electricity distribution. *Energy Policy*, 30(8), S. 637-647.
- Shleifer, A. (1985) A theory of Yardstick Competition. *The RAND Journal of Economics*, 16(3), S. 319-327.
- Stewart, T.J. (2010) Goal directed benchmarking for organizational efficiency. *Omega*, 38, S. 534-539.
- Thompson, R.G., Singleton, R.M., Thrall, R., Smith, B.A. (1986) Comparative Site Evaluations for Locating a High-Energy Physics Lab in Texas. *Interfaces*, 16(6), S. 35-49.
- Zhu, J. (2009) *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking*. Springer, 2nd edition.

## Beitrag 2: RMatlab-app2web

---

Titel	RMatlab-app2web: Web Deployment of R/MATLAB Applications
Autoren	Armin Varmaz, Christian Fieberg, <b>Andreas Varwig</b>
Publikationsorgan	Journal of Statistical Software
Ranking	VHB JQ3: Nicht gelistet WKWI: Nicht gelistet
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Varmaz, A., Fieberg, C. & Varwig, A. (2013). <i>RMatlab-app2web: Web Deployment of R/MATLAB Applications</i> . Journal of Statistical Software, 54(1), S. 1-11.
Abstract	This paper presents the RMatlab-app2web tool, which enables the use of R or MATLAB scripts as CGI programs for generating dynamic web content. RMatlab-app2web is highly adjustable. It can be run on both, Windows and Unix-like systems. CGI scripts written in PHP take information entered on web-based forms on the client browser, pass it to R or MATLAB on the server and display the output on the client browser. Adjustable to the server's requirements, the data transfer procedure can use either the GET or the POST routine. The application allows to call R or MATLAB to run previously written scripts. It does not allow to run completely flexible user code. We run a multivariate OLS regression to demonstrate the use of the RMatlab-app2web tool.
Identifikation	ISSN: 1548-7660 DOI: 10.18637/jss.v054.i05
Link	<a href="https://www.jstatsoft.org/article/view/v054i05/MATLAB_Applications.pdf">https://www.jstatsoft.org/article/view/v054i05/MATLAB_Applications.pdf</a>
Copyright	The Journal of Statistical Software has chosen to apply the Creative Commons Attribution License (CCAL) to all articles published in this journal. Under the CCAL, authors retain ownership of the copyright for their article, but authors allow anyone to download, reuse, reprint, modify, distribute, and/or copy articles in Journal of Statistical Software, so long as the original authors and source are credited.

---

**Tab. 3:** Factsheet Beitrag 2

# RMatlab-app2web: Web Deployment of R/MATLAB Applications

## Abstract

This paper presents the RMatlab-app2web tool which enables the use of R or MATLAB scripts as CGI programs for generating dynamic web content. RMatlab-app2web is highly adjustable. It can be run on both, Windows and Unix-like systems. CGI scripts written in PHP take information entered on web-based forms on the client browser, pass it to R or MATLAB on the server and display the output on the client browser. Adjustable to the server's requirements, the data transfer procedure can use either the GET or the POST routine. The application allows to call R or MATLAB to run previously written scripts. It does not allow to run completely flexible user code. We run a multivariate OLS regression to demonstrate the use of the RMatlab-app2web tool.

## 1. Introduction

The RMatlab-app2web tool allows to make R (R Core Team 2013) or MATLAB (The MathWorks, Inc. 2012) scripts available to a wide audience by creating web interfaces. R and MATLAB respectively run on the server while users only need a standard web browser. Using the RMatlab-app2web tool the information which is entered by users on web-based forms is processed by a PHP-written CGI script to R or MATLAB on the server. After the calculation the results are displayed on the client browser. During the last decade several packages have been developed providing a quick and comfortable access to statistical software to a broad public. Most tools, however, have been developed for Unix-like systems only and focus on providing access to R. Commercial software, such as MATLAB, has mostly been disregarded. With RMatlab-app2web, we have developed a tool which closes these gaps. RMatlab-app2web is able to run on Windows and Unix-like servers.<sup>1</sup> It further provides access to scripts written in R or MATLAB.<sup>2</sup> Finally, the RMatlab-app2web tool supports different methods of data processing (either the GET or the POST routine).

The main components of the RMatlab-app2web tool are (1) a set of R and MATLAB functions for decoding the information entered on web-based forms and (2) wrapper shell scripts for Windows and Unix-like platforms which process the information entered on web-based forms to R or MATLAB on the server and display the output on the client browser. To demonstrate the feature of these components, the RMatlab-app2web tool comes along with three exemplary applications.

The remainder of this paper is structured as follows. Section 2 provides a brief overview of several related web tools that have been developed so far. In Section 3 the installation and configuration of RMatlab-app2web is explained. The differences in the use of the tool on Windows and Unix-like systems are particularly highlighted. In Section 4 the tool's application is demonstrated by the example of a multivariate OLS regression. Some concluding remarks are made in Section 5.

---

<sup>1</sup> The RMatlab-app2web tool has not been tested with Mac OS X.

<sup>2</sup> Due to the fact that R and MATLAB are probably two of the most used statistical software programs the RMatlab-app2web tool is based on these programs. Extensions for statistical software programs such as Mathematica, Maxima or SPSS might be possible but are not yet considered in the RMatlab-app2web tool.



## 2. Related work

Enabling web forms to communicate with statistical software is not a new idea. During the last decade, a variety of tools have been developed and provided for free use. A listing of several tools that are freely available today is given below.

- **Rweb** (Banfield 1999) provides access to the R command prompt from a web page. It runs R (in batch mode) on the edited code and returns printed and graphical outputs.<sup>3</sup>
- **CGIwithR** (Firth 2003) allows to use R scripts as CGI programs for generating dynamic web content. HTML forms and other mechanisms to submit dynamic requests can be used to provide input to R scripts via the web to create content that is determined within that R script.<sup>4</sup>
- **rApache** (Horner 2005) includes the R interpreter in a web server. In specific it allows the web application development using the R statistical language and environment and the Apache web server. For the communication between the server and R, rApache uses the library libapreq.<sup>5</sup>
- **Rpad** (Short and Grosjean 2005) provides access to the R command prompt from a web page but allows also to develop graphical user interfaces based on the functional range of R.<sup>6</sup>
- **R-php** (Mineo and Pontillo 2006) consists of two modules. The first module (R-php base) provides access to the R command prompt from a web page and enables to edit R code in a web form. As Rweb (Banfield 1999) it runs R on the edited code and returns printed and graphical outputs. The second module (R-php point-and-click) is almost a R-based graphical user interface which allows to perform some statistical analysis (descriptive statistics and regression analysis) by point-and-click actions based on R.<sup>7</sup>
- **R PHP Online** (Chen 2003) is a PHP web interface which provides access to the R command prompt from a web page. As Rweb (Banfield 1999) and R-php base (Mineo and Pontillo 2006) it runs R on the edited code and returns printed and graphical outputs.

The description above indicates that one can distinguish four features. The first feature is the possibility to get access to the R command prompt from a web page. These packages run R on the edited code and return printed and graphical outputs. Projects providing this possibility are Rweb (Banfield 1999), R-php base (Mineo and Pontillo 2006) and R PHP Online (Chen 2003). The second feature is the possibility to use provided web-based graphical user interfaces which are based on R. A project providing this possibility is R-php point-and-click (Mineo and Pontillo 2006). The third feature is the possibility to create own graphical user interfaces which are based on editing R code in a web form, which is provided by Rpad (Short and Grosjean 2005). The fourth feature is the possibility to use R scripts as CGI programs for generating dynamic web content and thus creating and sharing web applications based on R. Projects providing this possibility are CGIwithR (Firth 2003) and rApache by Horner (2005). From the above-described projects the CGIwithR package by Firth (2003)

---

<sup>3</sup> The remarks follow the official description of Rweb on <http://www.math.montana.edu/Rweb/>.

<sup>4</sup> The remarks follow the official description of the CGIwithR package on <http://www.omega-hat.org/CGIwithR/>.

<sup>5</sup> The remarks follow the official description of rApache on <http://rapache.net/>.

<sup>6</sup> The remarks follow the official description of Rpad on [http://rpad.googlecode.com/svn-history/r76/Rpad\\_homepage/](http://rpad.googlecode.com/svn-history/r76/Rpad_homepage/).

<sup>7</sup> The remarks follow the official description of R-php on <http://dssm.unipa.it/R-php/?cmd=home>.

and the rApache package by Horner (2005) are the closest alternatives to the RMatlab-app2web tool. But these projects are, as the other ones, based on R and primarily Unix-like platforms. To our knowledge there is no free tool available, enabling to communicate with either R or MATLAB which is able to run on Windows and Unix servers. The RMatlab-app2web tool aims to close these gaps.

### 3. RMatlab-app2web

#### 3.1. Configuration and installation

RMatlab-app2web can be run on Windows as well as on Unix-like servers and requires only basic installations of R and/or MATLAB and a web server. The tool has been tested on the version 2012a and earlier versions of MATLAB and the version 2.15.1 and earlier versions of R. Furthermore, the web server from the XAMPP project (v.1.7.7, Apache Friends 2013) is used.<sup>8</sup> Independent from the operating system the tool is used on, all components can be installed using standard installation routines. Only a few small adjustments are necessary.

On Unix-like systems it might happen that the system's users are not provided with the necessary rights. Any web document has to be located in the directory /htdocs. Thus, it is essential that all users of the server have the right to access this directory's content. Any script that is to be executed from a web document needs to be in /cgi-bin. Consequently, the system's users need to have the rights to access and to execute the files inside /cgi-bin. In case the necessary rights are not granted, this can easily be rectified by the following two commands.

```
chmod [/path]/htdocs a+r
chmod [/path]/cgi-bin a+rx
```

On Windows systems, the users' rights do not need to be modified. However, the web server's standard security settings need to be slightly modified. By default, the option `cgi.force_redirect` of the PHP interpreter is enabled, which conflicts with the web server's security settings. Consequently, the option has to be disabled. This can be done by editing the file `php.ini` which is located in the web server's subdirectory /php. The following line has to be added to the `php.ini`.

```
cgi.force_redirect = 0
```

No further modifications are needed.

#### 3.2. Web forms

Any web forms are required to be moved to /htdocs. For using the RMatlab-app2web tool it is essential to properly adjust the form tag and the input elements of any web form. Within the form tag, two important parameters have to be defined. The first one is the value given

---

<sup>8</sup> We also tested the RMatlab-app2web tool on earlier versions of XAMPP. XAMPP is available on <http://www.apachefriends.org/en/xampp.html> for Linux, Windows, Mac OS X and Solaris-based operating systems. XAMPP is an Apache distribution containing MySQL, PHP and Perl. The XAMPP distribution is used to demonstrate the RMatlab-app2web tool because (1) it is free of charge, (2) available for most operating systems, (3) easy to install and to use and (4) MySQL, PHP and Perl are already added to the web server. Note that for the use of the RMatlab-app2web tool at least PHP has to be added to the web server. There are web servers other than Apache (see Wikipedia 2013b, for a comparison) and distributions other than XAMPP (see Wikipedia 2013a, for a comparison). The RMatlab-app2web tool has not been explicitly tested on these alternatives.

to the variable method. It determines which method is used to process data from the web form to the statistical software. It can either be GET or POST. Since both methods can be used with RMatlab-app2web, this parameter can be adjusted to the web server's requirements. Secondly, the value of action defines the web site or script that is opened when the submit button is clicked on. Depending on the server's operating system, the corresponding CGI script is to be referred here. This will be explained in more detail in the next section.

The input elements of web forms are usually text fields which are defined by the HTML commands `<input type="text">` or `<textarea>`. However, also other types of input elements, for instance hidden elements, can be processed. For using RMatlab-app2web it is essential that all input elements are named unambiguously since only elements that are given a unique name can be interpreted.

### 3.3. CGI using PHP

Although CGI scripts are mostly written in scripting languages such as Perl or PHP, almost any programming language could be used. The CGI scripts used in the RMatlab-app2web tool are written in PHP. For enabling CGI scripts to start and execute processes on the system the rights management might have to be changed (depending on the operating system). As mentioned above, for the Apache web server from XAMPP, it is sufficient to move all scripts to the directory `/cgi-bin`. RMatlab-app2web provides two CGI scripts, one for Windows and one for Unix-like operating systems. Consequently, either `wrapper_windows.php` or `wrapper_linux.php` is to be used. Besides some minor differences in the platform dependent communication with the statistical software, the most important difference between these wrappers are their shebang lines. While on Unix systems, by default, the PHP CGI scripts can be treated by the PHP command line interpreter, on Windows the executable `php-cgi.exe` is needed. Consequently, the first line of the PHP script for a standard Windows installation reads as follows.

```
#! "C:/xampp/php/php-cgi.exe"
```

The information processing by the wrapper can be divided into three steps:

1. Reading the data from a web form,
2. communicating with the statistical software and
3. presenting the results in the browser.

At first, the wrapper imports the content of the named input elements of the web form. Before these data are temporarily stored into an environment variable labelled `FORM_DATA`, the wrapper determines the program the data is to be handed to. This is done by the CGI script's function `get_tool` and the value of the web form's input element `script`. Depending on the file extension of the routine to be executed, the data is either prepared for R or MATLAB. Due to the complexity of the operations to be carried out we describe the procedure in Section 3.4. When the calculations by R or MATLAB are finished, the results are readout by the wrapper again. However, depending on the server's operating system, this is done differently. Particularly the communication with MATLAB on Windows is rather tricky. In this case, the results cannot directly be imported by the wrapper and therefore need to be buffered in an external file.

For the wrappers to work correctly, some editing is necessary. Depending on where R and MATLAB are installed, their paths have to be specified. Therefore the lines

```
$PATH['R']=""
```

and

```
$PATH['Matlab']=""
```

of the relevant wrapper file need to be modified.

### 3.4. R/MATLAB scripts

Similar to the wrapper's structure, the operations carried out by the R/MATLAB scripts can be divided into three steps: Importing and reformatting data, running the calculations and eventually handing the results back to the wrapper.

Data temporarily stored by the wrapper in the environment variable `FORM_DATA` can easily be imported by R or MATLAB. In both cases, the basic command `getenv` can be employed. By `qs <- Sys.getenv("FORM_DATA")` in R and `qs = getenv('FORM_DATA')` in MATLAB, respectively, data is imported into the workspace as the string variable `qs`. To continue processing, `qs` needs to be divided into several sub-strings and reformatted. For this purpose, RMatlab-app2web provides the functions `qs2list` and `qs2struct`. The commands `input <- qs2list(qs)` (R) and `input = qs2struct(qs)` (MATLAB) can be used to transform `qs` into a list of elements or a structure array of fields, respectively. The values of any particularly input element, as entered into the web form, can be used by `input$name` (R) and `input.name` (MATLAB).

Once the data are transformed, any calculations on the variable `input` can be carried out. To illustrate the use of RMatlab-app2web, three examples are included in the data attachment of this paper. One of the examples, using RMatlab-app2web to perform OLS regression from web forms, is explained in detail in the next section. The other two examples demonstrate a) simulation based pricing of financial derivatives and b) the exact way of how data is handed over by the tool.

To transform the strings into numerical variables, basic functions of R and MATLAB are employed. Furthermore RMatlab-app2web comes with two additional functions, `qs2mat` and `qscheck`, that enable to check whether the data entered into the web form is formatted properly and can be transformed. For instance, if the inputs contain symbols that are not allowed or cannot be interpreted, this is reported by these functions.

To display the computed results on a browser, HTML code has to be generated. R and MATLAB offer several functions for this task.<sup>9</sup> However, the way how the generated code can be readout depends on the server's operating system. On Unix systems the wrapper can directly access the results by system commands. On Windows systems a direct communication with MATLAB is not possible, so that an intermediate step is needed. The HTML code has to be stored in an external `.txt` file, for instance using the function `fprint`, which can be interpreted by the wrapper. The code generated by R can, also on Windows, be directly accessed. Consequently, the scripts provided in the data attachment are structured by operating systems. Only the files from directory `/commonfiles` work on both, Windows and Unix. These scripts can directly be moved to `/cgi-bin`.

## 4. Example

### 4.1. Configuration

This section demonstrates how RMatlab-app2web can be used to perform an OLS regression from a web form. The codes for this example are provided in the directories `/commonfiles` and `/sample2` in the data attachment. All subsequent explanations refer to the use of RMatlab-app2web on a Windows system. All calculations are carried out with R and

---

<sup>9</sup> There exist also packages and toolboxes to generate HTML code automatically for free use.

MATLAB. Data from the web form is transferred to R/MATLAB using the method POST. To run the example files, they have to be moved to the corresponding directories of the web server first. The wrapper (wrapper\_windows.php), as well as the R/MATLAB scripts have to be moved to a directory of the web server which is allowed to search for executable scripts. Since we are using the XAMPP Apache web server, it is sufficient to move these files to the directory C:/xampp/cgi-bin. Accordingly, all HTML files have to be moved to C:/xampp/htdocs.

INPUT:

Intent: This is a sample HTML form (POST method) to illustrate the mechanism of web application development using R (just R-base).  
 Field of application: This example estimates a multiple linear regression model using OLS.

vY	mX
0.895271099577888	1, 0.615127926783762; 0.488865915892541
0.700385413671251	1; 0.685420096424219, 0.82948471383199
0.767911070536432	1, 0.314481155604522, 0.780845521491144
0.678777431594259	1, 0.588538697905052, 0.904341603404063
0.693481656742683	1, 0.984415958122989, 0.703952655947906
0.139902480092805	1, 0.397686640820553, 0.851134973907471
0.344517203342607	1, 0.019112295653907, 0.862976641486201
0.571804135098506	1, 0.277774075311338, 0.0244956878727995
0.510385778825077	1; 0.418348963250936; 0.553655233679542
0.306155032153048	1, 0.288174940102248, 0.725474113673334
0.647098619371856	1, 0.953487136779706, 0.958033124437661
0.405212770681274	1, 0.108383881838424, 0.549991092999571
0.964114567358722	1, 0.878176142304216, 0.4224972611468
0.000426599669920	1, 0.738522982335732, 0.628680599864962
0.081126626763832	1, 0.662546095969645, 0.894008869838733

Please enter a vector in vY as dependent variable and a vector or matrix in mX as independent variable's.

**Attention:**

Do only use tab, comma or semicolon for column separation.  
 Do only use break line for row separation.

**Figure 1:** The form created by sample2\_R\_POST.html, with some data entered.

### 4.2. Web forms

Exemplary, Figure 1 shows the web form sample2\_R\_POST.html. The data entered into the web form sample2\_R\_POST.html is handed to the R script FitLinearModel.R. The data entered into the web form sample2\_Matlab\_POST.html is handed to the MATLAB script FitLinearModel.m respectively. These scripts run an OLS regression of the entered data. The inputs are processed to R/MATLAB using the method POST. Consequently, the form tag of sample2\_R\_POST.html and sample2\_Matlab\_POST.html is specified as follows:

```
<form name="FitLinearModel" method="POST" action="/cgi-bin/wrapper_windows.php">
```

As it has been outlined in Section 3.3, the data entered into the web form is buffered as an environment variable named FORM\_DATA for transmission to R/MATLAB. The different inputs of the data entered into the web form are readout as strings by R and buffered in a list. MATLAB buffers inputs in a structure array. The names of the list's components (MATLAB: structure array's fields) are according to the names specified for the web form's input elements. The example files sample2\_R\_POST.html and sample2\_Matlab\_POST.html contain 4 input elements.

sample2\_R\_POST.html:

```
<input type="hidden" name="script" value="FitLinearModel.R">
```

sample2\_Matlab\_POST.html:

```
<input type="hidden" name="script" value="FitLinearModel.m">
```

sample2\_R\_POST.html and sample2\_Matlab\_POST.html:

```
<textarea name="vY" cols="20" rows="20"></textarea>
<textarea name="mX" cols="40" rows="20"></textarea>
<input type="submit" name="Submit" value="Submit">
```

The first input element named "script", is a hidden element, defining the program (R:R/MATLAB:m) and the filename (FitLinearModel) that are used for carrying out the OLS regression. The input elements two and three named "vY" and "mX" are text fields. They can be used to enter data representing the dependent variable and the independent variable(s). For demonstration these text fields are pre-filled in the example files sample2\_R\_POST.html and sample2\_Matlab\_POST.html. The last input element named "Submit" is the submit button, which initializes the data processing.

### 4.3. CGI/PHP and R/MATLAB scripts

Without any adjustments, the wrapper works as explained in Section 3.3. Data is readout from the web form, processed to the statistical software (R or MATLAB) and the output is presented in the browser. Consequently, there is no further explanation needed here. Once the script FitLinearModel.R (MATLAB: FitLinearModel.m) is called, the data from the environment variable is copied into the workspace as a variable named qs.

```
R> qs <- sys.getenv("FORM_DATA")
```

```
MATLAB> qs = getenv('FORM_DATA');
```

Following that the string qs is transformed into a list (MATLAB: structure array) the dependent variable (svY) and the independent variable(s) (smX) can be extracted.

```
R> input <- qs2list(qs)
```

```
R> svY <- input$svY
```

```
R> smX <- input$smX
```

```
MATLAB> input = qs2struct(qs, fid);
```

```
MATLAB> svY = input.vY;
```

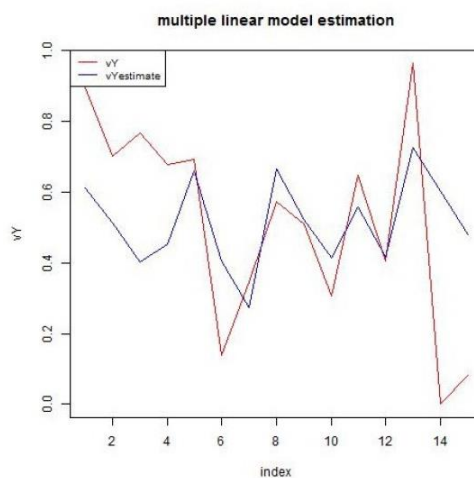
```
MATLAB> smX = input.mX;
```

In the next step the variables svY and smX are transformed into the format needed for the calculations. In this example, the dependent variable svY is needed to be a vector of numbers and the independent variable(s) smX are needed to be formatted as a matrix of numbers.

For the data to be transformed, the information entered into the web form is needed to meet some formatting requirements. For instance, only certain symbols can be interpreted by the transformation procedures provided with RMatlab-app2web. In case of the example files sample2\_R\_POST.html and sample2\_Matlab\_POST.html, only the tabulator, comma and semicolon are allowed to separate columns. Lines can only be separated by line break. To

check whether the input information is formatted properly, RMatlab-app2web contains two functions. The first one (qscheck) is simply an indicator. The function qscheck.R (MATLAB: qscheck.m) creates a boolean variable `bqs` that equals 1 if the input information does not contain any forbidden symbols and if the dimension of the information is well-defined. The boolean variable `bqs` equals 0 otherwise. Hence, `bqs` indicates whether data transformation is possible or not. The second function `qs2mat.R` (MATLAB: `qs2mat.m`) already includes the function `qscheck`. If data transformation is possible, the function `qs2mat` automatically creates either a vector (`vY`) or a matrix (`mX`) from the variables `svY` and `smX`. Once the variables for the OLS regression have been created, the regression is executed by the command:

<b>beta</b>	0.5809114	0.3416785	-0.3651521
<b>se</b>	0.2476121	0.2607352	0.3169377
<b>t</b>	2.346054	1.310443	-1.152126
<b>R-squared</b>	0.1798416		
<b>adj. R-squared</b>	0.04314849		



**Figure 2:** HTML output from the web form `sample2_R_POST.html` (MATLAB: `sample2_Matlab_POST.html`) using pre-filled data.

```
R> vBeta <- solve(qr(mX), vY)
MATLAB> vBeta = mX \ vY;
```

To display the regression's results on the browser, HTML code needs to be produced. There are two ways to do this. First, the application-dependent HTML output is specified manually using, for example, the function `cat` (MATLAB: `fprintf`). Second, the application-dependent HTML output is specified automatically by adequate packages (MATLAB: `toolboxes`). In the script `FitLinearModel.R` (MATLAB: `FitLinearModel.m`) the HTML output is produced manually using the `cat` (MATLAB: `fprintf`) function. The last line of the HTML output calls a figure showing the regression's fit to be displayed on the browser. Figure 2 shows output from webform `sample2_R_POST.html` (MATLAB: `sample2_Matlab_POST.html`) using pre-filled data. As specified in the script `FitLinearModel.R` (MATLAB: `FitLinearModel.m`) the HTML output contains summary statistics of the OLS regression and a figure showing realized and estimated values of the independent variable. The Figure 2 is generated within the R/MATLAB script and temporarily stored in the directory

C:/xampp/htdocs. The HTML code created in the script can directly be interpreted by the wrapper and displayed on the browser.<sup>10</sup>

## 5. Concluding remarks

As has been shown RMatlab-app2web is a highly flexible tool that allows one to make R and/or MATLAB scripts available to a wide audience by creating web interfaces. Information can be entered by users in web-based forms, processed to R or MATLAB on the server and outputs are displayed on the client browser. However, it does not allow to run completely flexible user code. The RMatlab-app2web tool can be used on Windows and Unix-like operating systems and works with basic installations of R and MATLAB.

## References

- Apache Friends (2013) XAMPP. URL <http://www.apachefriends.org/en/xampp.html>.
- Banfield, J. (1999) Rweb: Web-Based Statistical Analysis. *Journal of Statistical Software*, 4(1), S. 1-15.
- Chen, S. (2003) R PHP Online. Package Version 0.3, URL [http://steve-chen.net/R\\_PHP/](http://steve-chen.net/R_PHP/)
- Firth, D. (2003) CGIwithR: Facilities for Processing Web Forms using R. *Journal of Statistical Software*, 8(10), S. 1-8.
- Horner, J. (2005) Embedding R within the Apache Web Server: What's the Use? Presented at DSC 2005: A Workshop on Directions in Statistical Computing, Seattle, URL <http://rapache.net/>.
- Mineo, A., Pontillo, A. (2006) Using R via PHP for Teaching Purposes: R-php. *Journal of Statistical Software*, 17(4), S. 1-20.
- R Core Team (2013) R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <http://www.R-project.org/>.
- Short, T., Grosjean, P. (2005) Rpad: Workbook-Style, Web-based Interface to R. R package version 0.9-6, URL <http://www.rpad.org/Rpad>.
- The MathWorks, Inc (2012). MATLAB - The Language of Technical Computing, Version R2012a. The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts. URL <http://www.mathworks.com/products/matlab/>.
- Wikipedia (2013a). "Comparison of WAMPs | Wikipedia, The Free Encyclopedia." URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_WAMPs](http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_WAMPs).
- Wikipedia (2013b). "Comparison of Web Servers | Wikipedia, The Free Encyclopedia." URL [http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison\\_of\\_web\\_servers](http://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_web_servers).

---

<sup>10</sup> This is different for MATLAB scripts on Windows operating systems. It is not possible to execute MATLAB within the operating system command on Windows operating system. Therefore the HTML output is temporarily stored in a separate text file. This text file is then readout by the wrapper and the HTML output is displayed on the browser.



### Beitrag 3: Zentrale Ressourcenverteilung in der Gesamtbanksteuerung

---

Titel	Zentrale Ressourcenverteilung in der Gesamtbanksteuerung: Eine DEA-Anwendung
Autoren	Armin Varmaz, <b>Andreas Varwig</b> , Peter Laudi
Publikationsorgan	Zeitschrift für Bankrecht und Bankwirtschaft (ZBB)
Ranking	VHB JQ3: C/D WKWI: Nicht gelistet
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Varmaz, A., Varwig, A. & Laudi, P. (2017). <i>Zentrale Ressourcenverteilung in der Gesamtbanksteuerung: Eine DEA-Anwendung</i> . Zeitschrift für Bankrecht und Bankwirtschaft, 29(1), S. 22-32.
Abstract	Obwohl zahlreiche DEA-basierte Bewertungsmodelle entwickelt wurden, die den Einfluss bankinterner Strukturen auf die Gesamtbankleistung abbilden sollen, bleiben die Möglichkeit der Leistungssteigerung durch eine zentrale Ressourcenverteilung zumeist unberücksichtigt. Lozano und Villa (2004) schlagen ein Modell vor, welches explizit der Optimierung der zentralen Ressourcenverteilung dient. Im vorliegenden Beitrag wird dieses Modell in den Kontext der Gesamtbanksteuerung übertragen. Es wird ferner eine Modifikation des Modells präsentiert, die es ermöglicht, gleichzeitig die internen Strukturen einer Bank und ihre relative Leistung im Interbankenvergleich zu verbessern. Am Beispiel von Filialen deutscher Genossenschaftsbanken wird im Rahmen einer Fallstudie gezeigt, wie man durch eine zentrale Ressourcenverteilung und eine simultane Leistungsbewertung erhebliche Potenziale zur Kostenvermeidung erschließen könnte.
Identifikation	ISSN (Online) 2199-1715 ISSN (Print) 0936-2800 DOI: 10.15375/zbb-2017-0105
Link	<a href="https://www.degruyter.com/view/j/zbb.2017.29.issue-1/zbb-2017-0105/zbb-2017-0105.xml">https://www.degruyter.com/view/j/zbb.2017.29.issue-1/zbb-2017-0105/zbb-2017-0105.xml</a>
Copyright	© 2011–2017 by Walter de Gruyter GmbH.

---

**Tab. 4:** Factsheet Beitrag 3

# Zentrale Ressourcenverteilung in der Gesamtbanksteuerung: Eine DEA-Anwendung

## Zusammenfassung

Obwohl zahlreiche DEA-basierte Bewertungsmodelle entwickelt wurden, die den Einfluss bankinterner Strukturen auf die Gesamtbankleistung abbilden sollen, bleiben die Möglichkeit der Leistungssteigerung durch eine zentrale Ressourcenverteilung zumeist unberücksichtigt. Lozano und Villa (2004) schlagen ein Modell vor, welches explizit der Optimierung der zentralen Ressourcenverteilung dient. Im vorliegenden Beitrag wird dieses Modell in den Kontext der Gesamtbanksteuerung übertragen. Es wird ferner eine Modifikation des Modells präsentiert, die es ermöglicht, gleichzeitig die internen Strukturen einer Bank und ihre relative Leistung im Interbankenvergleich zu verbessern. Am Beispiel von Filialen deutscher Genossenschaftsbanken wird im Rahmen einer Fallstudie gezeigt, wie man durch eine zentrale Ressourcenverteilung und eine simultane Leistungsbewertung erhebliche Potenziale zur Kostenvermeidung erschließen könnte.

## 1. Einführung

Seit der Einführung der Data Envelopment Analysis (DEA) gehört die Bankeneffizienz zu den am häufigsten untersuchten Fragestellungen. Zumeist wurden in Interbankenvergleichen die Leistungen von Gesamtbanken in verschiedenen Ländern bewertet. Die Banken wurden dabei weitestgehend als „black boxes“ betrachtet, deren interne Strukturen bei der Effizienzanalyse nicht berücksichtigt werden. Immer häufiger jedoch untersuchen aktuelle Studien die Auswirkungen bankinterner Strukturen auf die Gesamtbankleistung. Um dem Einfluss bankinterner Strukturen auf den Leistungserstellungsprozess gerecht werden zu können, wurden neue DEA-basierte Bewertungsmodelle entwickelt. Obgleich diese häufig in der Lage sind, komplexe Zusammenhänge zwischen einzelnen Filialen zu berücksichtigen, vernachlässigen die meisten Modelle das Problem gemeinsam genutzter Ressourcen. Ein Bewertungsmodell, welches die Möglichkeit der Umverteilung vorhandener Ressourcen bei der Leistungsbeurteilung berücksichtigt, präsentieren Lozano und Villa (2004) und bezeichnen diese als „Centralized Resource Allocation DEA“ (CRA-DEA). Zwar wurde das Verfahren nicht explizit für den Einsatz im Bankperformancemanagement entwickelt, kann jedoch darauf übertragen werden.

Die Beurteilung der Leistungsfähigkeit einzelner Filialen ist eine klassische Aufgabe des Controllings. Die Messung und Analyse der Leistungsfähigkeit helfen bei der Identifikation von Verbesserungspotenzialen. Dabei hat sich das Benchmarking als ein Instrument zum Vergleich von Produkten, Dienstleistungen und/oder betriebswirtschaftliche Prozessen über mehrere Alternativen hinweg etabliert. Das Ziel des Benchmarkings ist die Aufdeckung sowie die Beseitigung von potenziellen Leistungslücken zu den sog. „Best-Practice“-Alternativen. In der Analysephase des Benchmarking werden in der Praxis unterschiedliche „Performance-Measurement“-Konzepte angewendet. Als Beispiele können einfache Kennzahlen, Kennzahlensysteme bis hin zur „Balanced-Scorecard“ genannt werden. Die Nutzung von DEA-Methoden im Bankperformancemanagement ist durch ihren Bezug zur ökonomischen Produktions- und Kostentheorie sowie zum Wirtschaftlichkeitsprinzip motiviert. Ein besonderer Vorteil der betrachteten DEA-Methoden ist, dass die effiziente Filiale nicht ein theoretisches Konstrukt ist, sondern real existiert und bekannt ist. Dies dient insbesondere

der Verbesserung der Akzeptanz der Ergebnisse innerhalb der Bank (vgl. u. a. Poddig und Varmaz (2005), Varmaz et al. (2013)).

Das Ziel dieses Artikels ist es, die Anwendbarkeit des CRA-Modells in der Bankensteuerung aufzuzeigen sowie einen Vergleich zu herkömmlichen DEA-Modellen durchzuführen. Zur Demonstration wird eine empirische Performanceanalyse als eine Fallstudie durchgeführt, bei der die Leistungen von drei deutschen Genossenschaftsbanken, welche insgesamt aus 49 Filialen bestehen, über einen Zeitraum von vier Jahren untersucht werden. Wenn eine Filiale einer der untersuchten Banken eine bestimmte Leistung erbringt, hierfür aber einen höheren Faktoreinsatz als eine andere Filiale mit identischer Leistung benötigt, ergeben sich für die erste Filiale Kostensenkungspotenziale. Die Filiale mit dem geringeren Faktoreinsatz, die sowohl eine Filiale derselben als auch der anderen betrachteten Banken sein kann, könnte als Benchmark bzw. „Best-Practice“-Filiale betrachtet werden. Somit besteht die Möglichkeit, dass Filialen von anderen, besonders erfolgreichen Filialen „lernen“ können.

Die Ergebnisse der Fallstudie legen den Schluss nahe, dass eine bankinterne Leistungsbewertung mit dem CRA-Modell erheblich größere Leistungssteigerungspotenziale aufdecken kann, als ein herkömmliches DEA-Modell. Durch die Berücksichtigung einer (effizienten) Reallokation gemeinsam genutzter Ressourcen könnte in den analysierten Banken mitunter ein bis zu Dreifaches der Kosten eingespart werden. Bei einer konkreten Umsetzung der Ergebnisse wäre jedoch zu prüfen, ob die günstigere Relation zwischen der Leistung und dem Einsatz auf andere Ursachen, über die bisher keine Daten erhoben wurden, wie z. B. Lage, Kundenumfeld oder wirtschaftliche Situation im Umfeld, zurückzuführen ist.

Die Unterschiede zwischen CRA-DEA und herkömmlichen DEA-Modellen zeigen gleichzeitig zwei unterschiedliche Sichtweisen auf die zu evaluierenden Filialen. Die herkömmlichen DEA-Modelle nehmen implizit einen internen Wettbewerb zwischen den Filialen an, bei dem jede Filiale für sich das beste Ergebnis erzielen will. Dagegen geht man bei der CRA-DEA von einer Kooperation zwischen den Filialen aus, bei der die gemeinsamen Ressourcen zwischen den Filialen effizienzsteigernd für die Gesamtorganisation verteilt werden können. Dem Management fällt dabei die Aufgabe zu, die Ressourcen bestmöglich zwischen den Filialen aufzuteilen. Aufgrund der unterschiedlichen Sichtweisen auf die Filialen stellen die herkömmlichen DEA-Modelle und die CRA-DEA extreme Pole bei der Beurteilung der Leistungsfähigkeit dar. Ferner wird in diesem Beitrag aufgezeigt, wie es durch ein geringfügig modifiziertes CRA-Modell sogar möglich ist, die Paradigmen der rein internen und rein externen Leistungsanalyse zu durchbrechen und gleichzeitig eine Optimierung der bankinternen Strukturen sowie eine Optimierung der Gesamtbankleistung im Interbankenvergleich zu erreichen.

Der Artikel ist folgendermaßen strukturiert: Kapitel II enthält einen kurzen Überblick über die aktuellen Entwicklungen in der Performancebewertung von Banken und Bankfilialen. Daran anschließend werden im dritten Kapitel das häufig verwendete DEA-Modell von Banker et al. (1984) und das neue CRA-Modell gegenübergestellt sowie deren methodische Vor- und Nachteile diskutiert. Im vierten Abschnitt werden die verwendeten Daten erläutert. Die Untersuchungsergebnisse werden in Kapitel V dargestellt. Der Artikel schließt mit einer kritischen Zusammenfassung der wesentlichen Ergebnisse und einem Ausblick auf weitere Forschungsfragen ab.

## 2. Literaturüberblick

Bereits kurz nach der Einführung der DEA durch Charnes et al. (1978) und Banker et al. (1984) haben Sherman und Gold (1985) eine erste Anwendung des Verfahrens im Bankensektor präsentiert. Sie analysieren die Leistungen von 14 Filialen einer Sparkasse. In der Folge sind zahlreiche weitere Untersuchungen entstanden. Aufgrund der geringen Verfügbarkeit von Filialdaten wurden jedoch hauptsächlich Gesamtbankvergleiche durchgeführt. Allein bis 1997 sind mehr als 130 Studien zur Bankeneffizienz publiziert worden. Einen umfassenden Überblick hierüber bieten Berger und Humphrey (1997). Einen sehr guten Überblick über die mehr als 220 Bankeffizienzstudien, die nach 1997 veröffentlicht worden sind, bieten Fethi und Pasiouras (2010) und Paradi et al. (2011). Trotz der Vielzahl an veröffentlichten Bankeneffizienzanalysen hat sich bisher jedoch kein einheitliches Bewertungsverfahren durchgesetzt. Die größte Uneinigkeit besteht bezüglich der Modellierung des Leistungserstellungsprozesses von Banken.<sup>1</sup> Während die Wichtigkeit und Rolle einzelner Faktoren, beispielsweise die Berücksichtigung von Personalkosten als Inputs, allgemein akzeptiert ist, wird vor allem die Rolle der Bankeneinlagen diskutiert. Zwar werden Einlagen in den meisten Studien als nicht vernachlässigbarer Faktor identifiziert, jedoch werden sie gleichermaßen als Input und als Output bei der Leistungsanalyse berücksichtigt. Berger und Humphrey (1991) und Berger und Humphrey (1997) klassifizieren Bankeffizienzmodelle demnach in zwei Gruppen: Die Produktivitätsmodelle und die Intermediationsmodelle. In Produktivitätsmodellen werden Einlagen als Output berücksichtigt. In Intermediationsmodellen gehen sie als Input in die Bewertung ein. Während das Intermediationsmodell häufiger auf der Gesamtbankebene verwendet wird, wird in Filialanalysen öfter das Produktivitätsmodell verwendet.

Für den Profitansatz als ein weiteres Bankeneffizienzmodell ist von Dyson et al. (2001) vorgeschlagen, das insbesondere bei Analysen auf Filialebene dieses Modell zunehmend verwendet wird. Im Profitansatz werden die Bankerträge allen entstandenen Kosten gegenübergestellt. Zumeist werden die einzelnen Posten nach Kerngeschäften zusammengefasst<sup>2</sup>, so dass das Bewertungsmodell aus wenigen Faktoren besteht. Im Gegensatz zum Intermediationsansatz und dem Produktivitätsansatz werden hauptsächlich Flussgrößen berücksichtigt. Einige Bank- und Bankfilialanalysen, welche den Profitansatz verwenden, bieten Sturm und Williams (2004), Ataullah und Le (2006), Drake et al. (2006), Pasiouras (2008) und Avkiran (2009).

Obwohl die Anzahl an Bankleistungsanalysen auf Filialebene in der letzten Dekade deutlich zugenommen hat, bleiben Auswirkungen etwaiger Abhängigkeiten der Filialen untereinander noch immer häufig unberücksichtigt. Zwar werden unterschiedlichste Faktorkonstellationen für die Effizienzanalyse verwendet, methodisch gibt es jedoch kaum Weiterentwicklungen zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Bewertungsperspektiven. Hauptsächlich werden die klassischen DEA-Modelle von Charnes et al. (1978) und Banker et al. (1984) zur Analyse von Filialeffizienzen in verschiedenen Bankensektoren angewendet. Infolgedessen sind Effizienzstudien auf Filialebene für zahlreiche Länder durchgeführt worden. So untersucht beispielsweise Porembski (2005) die Effizienz von 140 Filialen einer öffentlichen Bausparkasse in Deutschland. Portela und Thanassoulis (2007) verwenden unterschiedliche Faktorkonstellationen, um die interne Effizienz einer großen

---

<sup>1</sup> Für eine DEA-basierte Effizienzanalyse müssen die relevanten Faktoren eines Produktionsprozesses festgelegt und in Produktionsfaktoren (Inputs) und Produkte (Outputs) unterteilt werden.

<sup>2</sup> Beispielsweise werden die betrachteten Inputs ausschließlich in Zinserträge und Nichtzinserträge untergliedert.

Bank in Portugal zu ermitteln. Das et al. (2009) entwickeln ein Modell, welches die unterschiedlichen Rahmenbedingungen in verschiedenen Regionen Indiens bei der Analyse einer großen öffentlichen Bank berücksichtigen kann. Zahlreiche umfangreiche Studien untersuchen außerdem griechische und kanadische Bankfilialen, Giokas (2008) und Paradi und Schaffnit (2004). McEachern und Paradi (2007) führen sogar eine länderübergreifende Filialleistungsanalyse in einer multinational operierenden Großbank durch. Modifikationen der herkömmlichen DEA-Modelle werden in den aufgeführten Studien lediglich dazu entwickelt und verwendet, um externen Einflüssen Rechnung zu tragen, welche die Filialleistungen zu beeinflussen scheinen.

Ein erstes Bewertungsmodell, welches explizit auf die Auswirkungen durch von Bankfilialen gemeinsam genutzte Ressourcen abstellt, präsentieren Cook et al. (2000). Anhand von zusätzlichen „Assurance Region“-Restriktionen, ermöglicht ihr Modell den beschränkten Zugriff einzelner Filialen, etwa auf das gemeinsame Personalbudget, zu berücksichtigen. Erst in der Studie von Avkiran (2009) wird erneut auf die immensen Konsequenzen interner Abhängigkeiten verwiesen. Avkiran (2009) präsentiert ein Modell, welches erlaubt, Bankfilialen als ein Netzwerk von interdependenten Einheiten und Produktionsprozessen zu betrachten und so eine genauere individuelle Bewertung durchzuführen. Ein weiteres mehrstufiges Bewertungsmodell präsentieren Paradi et al. (2011). Auf dessen Basis führen sie eine umfassende Leistungsanalyse von 816 Filialen einer kanadischen Bank durch. Zwar sind diese jüngst entwickelten Modelle in der Lage, sehr komplexe intraorganisationelle Zusammenhänge abzubilden und eine gerechtere und genauere individuelle Filialleistungsanalyse durchzuführen, sie erlauben jedoch noch immer keine ganzheitliche Betrachtung der Gesamtbankperformance. Unter anderem wird die Möglichkeit einer kollektiven Effizienzsteigerung durch eine Ressourcenumverteilung nicht beachtet. Ein vielversprechendes Modell, welches bislang nicht auf seine Anwendbarkeit im Bankenmanagement untersucht wurde, haben Lozano und Villa (2004) präsentiert. Ihr CRA-DEA-Modell ist in der Lage, die Kollektivleistung eines Filialsystems zu untersuchen. Um die Funktionsweise des Verfahrens und der DEA im Allgemeinen zu erläutern, wird das CRA-DEA-Modell im nachfolgenden Abschnitt dem gewöhnlichen DEA-Modell von Banker et al. (1984) gegenübergestellt.

### 3. Effizienzmodelle

Data Envelopment Analysis (DEA) ist ein nicht-parametrisches Verfahren zur relativen Performancemessung. Entitäten, die mittels DEA bewertet werden, werden als Entscheidungseinheiten (DMU) bezeichnet.<sup>3</sup> Für eine Untersuchung mittels DEA wird eine homogene Gruppe von DMU benötigt, deren Leistungserstellungsprozess sich durch dieselben Input- und Output-Faktoren abbilden lässt. Durch den Vergleich der Produktionsstrukturen kann das Effizienzniveau, respektive die relative Leistung, einer DMU o quantifiziert werden. Der Bewertungsprozess erfolgt in einem zweistufigen Verfahren. Zunächst werden aus allen DMU diejenigen ermittelt, die mit den vorteilhaftesten Input/Output-Verhältnissen produzieren. Diese stellen die sog. best practice dar. Aus ihnen wird eine stetige, virtuelle Referenztechnologie, ähnlich einer Produktionsfunktion, extrapoliert. Im zweiten Schritt der

---

<sup>3</sup> In der aktuellen Literatur wird häufig außerdem zwischen DMUs und Sub-DMUs unterschieden. In den zunehmend verwendeten organisationsinternen Bewertungsansätzen setzt sich die Leistung einer DMU aus Teilprozessen zusammen, welche, teils semiautonom, durch zugehörige Sub-DMUs ausgeführt werden.

Bewertung werden die Produktionsstrukturen einer jeden DMU mit dieser Referenztechnologie verglichen. Das Ausmaß, in dem die DMU  $o$  von der Referenztechnologie abweicht, stellt ihr Verbesserungspotenzial dar. Die Bewertung der individuellen Leistungen kann jedoch unter verschiedenen Prämissen erfolgen. Das Verfahren kann beispielsweise dazu verwendet werden, zu ermitteln, mit welchem minimalen Ressourcenaufwand es für eine DMU  $o$  technisch noch möglich wäre, die aktuellen Outputs zu erzeugen. In diesem Fall spricht man von einer inputorientierten Bewertung. Auch die maximal zu erschaffenden Outputs bei konstanten Inputs oder bidirektionale Handlungsspielräume können ermittelt werden. Die Leistungsbewertung erfolgt dabei methodisch durch das Lösen von linearen Optimierungsproblemen. In der Bankenbewertung wird am häufigsten ein inputorientiertes Modell, welches variable Skalenerträge unterstellt, verwendet. Dieses wird auch als VRS-Modell<sup>4</sup> bezeichnet. Es ist in den Gleichungen (1a) bis (1d) dargestellt.

$$\begin{aligned} \min_{\theta_o^{VRS}, \lambda_j} \theta_o^{VRS} & \quad (1a) \\ \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^n \lambda_j x_{ij} & \leq \theta_o^{VRS} x_{io}, \forall i & \quad (1b) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j y_{kj} & \geq y_{ko}, \forall k & \quad (1c) \\ \sum_{j=1}^n \lambda_j & = 1 & \quad (1d) \\ \lambda_j & \geq 0 \end{aligned}$$

Dieses Optimierungsproblem ist für jede der  $n$  zu bewertenden Banken, resp. Bankfilialen, zu lösen. Der Parameter  $\theta_o^{VRS}$  bestimmt das Effizienzniveau der DMU  $o$ . Er ist im Intervall  $(0,1]$  definiert. Arbeitet eine DMU  $o$  effizient, so gilt  $\theta_o^{VRS} = 1$ . Arbeitet sie ineffizient, so gilt  $\theta_o^{VRS} < 1$ . Um den Effizienzwert zu bestimmen, wird eine DMU auf die Effizienzgrenze projiziert. Dies erfolgt durch eine Linearkombination der „Best-Practices“-DMUs mittels des  $\lambda$ -Vektors. So wird eine virtuelle Referenzeinheit geschaffen, die zur Erzeugung des Outputs von DMU  $o$  Inputs im selben Verhältnis aufwendet wie DMU  $o$ .  $\theta_o^{VRS}$  bemisst die Distanz zwischen einer DMU  $o$  und ihrer Projektion auf die Referenztechnologie. Er gibt an, auf welches Niveau sich die aufgewendeten Ressourcen technisch senken ließen, während trotzdem der aktuelle Output erzeugt werden kann. Die Projektion einer DMU  $o$  stellt somit ihr Leistungsziel dar.

Die technische Realisierbarkeit der Zielvorgaben wird durch die Berücksichtigung von 3 Arten von Nebenbedingungen gewährleistet. Die Nebenbedingungen (1b) stellen sicher, dass die im Optimum aufgewendeten Inputs einer DMU  $o$  mindestens denen der Zielvorgabe entsprechen. Die Quantität  $x_{ij}$  beinhaltet die Mengen des Inputs  $i$ , welche von allen  $n$  DMUs verwendet werden. Die Nebenbedingung (1b) muss für jeden Input  $i$  erfüllt werden. (1c) stellt sicher, dass die DMU  $o$  im Optimum von jedem Output  $k$  zumindest den aktuellen Wert erzeugen kann. Die Outputs aller DMUs sind durch die Quantität  $y_{kj}$  gegeben. Die Nebenbedingung (1d) definiert die zulässigen Erzeugungsarten der virtuellen Vergleichsobjekte. Im hier dargestellten Modell von Banker et al. (1984) werden mögliche Skaleneffekte

<sup>4</sup> Von engl. "variable returns to scale".

bei der Leistungsbewertung berücksichtigt. Eine DMU  $o$  wird somit nur mit einer gleich großen virtuellen Referenzeinheit verglichen. Der Parameter  $\theta^{VRS}$  wird deshalb auch als reine technische Effizienz bezeichnet.

Im Kontext der Bankenbewertung, insbesondere dann, wenn die internen Strukturen einer Bank berücksichtigt werden sollen, weist das gewöhnliche VRS-Modell jedoch zwei zentrale Schwachstellen auf. Weder ist es in der Lage, mögliche Wechselwirkungen zwischen einzelnen Filialen zu berücksichtigen, noch ermöglicht es eine globale Leistungsoptimierung potentiell zusammengehöriger DMUs durch gemeinsam genutzte Ressourcen. Gerade zwischen den Filialen einer Bank können jedoch erhebliche Wechselwirkungen bestehen. Da das normale DEA-Modell ausschließlich darauf abzielt, die individuelle Leistung einer Filiale zu verbessern, können Handlungsempfehlungen resultieren, die sich negativ auf den Handlungsspielraum anderer Filialen auswirken. Auch extreme Strategien<sup>5</sup> der Leistungsverbesserung können gemäß einer VRS-DEA individuell optimale Verhaltensweisen sein, auch wenn die Strategie zuungunsten der übrigen Filialen geht. Filiale  $o$  könnte zum Konkurrenten anderer Filialen derselben Bank erwachsen, unerwünschten bankinternen Wettbewerb<sup>6</sup> erzeugen und somit die Gesamtleistung der Bank u.U. sogar verschlechtern.

Auch behindert die rein individuelle Leistungsbewertung eine globale Leistungsmaximierung. So lässt das VRS-Modell ausschließlich die Reduktion von Ressourcen als Anpassungsstrategie zu. Die Möglichkeit des Verschiebens freier Ressourcen zu überdurchschnittlich produktiven Filialen, die bedeutsamste Möglichkeit eines zentralen Managements direkten Einfluss auf die Gesamtbankleistung auszuüben, ist nicht vorgesehen.

Diese beiden Probleme können mit dem CRA-DEA-Modell von (Lozano und Villa 2004) vermieden werden. Im Gegensatz zu der herkömmlichen DEA-basierten Bewertung, bei der jede Filiale einer Bank einzeln betrachtet wird, ermöglicht es CRA-DEA, die gesamte Ressourcenaufwandsstruktur einer Bank simultan zu analysieren. Durch das Verfahren wird eine optimale Verteilung der gemeinsamen Ressourcen in der Form berechnet, dass einzelne Filialen auch zusätzliche Ressourcen verbrauchen können, solange der Gesamtverbrauch der Bank nicht zunimmt. Vorhandene und transferierbare Ressourcen werden bei der Bewertung so aufgeteilt, dass die Gesamtproduktivität der Bank maximiert wird. Weil nicht mehr die individuellen Leistungen der einzelnen Filialen, sondern die Leistung der Gesamtbank bewertet wird, hat dies zur Folge, dass für die Filialen seltener extreme Strategien als Zielvorgabe zur Effizienzverbesserung bestimmt werden. Das CRA-Modell ist in den Gleichungen (2a) bis (2d) dargestellt.

---

<sup>5</sup> Beispielsweise das außergewöhnliche Minimieren des Verbrauchs einer einzelnen Ressource.

<sup>6</sup> Bankinterner Wettbewerb kann auch erwünscht sein. An dieser Stelle soll auf die Möglichkeit einer filialenoptimalen Verhaltensweise hingewiesen werden, die zur Verschlechterung der Leistungsfähigkeit der Gesamtorganisation führt.

$$\begin{aligned}
& \min_{\theta_o^{CRA}, \lambda_{jr}} \theta^{CRA} & (2a) \\
\text{s.t. } & \sum_{r=a}^b \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} x_{ij} \leq \theta^{CRA} \sum_{r=a}^b x_{ir}, \forall i & (2b) \\
& \sum_{r=a}^b \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} y_{kj} \geq \sum_{r=a}^b y_{kr}, \forall k & (2c) \\
& \sum_{j=1}^n \lambda_{jr} = 1, \forall r & (2d) \\
& \lambda_{jr} \geq 0
\end{aligned}$$

Die Notation ist im Vergleich zum gewöhnlichen DEA-Modell unverändert. Die  $x_i$ -Vektoren bezeichnen weiterhin die  $i$  Inputs und die  $y_k$ -Vektoren bezeichnen weiterhin die  $k$  Outputs. Ein großer Unterschied zwischen den Modellen besteht jedoch in den Optimierungsvariablen. Zum einen ist das Optimierungsproblem zur Bewertung der Leistungen aller Filialen einer Bank nur ein einziges Mal zu lösen. Dementsprechend wird für die gesamte Bank auch nur ein einziger Effizienzparameter  $\theta^{CRA}$  ermittelt. Er gibt an, auf welches Niveau die gesamten Inputs der bewerteten Bank technisch gesenkt werden können, ohne dass die Outputs vermindert werden. Dies ist möglich, weil alle Filialen simultan bewertet und auf die Referenztechnologie projiziert werden, sodass eine gesamtoptimale Ressourcenverteilung ermittelt wird. Das Modell ist somit in der Lage, sowohl die Auswirkungen individueller Verhaltensanpassungen auf die anderen Filialen sowie etwaige Verbesserungsmöglichkeiten durch eine Umverteilung verfügbarer Ressourcen zu berücksichtigen.

Neben den zusätzlich benötigten Summenoperatoren verändert sich gegenüber dem herkömmlichen Modell auch die Dimension des Gewichtungsvektors  $\lambda$ . Die Anzahl der  $\lambda$ -Variablen innerhalb des Optimierungsproblems nimmt um den Faktor  $n$  zu. Zwar steigt der Rechenaufwand dadurch exponentiell an, jedoch können auch größere Banken (>1000 Filialen) mittels aktueller Bürocomputer bewertet werden. Zur technischen Realisierbarkeit der Zielvorgaben des CRA-Modells sei angemerkt, dass die Referenztechnologie, welche durch das CRA-Modell ermittelt wird, stets Bestandteil der Referenztechnologie des VRS-Modells ist. Es werden ausschließlich solche Filialen zur Konstruktion von Zielvorgaben verwendet, die auch durch das VRS-Modell als effizient identifiziert würden. Die Anzahl an Filialen, welche zur Konstruktion der Zielvorgaben verwendet werden, kann im CRA-Modell jedoch abnehmen. Insbesondere extreme Strategien werden nur selten durch das CRA-Modell als Zielvorgaben ermittelt.

Die einzuhaltenden Nebenbedingungen (2b) bis (2d) sind äquivalent zu den Nebenbedingungen des VRS-Modells. Ein Unterschied besteht jedoch darin, dass ausschließlich die aufsummierten Inputs und Outputs Beschränkungen unterliegen. Die individuellen Produktionsstrukturen aller Filialen können beliebig angepasst werden. Durch (2b) wird sichergestellt, dass der Gesamtressourcenverbrauch nach der Restrukturierung nicht größer ist als zuvor, (2c) gewährleistet, dass das Outputniveau nicht sinkt und (2d) entspricht der Nebenbedingung (1d), welche ausschließlich konvexe Linearkombinationen der best practices als Lösungen zulässt.

Durch eine geringfügige Modifikation des ursprünglichen Modells von Lozano und Villa (2004) ist es möglich, ein weiteres Problem bankinterner Leistungsanalysen zu vereinfachen: Die zu geringe Anzahl an Bankfilialen. Falls eine Bank nur aus wenigen Filialen be-



steht, können nicht immer robuste Bewertungen der Filialleistungen vorgenommen werden.<sup>7</sup> Auch das ursprüngliche CRA-Modell wurde entwickelt, um eine optimale Ressourcenstruktur für ein geschlossenes System aus Sub-DMUs zu bestimmen. Externe Informationen, beispielsweise über weitere technisch realisierbare Produktionsstrukturen, werden bisher nicht berücksichtigt. Für die Summenlimits des ersten Summenoperators in den Nebenbedingungen (2b) und (2c) gilt im Standard-CRA-Modell dementsprechend  $a=1$  und  $b=n$ . Sind externe Informationen verfügbar, können diese durch das Anpassen von  $a$  und  $b$  bei der Bewertung berücksichtigt werden. Wie in den nachfolgenden Abschnitten noch gezeigt wird, können bei der Optimierung des Gesamtressourcenverbrauchs einer Bank somit auch die Leistungen der Filialen anderer Banken berücksichtigt werden. Die Filial- und Gesamtbankleistungen würden anhand einer globalen Referenztechnologie beurteilt. Somit können die Paradigmen der rein internen und rein externen Leistungsanalyse durchbrochen und ein Interbankenvergleich auf Basis bankinterner Informationen durchgeführt werden.

#### 4. Leistungsmodell und Daten

Um die Anwendbarkeit des CRA-Modells im Bankenmanagement zu untersuchen, wird, als numerisches Beispiel, eine Analyse der Leistungen dreier deutscher Genossenschaftsbanken durchgeführt. Da in Deutschland für Banken keine Pflicht zur Veröffentlichung detaillierter interner Leistungsdaten besteht, können interne Leistungsanalysen bisher nur in begrenztem Umfang durchgeführt werden. Die nachfolgend präsentierten und analysierten Daten wurden von drei Banken erhoben, die uns die Daten freiwillig für einen weit zurückgehenden Zeitraum 2003 – 2006 bereitgestellt hatten. Alle drei Banken weisen ähnliche Tätigkeitsschwerpunkte auf. Sie bedienen hauptsächlich Kredit- und Einlagengeschäfte mit Privatpersonen und kleinen und mittleren Unternehmen. Auch unterscheiden sich die Banken nicht erheblich in ihrer Größe.<sup>8</sup> Bank A besteht aus 20 Filialen, Bank B aus 16 und Bank C aus 13. Leichte Unterschiede bestehen allerdings in der räumlichen Umgebung, in der die Banken operieren. Während die Filialen von Bank A vornehmlich ländlich gelegen sind, liegen die Filialen der Banken B und C hauptsächlich innerhalb von Städten.

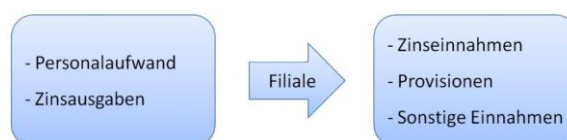


Abb. 1: Modell des Leistungserstellungsprozesses von Bankfilialen.

Die Leistungsbewertung der Bankfilialen erfolgt anhand eines Profitmodells, bei dem alle Kosten einer Filiale den gesamten Erträgen gegenübergestellt werden. Das Modell ist in Abb. 1 dargestellt und orientiert sich an Avkiran (2009). Die filialspezifischen Personalkosten sowie die für Kundeneinlagen zu leistenden Zinszahlungen werden als Inputs berücksichtigt. Zwar fallen neben den Personalkosten noch weitere Nichtzinsaufwendungen in den Filialen an, beispielsweise Pacht- und IT-Kosten, Informationen hierüber liegen jedoch nicht gleichermaßen für alle Banken vor. Als Outputs werden die jeweiligen Zinseinnahmen aus dem Kreditgeschäft, die Provisionseinnahmen sowie Einnahmen aus sonstigen Tätigkeiten<sup>9</sup>

<sup>7</sup> Für eine robuste DEA-Untersuchung werden ungefähr dreimal so viele Beobachtungen benötigt, wie Faktoren im Bewertungsmodell berücksichtigt werden (Dyson et al. 2001).

<sup>8</sup> Gemessen an der Bilanzsumme.

<sup>9</sup> Hierunter fallen Einnahmen aus Bauspar-, Wertpapier- und Versicherungsdienstleistungen.

berücksichtigt. Da die betrachteten Größen absolute monetäre Werte sind, spiegelt das in einer Analyse entdeckte Ausmaß der Ineffizienz direkt das Kosteneinsparpotential einer Filiale bzw. Bank wieder. Eine Zusammenfassung der erhobenen Daten ist in Tab. 1 dargestellt.

Alle in Tab. 1 angegebenen Werte sind absolute Geldwerte in tausenden Euro. Neben den Gesamtkosten sind außerdem die Standardabweichungen der jeweiligen Werte in Klammern angegeben. Für die empirische Analyse stehen insgesamt 143 Beobachtungen zur Verfügung. In den Jahren 2003 und 2004 liegen keine Daten von Bank A vor. Im Jahr 2006 fehlen die Werte für Bank C. Die Personalkosten (PEX) beinhalten alle Kosten, welche die Filialen für das Personal aufgewendet haben. Unter Zinsausgaben (IEX) sind gezahlte Zinsen auf Giro Guthaben und langfristigen Einlagen zusammengefasst. Dementsprechend werden unter Zinseinnahmen (IIN) Überziehungszinsen und erhaltene Darlehenszinsen aufsummiert. Unter Provisionseinnahmen (CIN) werden alle Nichtzinseinnahmen der Filialen aus dem Kreditgeschäft zusammengefasst. Die sonstigen Einnahmen (OIN) bestehen hauptsächlich aus Provisionen aus dem Wertpapier-, Bauspar- und Versicherungsgeschäft der Filialen.

**Tab. 1:** Empirische Daten. Die angegebenen Werte sind die Gesamtkosten und -erträge der jeweiligen Banken in tausenden €. PEX bezeichnet die Personalkosten, IEX die Zinszahlungen, IIN die Zinseinnahmen aus dem Kreditgeschäft, CIN die sonstigen Einnahmen aus dem Kreditgeschäft und OIN die sonstigen Einnahmen der Banken. Die Standardabweichung, bezogen auf die Filialen einer jeweiligen Bank, der Werte ist in Klammern angegeben. Insgesamt werden 143 Datensätze betrachtet.

		Inputs			Outputs		
	# Filialen	PEX	IEX	IIN	CIN	OIN	
2003	Bank A	-	-	-	-	-	
	Bank B	16	5833,50 (246,89)	9404,00 (371,71)	26782,02 (1806,06)	3771,85 (189,76)	733,39 (40,26)
	Bank C	13	1497,00 (76,53)	2834,59 (144,26)	3243,66 (319,49)	1603,00 (98,95)	421,03 (22,55)
2004	Bank A	-	-	-	-	-	
	Bank B	16	5961,20 (255,01)	9159,00 (360,20)	26910,07 (1880,73)	3901,51 (189,90)	473,91 (22,05)
	Bank C	13	1471,70 (75,34)	2642,15 (146,03)	3054,44 (363,07)	1638,00 (105,00)	318,13 (18,82)
2005	Bank A	20	4472,00 (150,05)	5112,22 (173,66)	16845,44 (704,72)	3012,61 (136,16)	1577,64 (56,59)
	Bank B	16	5884,00 (262,82)	9639,00 (398,39)	26063,22 (1838,85)	4661,67 (229,70)	611,28 (32,35)
	Bank C	13	1509,60 (79,67)	2707,72 (144,21)	3183,84 (398,90)	1593,00 (99,17)	308,94 (19,09)
2006	Bank A	20	4709,00 (156,95)	5707,48 (196,61)	16600,07 (720,79)	3011,22 (134,58)	1695,77 (64,21)
	Bank B	16	6102,70 (282,04)	11063,00 (504,83)	26101,98 (1890,04)	4222,25 (212,59)	817,51 (41,02)
	Bank C	-	-	-	-	-	-

## 5. Empirische Ergebnisse

Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Effizienzanalyse mit dem CRA-Modell sowie die Bewertung durch das VRS Modell sind in Tab. 2 dargestellt. Zwar sind Daten über mehrere Jahre verfügbar, aufgrund der unterschiedlichen Beobachtungszahlen pro Periode lassen sich jedoch keine Rückschlüsse über die Performanceentwicklung der betrachteten Banken ableiten. Die Bewertung wurde jeweils auf Grundlage der in einer Periode vorhandenen Daten durchgeführt. Dabei wurden die Filialen aller drei Banken gemeinsam betrachtet<sup>10</sup> Bei den Effizienzwerten, welche für das VRS-Modell angegeben werden,  $\theta^{VRS}$ , handelt es sich um

<sup>10</sup> Wie in Abschnitt 3 beschrieben, wäre eine getrennte Betrachtung der Banken aufgrund der geringen Anzahl an Beobachtungen nicht aussagekräftig. Insbesondere für Bank C, die nur aus 13 Filialen besteht, ist dies ein Problem. Es sei jedoch angemerkt, dass die Beobachtungen der Filialen der jeweils anderen Banken lediglich zur Ermittlung der optimalen Strategien verwendet werden. Eine Ressourcenverteilung zwischen den Banken findet nicht statt.

die durchschnittlichen Effizienzwerte der Filialen einer jeweiligen Bank. Dementsprechend sind diese Werte nicht direkt mit dem CRA-Performancemaß vergleichbar. Weil sich die bewerteten Banken aus Filialen unterschiedlicher Größen zusammensetzen, ergeben sich die tatsächlich identifizierten Einsparmöglichkeiten erst aus der Detailbetrachtung. Nichtsdestotrotz stellen die  $\theta^{VRS}$ -Werte einen ersten Anhaltspunkt für das zu erwartende Kosteneinsparpotential dar.

Auffällig beim Vergleich der identifizierten Leistungen ist zunächst, dass der ermittelte Effizienzwert des CRA-Modells,  $\theta^{CRA}$ , beinahe immer deutlich kleiner ist als der entsprechende durchschnittliche individuelle Effizienzwert  $\theta^{VRS}$ . Die Unterschiede liegen jeweils zwischen 2,5% (Bank B, 2006) und 12,4% (Bank C, 2005). Lediglich in einem Fall, (Bank B, 2005), sind die beiden Effizienzwerte  $\theta^{VRS}$  und  $\theta^{CRA}$  annähernd gleich. Die durchschnittliche Effizienz aller Filialen ist sogar leicht geringer als der CRA-Effizienzwert für Bank B. Dies deutet zunächst darauf hin, dass durch eine VRS-Analyse größere Einsparpotentiale zu identifizieren sind. Diese Ergebnisse werden jedoch durch eine detaillierte Betrachtung der technisch einzusparenden Gesamtkosten relativiert. Die aufsummierten einzusparenden Zinsausgaben und Personalkosten sind in Tab. 3 dargestellt.

**Tab. 2:** Effizienzwerte. Die Effizienzwerte gemäß dem CRA-Modell sind in den jeweiligen  $\theta^{CRA}$ -Spalten angegeben. In den  $\theta^{VRS}$ -Spalten sind die durchschnittlichen VRS-Filialeffizienzen einer Bank ausgewiesen. Die Leistungsbewertungen wurden jeweils immer unter Berücksichtigung aller in einem Jahr verfügbaren Informationen bestimmt. Die Effizienzwerte beziehen sich somit auf eine globale Referenztechnologie.

	Bank A		Bank B		Bank C	
	$\theta^{VRS}$	$\theta^{CRA}$	$\theta^{VRS}$	$\theta^{CRA}$	$\theta^{VRS}$	$\theta^{CRA}$
2003	-	-	0,759	0,685	0,935	0,813
2004	-	-	0,700	0,664	0,864	0,800
2005	0,935	0,897	0,733	0,740	0,888	0,764
2006	0,948	0,868	0,820	0,796	-	-

Über alle Banken und Betrachtungszeitpunkte werden durch das CRA-Modell deutlich mehr vermeidbare Kosten identifiziert. Auch für den obig erwähnten Fall der Bank B im Jahr 2005 würde die Restrukturierung der Gesamtbankressourcen auf Basis der CRA-Analyse gegenüber dem normalen DEA-Modell eine zusätzliche Ersparnis in Höhe von 397 Mio. € ermöglichen.<sup>11</sup> Dieser Wert liegt um 10,93% über den gemäß der VRS-DEA einzusparenden Kosten. Von der CRA-Analyse würde insgesamt Bank A am deutlichsten profitieren. Allein im Jahr 2006 wird durch die CRA-DEA ein beinahe dreimal so umfangreiches Kosteneinsparpotential wie durch die VRS-DEA identifiziert. Über die Jahre 2005 und 2006 könnte Bank A zusätzliche Kosten in Höhe von 1.322 Mrd. € vermeiden (das entspricht zusätzlichen Einsparmöglichkeiten von +127,47% gegenüber dem VRS-Modell.). Ähnlich große Einsparmöglichkeiten, insgesamt um 1.276 Mrd. € (+94,29%) mehr als durch das VRS-Modell, könnten von Bank C realisiert werden. Absolut betrachtet ist die Zunahme des realisierbaren Einsparpotentials für Bank B mit 3.476 Mrd. € (+24,96%) sogar noch größer. Die CRA-Ergebnisse deuten demnach an, dass gemeinsam genutzte Ressourcen einen erheblichen Einfluss auf das Zusammenwirken der Filialen einer Bank haben können. Die Berücksichtigung von Ressourcenverschiebungen, soweit möglich, bietet somit erhebliche Vorteile.

<sup>11</sup> Dies kommt dadurch zustande, dass die einzelnen Filialen unterschiedliche groß sind. Obwohl der durchschnittliche VRS-Effizienzwert geringer ist als der CRA-Wert, führt der mittels des  $\lambda$ -Vektors im VRS-Modell ermittelte optimale Produktionsplan zu einem größeren Ressourcenverbrauch.

Der zentrale Vorteil des CRA-Modells liegt in der ganzheitlichen Optimierung der Ressourcenstrukturen. Diese führt zu deutlichen Abweichungen der Zielvorgaben zwischen dem CRA-Modell und dem VRS-Modell. Die aus beiden Bewertungsverfahren resultierenden optimalen Verhaltensweisen und Anpassungsempfehlungen sind in Tab. 4 (VRS-Modell) und Tab. 5 (CRA-Modell) zusammengefasst. Die Tabellen enthalten ausschließlich Angaben zu denjenigen Filialen, die während des gesamten Analysezeitraums jemals zur Bewertung anderer Filialen verwendet wurden, also effizient waren. Diese sind durch die Spalte *ID* gekennzeichnet. Die Benennung aller Bankfilialen ist fortlaufend. Die ersten 20 Filialen gehören zur Bank A, die Filialen 21 bis 36 zur Bank B und die Filialen 37 bis 49 zur Bank C. Für die Jahre 2003 und 2004 sind keine Daten der Bank A verfügbar. Dementsprechend sind in Tab. 4 und Tab. 5 hier keine Werte enthalten. Gleiches gilt für Bank C im Jahr 2006. Die einzelnen Spalten der Tabellen enthalten die durch das jeweilige Modell ermittelten optimalen Zusammensetzungen einer Bank. Der angegebene Wert gibt jeweils an, in welchem prozentualen Ausmaß eine Bank die Produktionsstrukturen einer bestimmten Filiale imitieren sollte.

**Tab. 3:** Mögliche Einsparungen. Die ausgewiesenen Einsparmöglichkeiten bestehen aus Personal- und Zinsausgaben und ergeben sich aus den Differenzen zwischen den tatsächlichen und den auf die Referenztechnologie projizierten Filialen. In den mit VRS (CRA) gekennzeichneten Spalten ist das, durch das VRS-Modell (CRA-Modell) entdeckte, Einsparpotential einer Bank in tausenden € ausgewiesen.

	Bank A		Bank B		Bank C	
	VRS	CRA	VRS	CRA	VRS	CRA
2003	-	-	3417,84	4794,77	292,09	809,98
2004	-	-	3957,65	5073,62	526,69	823,27
2005	552,88	985,51	3633,20	4030,46	534,81	996,59
2006	484,42	1374,01	2915,01	3500,36	-	-

Bei der Betrachtung der optimalen Strukturen ist zunächst auffällig, dass durch das VRS-Modell deutlich mehr Filialen zur Konstruktion der Referenztechnologie verwendet werden als durch das CRA-Modell. Insgesamt werden durch VRS-Modell im Zeitraum zwischen 2003 und 2006 29 verschiedene Filialen als effizient eingestuft und zur Bewertung der restlichen Filialen verwendet. Im Gegensatz dazu werden durch das CRA-Modell nur 18 Filialen verwendet. Insbesondere Filialen der Bank A stellen hier in deutlich geringerem Umfang best practices dar. 9 der 15 Filialen von Bank A, die im VRS-Modell effizient operieren, werden bei der Optimierung der Bankengesamtleistungen durch das CRA-Modell nicht als Benchmark verwendet. Im Hinblick auf die kollektive Leistung verhalten sich diese Filialen somit nicht optimal.

Des Weiteren ist auffällig, dass die Bedeutung einzelner Filialen bei der Bestimmung des optimalen Verhaltens annähernd stabil ist. Filialen, die durch das VRS-Modell sehr häufig zur Bewertung und Konstruktion der individuellen Zielvorgaben verwendet werden, sind auch bei der CRA-Bewertung von größerer Bedeutung. Lediglich in einem Fall, bei den Zielvorgaben für Bank B im Jahr 2003, soll gemäß der VRS-Analyse zu großen Teilen (23,05%) das Verhalten einer Filiale (48) kopiert werden, welche in der CRA-Empfehlung vollkommen unberücksichtigt bleibt. Filialen, die im VRS-Modell in keinem oder nur geringem Umfang eine optimale Verhaltensweise repräsentieren, sind im CRA-Modell zumeist vollkommen unbedeutend. Insgesamt sind die Anteile, zu denen das Verhalten einzelner Filialen kopiert werden sollen, im CRA-Modell deutlich größer. Im Optimum sollen lediglich einige wenige Filialen in großem Umfang imitiert werden.



**Tab. 5:** Lösungen der CRA-Optimierung. Die angegebenen Werte stellen den prozentualen Anteil dar, zu dem eine Gesamtbank das Verhalten einzelner Filialen kopieren sollte. Jede Spalte steht für eine der drei Banken zu einem Zeitpunkt. Beispiel: Der  $\lambda_B^{\text{CRA}}$ -Wert von 20,76 im Jahr 2003 für ID 21 gibt an, dass es für Bank B im Jahr 2003 optimal gewesen wäre, zu 20,76% das Verhalten der Filiale 21 zu imitieren. Die Tabelle enthält ausschließlich Informationen zu Filialen, die während der gesamten Untersuchung zur Konstruktion von Filialzielen verwendet wurden, also in einem Jahr effizient produziert haben.

ID	2003			2004			2005			2006			
	$\lambda_A^{\text{CRA}}$	$\lambda_B^{\text{CRA}}$	$\lambda_C^{\text{CRA}}$	$\lambda_A^{\text{CRA}}$	$\lambda_B^{\text{CRA}}$	$\lambda_C^{\text{CRA}}$	$\lambda_A^{\text{CRA}}$	$\lambda_B^{\text{CRA}}$	$\lambda_C^{\text{CRA}}$	$\lambda_A^{\text{CRA}}$	$\lambda_B^{\text{CRA}}$	$\lambda_C^{\text{CRA}}$	
Bank A	1	-	-	-	-	-	3,19	0,51	6,31	17,78	9,04	-	
	3	-	-	-	-	-	37,17	0,00	0,00	52,97	0,00	-	
	10	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00	23,27	0,00	-	
	11	-	-	-	-	-	22,01	0,00	5,18	2,08	0,79	-	
	16	-	-	-	-	-	12,03	0,00	0,00	0,00	0,00	-	
	18	-	-	-	-	-	20,00	0,00	0,00	3,90	0,00	-	
Bank B	21	-	20,76	2,30	-	20,70	0,00	0,00	19,28	0,00	0,00	11,30	-
	26	-	2,01	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-
	27	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,04	-
	32	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	57,82	-
Bank C	37	-	3,99	14,59	-	6,24	8,90	5,59	11,83	4,77	-	-	-
	41	-	0,00	0,00	-	0,00	27,76	0,00	0,00	0,00	-	-	-
	42	-	61,01	53,27	-	47,57	46,00	0,00	45,24	77,58	-	-	-
	43	-	0,00	0,00	-	0,00	13,84	0,00	6,25	0,00	-	-	-
	45	-	12,24	0,00	-	18,00	3,49	0,00	0,00	0,00	-	-	-
	46	-	0,00	16,14	-	7,48	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
	48	-	0,00	13,70	-	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-
	49	-	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00	16,89	6,16	-	-	-
$\Sigma$	-	100	100	-	100	100	100	100	100	100	100	-	

Durch die Verwendung des modifizierten CRA-Modells scheint insbesondere Bank B zu profitieren. Bereits aus Tab. 4 wird deutlich, dass es für die Filialen der Bank nur selten eine optimale Strategie ist, das Verhalten von Filialen der eigenen Bank zu imitieren. Im Optimum kopiert Bank B zu großen Teilen das Verhalten von Filialen der Bank C. Auch im Jahr 2006, wenn keine Referenzdaten der Bank C mehr vorliegen, ist es für Bank B optimal, sich größtenteils an den Filialen von Bank A zu orientieren. Besonders für die Jahre 2003 bis 2005 spiegelt sich dieses Ergebnis auch in den Projektionen durch das modifizierte CRA-DEA-Modell, Tab. 5, wider. Im Optimum kopiert Bank C zu ungefähr 80% das Verhalten von Filialen der Bank C. Ohne die Anpassung des ursprünglichen CRA-Modells von (Lozano und Villa 2004) wäre das Verwenden der gemeinsamen Referenztechnologie nicht möglich gewesen und ähnliche Leistungssteigerungen nicht zu erzielen gewesen.

## 6. Fazit

Immer häufiger stehen die Auswirkungen interner Strukturen auf die Leistungsfähigkeit einer Bank im Fokus aktueller Untersuchungen. Obgleich bereits neue Bewertungsmodelle präsentiert wurden, bleiben die Problematik und die Potentiale durch gemeinsam genutzte Ressourcen bisher noch unberücksichtigt. Leistungsbewertungen und das Ableiten von Handlungsempfehlungen erfolgen zumeist im Hinblick auf die individuellen Leistungen der Filialen. Die Gesamtleistung des Filialsystems wird selten beachtet. Mit ihrem CRA-Modell

haben (Lozano und Villa 2004) ein Bewertungsverfahren präsentiert, welches diese Probleme aufgreift. Ziel dieses Artikels war es, die Anwendbarkeit des CRA-Modells in der Bankensteuerung zu untersuchen. Am Beispiel einer Analyse der Filialleistungen deutscher Genossenschaftsbanken wurde gezeigt, dass Banken durch eine Optimierung ihrer internen Ressourcenverteilung hohe Kosteneinsparungen erreichen könnten. Durch das CRA-Modell wird mitunter ein Vielfaches der Einsparmöglichkeiten identifiziert, wie durch das häufig verwendete VRS-DEA-Modell aufzufinden ist. Dies ist möglich, weil das CRA-Modell eine ganzheitliche Betrachtung und Optimierung der Bankenleistung durchführt, bei denen auch ein individuelles Steigern des Ressourcenverbrauchs in einigen Filialen eine mögliche Handlungsalternative darstellt. Des Weiteren wurde eine geringfügige Modifikation des Modells von (Lozano und Villa 2004) vorgestellt, die es erlaubt, auf Basis bankinterner Leistungsdaten, einen Interbankenvergleich durchzuführen. Das angepasste Modell ermöglicht es, die Leistungen der Filialen unterschiedlicher Banken anhand einer gemeinsamen Referenztechnologie zu messen und somit simultan die internen Strukturen einer Bank und ihre Leistung im Interbankenvergleich zu verbessern.

Das vorgestellte CRA-Modell scheint nicht uneingeschränkt für den praktischen Einsatz geeignet. Nur selten verfügen Banken über derart detaillierte Leistungsdaten anderer Banken, sodass die Verwendung des Modells nicht möglich ist. Ein vielversprechendes Einsatzgebiet wären jedoch öffentlich-rechtliche Kreditinstitute. In solchen könnten erhebliche Verbesserungspotentiale erschlossen werden, falls ein bankübergreifender Informationsaustausch politisch unterstützt wird. Obgleich die präsentierte Fallstudie primär der Veranschaulichung der Methodik dient, bieten weitere Aspekte Ansatzpunkte für Kritik. Zum einen kann, aufgrund der leicht unterschiedlichen Lage der untersuchten Banken, deren Vergleichbarkeit angezweifelt werden. Zum anderen ist auch die Modellierung des Bewertungsmodells kritisch zu hinterfragen. Obwohl Personal relativ unkompliziert über die einzelnen Filialen aufgeteilt werden kann, ist dies bei den zu leistenden Zinszahlungen eher schwierig. Diese Unvollkommenheiten sind jedoch der beschränkten Datenverfügbarkeit geschuldet und waren nicht zu vermeiden.

## Literatur

- Ataullah, A., Le, H. (2006) Economic reforms and bank efficiency in developing countries: The case of the Indian banking industry. *Applied Financial Economics*, 16, S. 653-663.
- Avkiran, N. (2009) Opening the black box of efficiency analysis: An illustration with UAE banks. *Omega*, 37, S. 930-941.
- Banker, R., Charnes, A., Cooper, W. (1984) Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30, S. 1078-1092.
- Berger, A., Humphrey, D. (1991) The dominance of inefficiencies over scale and product mix economies in banking. *Journal of Monetary Economics*, 28, S. 117-148.
- Berger, A., Humphrey, D. (1997) Efficiency of financial institutions: International survey and directions for future research. *European Journal of Operational Research*, 98, S. 175-212.
- Charnes, A., Cooper, W., Rhodes, E. (1978) Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2, S. 429-444.
- Cook, W., Hababou, M., Tuenter, H. (2000) 'Multicomponent Efficiency Measurement and Shared Inputs in Data Envelopment Analysis: An Application to Sales and Service Performance in Bank Branches. *Journal of Productivity Analysis*, 14, S. 209-224.



- Das, A., Ray, S., Nag, A. (2009) Labour-use efficiency in Indian banking: A branch-level analysis. *Omega*, 37, S. 411-425.
- Drake, L., Hall, M., Simper, R. (2006) The impact of macroeconomic and regulatory factors on bank efficiency: A non-parametric analysis of Hong Kong's banking system. *Journal of Banking and Finance*, 30, S. 1443-1466.
- Dyson, R., Allen, R., Camanho, A., Podinovski, V., Sarrico, C., Shale, E. (2001) Pitfalls and protocols in DEA. *European Journal of Operational Research*, 132, S. 245-259.
- Fethi, M., Pasiouras, F. (2010) Assessing bank efficiency and performance with operational research and artificial intelligence techniques: A survey. *European Journal of Operational Research*, 204, S. 189-198.
- Giokas, D. (2008) Assessing the efficiency in operations of a large Greek bank branch network adopting different economic behaviors. *Economic Modelling*, 25, S. 559-574.
- Lozano, S., Villa, G. (2004) Centralized resource allocation using data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 22, S.143-161.
- McEachern, D., Paradi, J. (2007) Intra- and inter- country bank branch assessment using DEA. *Journal of Productivity Analysis*, 27, S. 123-136.
- Paradi, J., Rouatt, S., Zhu, H. (2011) Two-stage evaluation of bank branch efficiency using data envelopment analysis. *Omega*, 39, S. 99-109.
- Paradi, J., Schaffnit, C. (2004) Commercial branch performance evaluation and results communication in a Canadian bank - A DEA application. *European Journal of Operational Research*, 156, S. 719-735.
- Pasiouras, F. (2008) Estimating the technical and scale efficiency of Greek commercial banks: The impact of credit risk, off-balance sheet activities, and international operations. *Research in International Business and Finance*, 22, S. 301-318.
- Poddig, Th., Varmaz, A. (2005) Data Envelopment Analysis. *Controlling*, 17, S. 565-572.
- Porembski, M. (2005) Visualizing efficiency and reference relations in data envelopment analysis with an application to the branches of a German bank. *Journal of Productivity Analysis*, 23, S. 203-221.
- Portela, M., Thanassoulis, E. (2007) Comparative efficiency analysis of Portuguese bank branches. *European Journal of Operational Research*, 177, S. 1275-1288.
- Sherman, D., Gold, F. (1985) Branch operating efficiency: Evaluation with Data Envelopment Analysis. *Journal of Banking and Finance*, 9, S. 297-315.
- Sturm, J., Williams, B. (2004) Foreign bank entry, deregulation and bank efficiency: Lessons from the Australian experience. *Journal of Banking and Finance*, 28, S. 1775-1799.
- Varmaz, A., Varwig, A., Poddig, Th. (2013) Centralized resource planning and Yardstick competition. *Omega*, 41, S. 112-118.

## Beitrag 4: DevOps: IT-Entwicklung im Industrie 4.0-Zeitalter

---

Titel	DevOps: IT-Entwicklung im Industrie 4.0-Zeitalter
Autoren	Oliver Thomas, <b>Andreas Varwig</b> , Friedemann Kammler, Benedikt Zobel, Alexander Fuchs
Publikationsorgan	HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik
Ranking	VHB JQ3: D WKWI: B
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Thomas, O., Varwig, A., Kammler, F., Zobel, B. & Fuchs, A. (2017). DevOps: IT-Entwicklung im Industrie 4.0-Zeitalter. HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik, 54(2), S. 178-188.
Abstract	<p>Geringe Reaktionszeiten und hohe Flexibilität in der Informationsverarbeitung werden für Unternehmen aller Größen und Branchen immer wichtiger. Gleichzeitig steigen die zu verarbeitenden Datenmengen durch immer vielseitigere Sensoren und den Einsatz neuer Technologien. Nicht zuletzt nehmen auch Unternehmenskooperationen und die Zahl der interorganisationellen IT-Plattformen stetig zu. Dadurch haben sich die Anforderungen an moderne IT-Lösungen und -Systeme in den letzten Jahren drastisch verändert. Branchen nahezu aller Art stehen unter dem Druck, ihre Geschäftsmodelle und die unterliegenden IT-Lösungen in immer kürzeren Zyklen an die neuen Möglichkeiten anzupassen. Dies macht die Abkehr von klassischen, rigiden Softwareentwicklungsprozessen und die Umsetzung von agilen Softwareentwicklungsstrategien bereits heute zu einem festen Bestandteil vieler IT-Organisationen. DevOps-Praktiken führen das agile Prinzip auf nachgelagerte Prozesse wie Bereitstellung und Betrieb von Software fort und gelten als letzter Baustein für eine reaktionsfähige IT im digitalen Zeitalter.</p>
Identifikation	ISSN (Online) 2198-2775 ISSN (Print) 1436-3011 DOI: 10.1365/s40702-017-0291-8
Link	<a href="http://link.springer.com/article/10.1365%2Fs40702-017-0291-8">http://link.springer.com/article/10.1365%2Fs40702-017-0291-8</a>
Copyright	© Springer Fachmedien Wiesbaden 2017.

---

Tab. 5: Factsheet Beitrag 4

# DevOps: IT-Entwicklung im Industrie 4.0-Zeitalter

## Zusammenfassung

Geringe Reaktionszeiten und hohe Flexibilität in der Informationsverarbeitung werden für Unternehmen aller Größen und Branchen immer wichtiger. Gleichzeitig steigen die zu verarbeitenden Datenmengen durch immer vielseitigere Sensoren und den Einsatz neuer Technologien. Nicht zuletzt nehmen auch Unternehmenskooperationen und die Zahl der interorganisationalen IT-Plattformen stetig zu. Dadurch haben sich die Anforderungen an moderne IT-Lösungen und -Systeme in den letzten Jahren drastisch verändert. Branchen nahezu aller Art stehen unter dem Druck, ihre Geschäftsmodelle und die unterliegenden IT-Lösungen in immer kürzeren Zyklen an die neuen Möglichkeiten anzupassen. Dies macht die Abkehr von klassischen, rigiden Softwareentwicklungsprozessen und die Umsetzung von agilen Softwareentwicklungsstrategien bereits heute zu einem festen Bestandteil vieler IT-Organisationen. DevOps-Praktiken führen das agile Prinzip auf nachgelagerte Prozesse wie Bereitstellung und Betrieb von Software fort und gelten als letzter Baustein für eine reaktionsfähige IT im digitalen Zeitalter.

## 1. Hintergrund

Geringe Reaktionszeiten und hohe Flexibilität in der Informationsverarbeitung werden zu zentralen Faktoren für den Unternehmenserfolg. Kundenwünsche und -anforderungen an Produkte und Dienstleistungen werden immer individueller. Zudem verschärft sich durch den stetig wachsenden Internethandel und die zunehmende Verfügbarkeit von Web-Plattformen zur Vermittlung oder Bereitstellung vielfältiger Dienstleistungen die Konkurrenzsituation allerorten. Unternehmen müssen umfassendere und komplexere Informationen als jemals zuvor verarbeiten. Diese Entwicklung ist auch unternehmensintern zu beobachten. Die eigenen Fachbereiche stellen stetig kreativere Anforderungen an die vorhandenen Informationsverarbeitungssysteme. Das Marketing will Nachfragevorhersagen und Kunden- und Marktpotentialanalysen anhand von Social-Media-Daten durchführen. Der Einkauf ist überzeugt, realistischere Prognosen für Materialkosten durch die Analyse von Makroindikatoren aus externen Datenquellen treffen zu können und die Logistik möchte Transportstrecken und -kosten durch Verkehrs- und Wetterprognosen optimieren. All dies schlägt sich bereits direkt in den Anforderungen an moderne IT-Systeme nieder.

Noch bedeutender sind jedoch die Veränderungen unternehmenseigener Informationen. Als direkte Folge der Industrie 4.0-Entwicklungen hat sich die Menge an verfügbaren Prozess- und Maschinendaten vervielfacht. Es werden zunehmend mehr und variantenreichere Sensortechnologien eingesetzt und Maschinendaten erhoben. Darüber hinaus verändern sich auch die Zugriffsanforderungen enorm. Insgesamt steht die IT neuen Anforderungen gegenüber, die sich im Kern durch eine kürzere Reaktionsgeschwindigkeit sowie ein höheres Integrationsniveau interner und unternehmendübergreifender Anwendungslandschaften auszeichnen. Mit steigender IT-Durchdringung gelten mehr denn je höchste Ansprüche an die Verfügbarkeit und Zuverlässigkeit von IT-Systemen, die in immer kürzeren Abständen ausgeliefert werden. Die IT muss neue Wege finden, um in diesem Spannungsfeld adäquate Lösungen zu produzieren.

## 2. IT-Entwicklung gestern und heute

Mitte der 2000er-Jahre hat sich eine Bewegung gebildet, welche die immense Wichtigkeit des Faktors Zeit betont und die Umsetzung neuer, flexiblerer IT-Entwicklungsstrategien empfiehlt. Experten dieser Bewegung regen bei der Software- und IT-Entwicklung eine konsequente und direkte Zusammenarbeit zwischen Anwendungsentwicklern, Anwendern und den für den IT-Betrieb zuständigen Teams an. Diese Forderung wurde unter dem Begriff „Dev-Ops“, eine Zusammenführung der englischen Begriffe „Development“ (dt.: Entwicklung) und „Operations“ (dt.: Betrieb), zusammengefasst. Heute gilt DevOps als Überbegriff für agile IT-Entwicklungsprozesse und Strategien.

Für die industrielle Software- und IT-Entwicklung stellt DevOps einen radikalen Umbruch dar (Ravichandran et al. 2016). Daher ist es zunächst unerlässlich, den praktischen Nutzen klarer zu umreißen und einen State-of-the-Art von DevOps zu erheben. Praxisrelevant sind dabei insbesondere a) der Reifegrad, b) die Praktikabilität und Umsetzbarkeit und c) die Zukunftssicherheit von DevOps. Der konzeptuelle Reifegrad von DevOps lässt sich durch die Betrachtung der Verbreitung und Beschaffenheit der existierenden (Umsetzungs-) Frameworks erschließen. Die Praktikabilität und Realisierbarkeit von DevOps-Strategien wird durch die Anforderungen an die Organisationsstrukturen und Mitarbeiterfähigkeiten und durch die Akzeptanz der beteiligten Parteien determiniert. Für die Bewertung der Zukunftssicherheit ist es letztendlich notwendig, die (implizite) Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit in der DevOps-basierten Entwicklung eingehender zu beleuchten.

### 2.1. DevOps – Verbreitung und Vorgehensmodelle

#### 2.1.1 Von Agiler Softwareentwicklung zu DevOps

Die DevOps-Bewegung ist unter anderem auf die hier geführten Diskussionen um „Agile System Administration“ und „Enterprise Systems Management“ zurückzuführen. Das „Agile Manifest“, dessen Grundsätze heute von zentraler Bedeutung für DevOps-Strategien sind, wurde 2001 veröffentlicht. So haben sich inzwischen sogenannte „agile Praktiken“ in der Softwareentwicklung durchgesetzt. Unter erstere Kategorie fallen bspw. agile Methoden wie das Pair Programming und das Testdriven Development sowie agile Prozesse wie Scrum und Extreme Programming (Davidson und Klemme 2016). DevOps-Methoden und -Prozesse vereinen agile Softwareentwicklung und das vom IT-Betrieb zu verantwortende „Configuration“ oder „Systems Management“ sowie Supportleistungen zu einem agilen Gesamtkonzept. Die Verbindung manifestiert sich vor allem durch Praktiken wie „Continuous Delivery“, das hochfrequente und kontinuierliche Ausliefern von hochqualitativen Softwareversionen. Dies hat zur Folge, dass Development- und Operationsprozesse ständig ineinandergreifen und entgegen klassischer Ansätze nicht mehr arbeitsteilig, sondern als einheitliche Zuständigkeit gebündelt werden.

#### 2.1.2 Fallstudie: Softwareentwicklung und -Betrieb in einem Unternehmen der

##### Food-Branche

Bei dem betrachteten Unternehmen handelt es sich um einen führenden Anbieter der Food-Branche mit globalen Aktivitäten und einem Umsatz von ca. 500 Mio. EUR. Der Nahrungsmittelhersteller mit Hauptsitz in Deutschland hat anhand eigener Erfahrungen festgestellt, dass die klassische Arbeitsteilung nach dem Plan-Build-Run-Prinzip zunehmend in Frage gestellt werden muss und daher agile Methoden in der Anwendungsentwicklung eingeführt, (vgl. Fuchs et al. 2012). Als wesentlicher Erfolgsfaktor hat sich im Speziellen Continuous Deployment mit dem Prinzip „you build it, you run it“ herausgestellt. Letzteres bedeutet,

dass die mit der Implementierung beauftragten Softwareentwickler auch für den späteren Betrieb der Anwendung zuständig sind. Damit wird den Entwicklern ein Anreiz gegeben, Qualität von vornherein einzubauen sowie nach Lösungen für einen effizienten Betrieb zu suchen. In der Folge werden u. a. Continuous-Deployment-Praktiken angewendet, um Codeanpassungen jeweils kurzfristig anhand realer Bedingungen zu verifizieren. Um diese Praktik zu ermöglichen wurde in Infrastruktur-Automatisierung (Deployment Pipeline) sowie in den Aufbau solider Monitoring-Mechanismen wie etwa Logging und Error-Tracking investiert, die toolgestützt ausgeführt werden.

Aufgrund der positiven Erfahrungen wurden die beschriebenen Praktiken in weiteren Projekten angewendet, insbesondere in Szenarien mit unsicheren Anforderungen, sowie auch für die Ermöglichung einer sukzessiven Ablösung von Legacy-Systemen und für Anwendungsgebiete, die nicht adäquat durch Standardsoftware abgebildet werden können und daher eine Individuallösung erfordern. Mit dem Ziel kurze Reaktionszeiten in der IT zu ermöglichen, wurde es bewusst vermieden ein monolithisches System zu entwickeln. Stattdessen wurden diverse kleinere, entkoppelte Anwendungen geschaffen, die jeweils einen abgeschlossenen fachlichen Kontext abdecken. Jede Applikation hat ihre eigene Datenhaltung und Laufzeitumgebung und kann über HTTP (synchron) oder einen Messaging Service (asynchron) mit anderen Services über deren API kommunizieren. Somit können trotz der Entkopplung sämtliche Integrationsanforderungen abgebildet werden.

**Tab. 1** Anzahl Deployments ausgewählter Anwendungen

Anwendung / Service	Entwicklungsbeginn	Erstes Produktiv-Deployment	Codezeilen und Testabdeckung	Anzahl Deployments seit Entwicklungsbeginn <sup>a</sup> bis Jan 2017
Artikelstammverwaltung	04.2012	09.2012	5.507 / 96,97%	2.339
Preis- und Konditionssystem	11.2011	01.2012	1.293 / 95,20%	447
Kundenservice	11.2011	02.2012	733 / 94,48%	397
Produktspezifikationen	09.2014	11.2014	1.801 / 85,53%	605
Listungen	11.2013	02.2014	1.371 / 89,27%	633

<sup>a</sup> In Test und Produktivsystem

Dieses auch als Microservices bekannte Architekturmuster trägt dazu bei, Softwareanpassungen von der Codeänderung bis zur Produktivsetzung in der umfangreichen Anwendungslandschaft des Unternehmens zu beschleunigen, indem klare Zuständigkeiten geschaffen und vermeidbare Abhängigkeiten systematisch reduziert werden. Der Umfang einzelner Microservices ist derart begrenzt, dass sie für ein einzelnes Teammitglied noch komplett verstehbar sind. Für jeden Microservice ist immer genau ein dediziertes Team aus Softwareentwicklern und Anwendern über seinen gesamten Lebenszyklus verantwortlich. Umgekehrt sind einzelne Personen oder Teams üblicherweise für mehrere Microservices zuständig. Viele Changes, die als Anforderung der Business Seite an die IT herangetragen werden, wie beispielsweise Änderungen an Datenmodellen, lassen sich innerhalb eines einzelnen Microservices umsetzen. Somit muss das für den betreffenden Service zuständige Team lediglich einen Service anpassen und ggf. dessen APIs entsprechend erweitern. Arbeiten zur Berücksichtigung vor- und nachgelagerter Systeme und Prozesse, können somit auf

ein Minimum reduziert werden. Da den Teams eine relativ hohe Autonomie zugestanden wird, können Änderungen ohne lange Freigabeprozesse durchgeführt werden. Durch den hohen Automatisierungsgrad der Operations-Prozesse Deployment und Monitoring gelingt es den Entwicklern, ihren Schwerpunkt trotz der zusätzlichen Verantwortung weiterhin auf Softwareentwicklung zu legen. Im Ergebnis wurde die Reaktionszeit der Unternehmens-IT nachhaltig verkürzt (vgl. Tab. 1). Während früher ein Releasewechsel für eine Softwaresuite wie ein ERP- oder CRM-System alle drei Jahre zuzüglich vereinzelter unterjähriger Patches die Regel war, werden nun bis zu mehrere hundert Code-Änderungen pro Microservice pro Jahr produktivgesetzt. Somit ist es der IT gelungen, sehr dicht an die Business-Seite aufzuschließen.

### **2.1.3 DevOps aus der Perspektive der Praxis**

Die DevOps zugrundeliegenden Ideen und Konzepte sind nicht neu. Bereits Ende der 1990er-Jahre sind erste Vorschläge für eine Abkehr vom klassischen Wasserfallmodell in der IT-Entwicklung aufgekommen. Durch die Verbreitung der agilen Softwareentwicklung wurden die Grenzen zwischen Anforderungsanalyse, Entwicklung (Coding) und Testen aufgebrochen. Die Prozesse werden im agilen Umfeld nicht mehr als separat voneinander betrachtet, sondern finden in kurzen Zyklen statt und greifen somit unmittelbar ineinander. Deployment, Configuration Management und Betrieb (Operations) sind die letzten übrigen Aktivitäten in der IT, die über lange Zeit in ähnliche Weise isoliert waren und nun durch die DevOps-Bewegung ebenfalls vereinigt und in ein Gesamtkonzept integriert werden.

DevOps ist ein Zielbild, welches aus der Anwendung agiler Softwareentwicklung hervorgegangen ist. Aus technischer Sicht wird DevOps durch Methoden und Werkzeuge zur Automatisierung von Infrastruktur-Prozessen, die für Software-Auslieferung und Betrieb erforderlich sind. Dennoch ist DevOps in erster Linie eine „Kultur“, weniger eine Ansammlung bestimmter Werkzeuge oder Methoden. Als wesentliches Merkmal von DevOps gilt das Prinzip der geteilten Verantwortung. Erfahrungen zeigen, dass ein für die Entwicklung zuständiges Team das Interesse für Operations-Aspekte schnell verliert kann, wenn die Verantwortung für die Anwendung nach deren Fertigstellung an ein anderes Team übergeben wird. Wenn das Entwicklungsteam hingegen auch für den Betrieb der Anwendung und die damit verbundenen Probleme zuständig ist, gibt es einen Anreiz für die Entwickler Wege zu finden, den Betrieb zu vereinfachen. Im Ergebnis werden Prozesse der Qualitätssicherung vorwiegend durch agile Ansätze kombiniert mit einer hohen Testabdeckung und Testautomatisierung umgesetzt, während zusätzliche Tools für die Automatisierung von Infrastruktur-Prozessen wie Deployment, Konfiguration und Monitoring genutzt werden. Umgekehrt fällt es dem Operations-Team leichter, die mit einer Anwendungssoftware zu erreichenden Geschäftsziele zu verstehen, je intensiver der Austausch mit dem Development-Team und Endanwendern ist. Weitere organisatorische und kulturelle Merkmale, die der DevOps-Bewegung zugeordnet werden können, sind Autonomie und Feedback. Um zu verhindern, dass gute Ideen durch schwerfällige Entscheidungsprozesse blockiert werden, wird dem Team für gewöhnlich eine relativ hohe Entscheidungskompetenz und Eigenverantwortung übertragen. Ebenso wichtig ist es, Feedback zur Zusammenarbeit oder zum Status der Anwendung kontinuierlich aufzunehmen und zu verarbeiten, um das volle Potenzial der höheren Autonomie und Automatisierung ausschöpfen zu können.

### **2.2 DevOps – Anforderungen und Akzeptanz**

Die Akzeptanz agiler Softwareentwicklungskonzepte und die damit einhergehende Vertiefung des Business-IT-Alignments verliefen zunächst schleppend (u. a. Fröschle 2014). Bis Mitte der 2000er-Jahre wurde sie von IT-Abteilungen, die sich stark an feste Strukturen und

Vorgehensweisen wie ITIL-Prozesse gewöhnt hatten, häufig als Vorwand der Unternehmensleitung für den Stellenabbau und Restrukturierungen innerhalb der IT interpretiert und sogar aktiv bekämpft. Etwa seit Mitte der 2000er-Jahre werden agilen Prinzipien verstärkt als geeignet wahrgenommen, um neue Softwareentwicklungsplattformen und insbesondere cloudbasierte Infrastrukturen zu vertreiben. In den letzten Jahren wird DevOps auch flächendeckend als legitime Entwicklungsstrategie anerkannt. Zwar gehen heute vor allem IT-Konzerne wie Amazon, Google und Microsoft bei der konsequenten Umsetzung von DevOps-Strategien voran. Auf Projektebene und im Kleinen wird DevOps allerdings auch in anderen Unternehmen bereits verfolgt. Mehr und mehr KMUs beginnen, umfassende DevOps-Strategien zu adaptieren und, nicht nur die IT, sondern die gesamte Organisationsstruktur zu vereinfachen (Ravichandran et al. 2016b). Zwar sind zentrale Fragen nach den Auswirkungen von DevOps auf die Organisationsstruktur und die langfristige Arbeitssicherheit noch nicht vollumfänglich zu beantworten, die zunehmenden Anforderungen an moderne IT-Systeme machen die Notwendigkeit derartiger neuer Entwicklungsstrategien schließlich sehr deutlich.

Die grundsätzliche Idee hinter DevOps, eine integrierte Zusammenarbeit der Entwicklungs- und Betriebsseite zu fördern, wird inzwischen weitgehend akzeptiert. Der Begriff DevOps etabliert sich zunehmend, so dass sich vermehrt Fachartikel und Forschungsbeiträge unter diesem Term bündeln. Viele davon thematisieren unterschiedliche Techniken und Methoden zur Kollaboration. Darüber hinaus kann eine zunehmende Entwicklung neuer Frameworks beobachtet werden. Es mangelt jedoch an universell akzeptierten und standardisierten Umsetzungskonzepten für die Einführung von DevOps-Strategien in Unternehmen (Stillwell und Coutinho 2015). Dabei ist zu überlegen, ob ein Standardumsetzungsverfahren mit Blick auf die Individualität unterschiedlicher Unternehmensarchitekturen und -kulturen überhaupt zielführend ist.

### **2.3 DevOps – Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit**

Obwohl die Schwächen eines klassischen Entwicklungsprozesses teils offensichtlich sind, wurden sie über lange Jahre, stets mit dem Verweis auf die Komplexität der IT-Entwicklung und die hohen Anforderungen an die Stabilität und Robustheit von Softwarelösungen, geduldet. Auch tun sich Entwickler und Anwender gleichermaßen schwer, gewohnte Pfade zu verlassen und neue Wege der Softwareentwicklung auszuprobieren. Ein Problem des herkömmlichen Entwicklungsprozesses wird jedoch immer drängender und kann auf Dauer auch in hochspezialisierten KMU nicht ignoriert werden: Es vergeht zu viel Zeit, bis eine IT-Lösung produktiv eingesetzt werden kann. In Abb. 1 ist der Unterschied des klassischen Entwicklungsprozesses (oben) gegenüber einer DevOps-Strategie (unten) dargestellt. Heute finden die Aktivitäten der Softwareentwicklung (Software Engineering) und der Entwicklung neuer Geschäftsfelder, Produkte und Dienstleistungen (Business Development) nicht mehr sequentiell, sondern parallel und integriert statt.

DevOps-Strategien tragen explizit diesem Umstand Rechnung. Sie stellen eine zukunftsichere Möglichkeit dar, IT-Prozesse nachhaltig zu verbessern. Gewinne sind deutlich verkürzte Reaktionszeiten und eine schnellere Entwicklung neuer Komponenten, u. a. durch die Zerlegung des Entwicklungsprozesses in Kleinstkomponenten, analog zum sich aktuell etablierenden Architekturmuster der Microservices. Darüber hinaus werden Testphasen durch eine Reduktion der Komplexität der einzelnen Komponenten verkürzt und dadurch insbesondere auch das Qualitätsmanagement in der IT-Entwicklung erheblich vereinfacht (Brandes und Heller 2016).

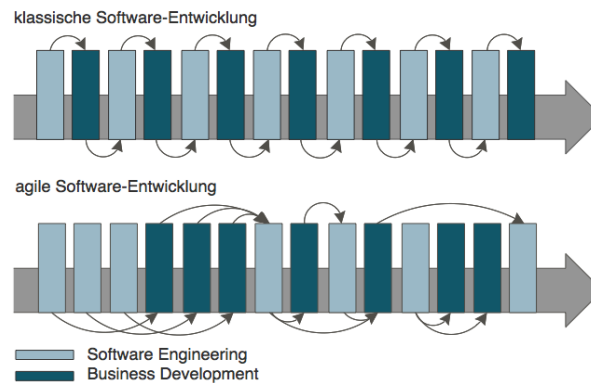


Abb. 1 Die IT-Entwicklung im Wandel: Konventionelle Strategien vs. DevOps

### 3. Anforderungen an moderne Softwarelösungen und IT-Systeme

Die Vielschichtigkeit der Anforderungen an moderne Softwarelösungen und IT-Systeme und damit auch an den Entwicklungsprozess lässt sich an den beiden Industrieforschungsprojekten GlassHouse und SmartTCS verdeutlichen.<sup>1</sup> Im Rahmen von GlassHouse werden Einsatzmöglichkeiten moderner Technologien, sogenannter Smart Glasses, zur Unterstützung von Logistikdienstleistungen erforscht. SmartTCS hingegen adressiert die Möglichkeit, Unternehmenskooperationen im Maschinen und Anlagenbau durch eine gemeinsame Plattform zur Bereitstellung von Servicedienstleistungen im technischen Kundendienst zu ermöglichen.

#### 3.1 Innovative Technologien in der Logistik

Auch wenn im mobilen Bereich der Endkundenmarkt einen großen Innovationstreiber von neuen Technologien darstellt, werden diese auch zunehmend in professionelle Einsatzszenarien übertragen. Waren vor einigen Jahren noch Smartphones die Treiber der Technologieinnovationen und somit auch von einer Integration in das Unternehmensumfeld, werden im gleichen Atemzug inzwischen Schlagworte wie Wearables oder Augmented Reality genannt. Diese Technologien verfügen über neuartige Informationsversorgungs- und Interaktionsmöglichkeiten. Darüber hinaus verfügen die Geräte über unterschiedliche Schnittstellen, Sensoren und Softwareframeworks, (vgl. Niemöller et al. 2016). Durch diese sich rasant weiterentwickelnden Technologieströme ergeben sich zunehmend neue Möglichkeiten für den praktischen Einsatz in der Industrie, aber auch Herausforderungen und Anforderungen an Entwickler und entwickelnde Unternehmen. In der Logistik können Smart Glasses bspw. dazu genutzt werden, Mitarbeiter bei der Kommissionierung durch eine aktive Prozessführung zu unterstützen, oder Schäden an eingehenden Waren direkt mit Hilfe der üblicherweise verbauten Kamera zu dokumentieren und die Bilder an die abwickelnde Abteilung zu übertragen.

War es zu Zeiten stationärer Arbeitsplatzcomputer noch üblich, Updates oder Softwareneuentwicklungen in einem regelmäßigen Turnus einzuspielen, müssen heute Programme, Bugfixes und Aktualisierungen praktisch in Echtzeit auf die Endgeräte „gepusht“ werden um eine dauerhafte Verfügbarkeit der Technologien zu gewährleisten. Wearables verfügen darüber hinaus über neue Möglichkeiten, Daten zu erheben. In Logistikprozessen relevante

<sup>1</sup> Beide Projekte werden in der Förderlinie „Dienstleistungsinnovation durch Digitalisierung“ des BMBF gefördert. Förderkennzeichen „FKZ 02K14A090“ (GlassHouse) bzw. „FKZ 02K14A130“ (smartTCS).



Beispiele sind etwa die Aufnahme von Fotos und Videos zum Festhalten des Warenzustands, das Erfassen von GPS-Positionen oder das Sammeln von sensorischen Bewegungsdaten (Niemöller et al. 2016). Diese Daten führen an den Endgeräten selbst zu neuen Anforderungen an die Speichersysteme, da die Hardware durch den Formfaktor sehr stark begrenzt ist. Es ist daher wichtig, dass Software für Smart Glasses so entwickelt ist, dass eine möglichst hohe Effizienz trotz begrenzter Speicher-, Leistungs- und Akkukapazität erreicht werden kann. Werden zum Beispiel Servicetechniker oder Lagermitarbeiter mit Smart Glasses ausgestattet, müssen geringe Latenzzeiten erreicht werden, um eine optimale Unterstützung zu gewährleisten. Bildeinspielungen oder gar Nachrichten, auf die mehrere Sekunden gewartet werden muss, können den Benutzer nicht mehr adäquat bei seiner jeweiligen Tätigkeit unterstützen (Niemöller et al. 2015).

Durch die vielfältigen Aufgaben eines Logistikdienstleisters sind Prozessabläufe sehr komplex. Um diese Prozesse bspw. mit einer bedarfsgerechten Informationsbereitstellung per Smart Glasses unterstützen zu können, ist eine sehr prozessnahe Entwicklung bei der Konzeption von Unterstützungssystemen auf innovativen Technologien erforderlich. Daher stellt DevOps im Sinne des Bestrebens, Entwicklung und Operation von Systemen unter Einbezug stetiger Qualitätssicherung zu verknüpfen, eine sehr positive Entwicklung für die Einsetzbarkeit neuer Technologien dar. Insbesondere im Rahmen von DevOps verwendete Architekturmuster, wie bspw. Microservices, können zu der benötigten Flexibilität im Umfeld von innovativen Technologien führen.

### **3.2 Unternehmenskooperation 4.0**

Unbestritten ist also, dass durch technische Innovationen die integrierte Betrachtung von Informationssystem-Entwicklung und ihren Anwendungsfeldern vorangetrieben wird. Gleichzeitig entsteht aber auch aus der Perspektive des „Business Developments“, also der Entwicklung neuer Geschäftsfelder sowie Produkt- und Dienstleistungsstrategien, zunehmend die Notwendigkeit, bereits in einem frühen Entwicklungsstadium einer Technologie deren praktischen Einsatz zu erproben. So sollen sowohl Chancen und Risiken besser abgeschätzt, als auch das konkrete Geschäftsfeld und die geplante IT-Unterstützung dynamisch aneinander angepasst werden. Dieses Anliegen stellt gegenwärtig eine akute Herausforderung im Feld der Dienstleistungsforschung dar, in dem die Unterstützung durch Technologien, insbesondere im Sinne der höheren Flexibilisierung und Kundenzentrierung, diskutiert wird. Im Fokus dieser Diskussion stehen unter anderem so genannte Dienstleistungsplattformen – Geschäftsmodelle, die eine kundenindividuelle Konfiguration von Gesamtdienstleistungen aus einem Portfolio von Servicemodulen ermöglichen (Braun 2016). Die hierfür erforderliche Entwicklungsarbeit ist beidseitig gelagert. Einerseits muss innerhalb des einführenden Unternehmens ein Umdenken angestoßen werden. Bisher monolithisch am Dienstleistungsmodell ausgerichtete Serviceprozesse müssen „aufgebrochen“ und in kombinierbaren Servicemodule reorganisiert werden. Andererseits entsteht so aber auch die Herausforderung, angeknüpfte Informations- und Kommunikationstechnologien auf die jeweiligen Servicemodule „zuzuschneiden“ und schlussfolgernd auch auf technologischer Seite die Modularisierung voranzutreiben.

Die so erzeugte hohe Komplexität leitet sich zum einen aus der dynamischen Vernetzung der breiten Auswahl an beteiligten Informationssystemen ab. So wurden in der Vergangenheit technische Module, wie die Echtzeit-Prozessführung, proaktive Informationsbereitstellung oder der automatische Abruf von Maschinendaten, vorgeschlagen, die in der realen Umsetzung jeweils kontextspezifische Information aus unterschiedlichen Datenbasen benötigen (u. a. Metzger et al. 2016). Zur Auswahl der geeigneten Information greifen viele

Ansätze auf Sensordaten aus dem Anwendungsbereich zurück, deren Integration die Problematik weiter verschärft, denn nicht nur die Harmonisierung der Daten stellt eine Herausforderung dar, sondern auch die interorganisationelle Kooperation, die mit der Überlassung solcher Daten erforderlich wird.

Für die erfolgreiche Entwicklung und den Einsatz solcher technologiebasierten Dienstleistungssysteme ist die kombinierte Betrachtung aller Ebenen erforderlich. Dabei muss insbesondere den Rückkopplungen zwischen technologisch bedingten Determinanten, ökonomisch sinnvollen Leistungsmodellen und mit der Modularisierung einhergehenden Komplexitätsproblemen Rechnung getragen werden. Viele dieser Faktoren werden erst im Alltagsbetrieb sichtbar oder treten aufgrund sich plötzlich verändernden Umweltbedingungen auf. Die Beherrschung aller Faktoren „auf dem Reißbrett“ erscheint daher wenig erfolgversprechend. Vielmehr muss die Serviceplattform als sich ständig weiterentwickelnder, systemischer Ansatz über verschiedene Ebenen hinweg verstanden werden. Die Entwicklung eines alltagstauglichen, robusten Systems muss schlussfolgernd auch während des Betriebs erfolgen. Denn gerade mit der durch die Globalisierung zunehmenden Wettbewerbsschärfe kann nicht länger von generalisierbaren und über Jahre hinweg stabil funktionierenden Dienstleistungsmodellen ausgegangen werden. Auch populäre Konzepte wie DevOps bieten jedoch noch keinen ausreichenden Konkretisierungsgrad, um die systemische Entwicklung sowohl auf technischer als auch betriebswirtschaftlicher Sicht vollumfassend zu unterstützen. So ist abzusehen, dass DevOps zwar ein Grundparadigma zukünftiger betrieblicher Informationssysteme, jedoch kein allgemeingültiges Paradigma in der IT-Entwicklung darstellt.

Agile Ansätze der Softwareentwicklung streben an, dass möglichst früh erste Prototypen erschaffen werden, die dann iterativ weiterentwickelt werden. Obwohl dieses Grundverständnis modernen Software Engineerings gerade vor dem Hintergrund der Serviceplattform und ihrer veränderlichen Faktoren vielversprechend erscheint, ist die technologiezentrische Ausrichtung der Methoden zurzeit eines der größten Hemmnisse zur Verwendung in der Dienstleistungsentwicklung. Um die eingangs motivierte Entwicklung zu ermöglichen, wird daher eine Erweiterung der Methodik um betriebswirtschaftliche Faktoren benötigt. Nur wenn das Verständnis einer kontinuierlichen Entwicklung aus betriebswirtschaftlicher und technischer Sicht etabliert wird, kann der Nutzensvorteil integrierter Serviceplattformen die Herausforderungen hinsichtlich Komplexität und Dynamik überwiegen.

#### **4. Zusammenfassung und Ausblick**

Das Verlangen nach immer individuelleren, ständig verfügbaren Produkt- und Serviceangeboten und die stetig wachsende Vielseitigkeit und Menge an neuen Technologien und auswertbaren Informationen führen zu immer komplexeren und sich dynamischen verändernden Anforderungen an IT-Systeme. Die immense Frequenz mit welcher neue Herausforderungen und Probleme in der Informationsverarbeitung auftreten verlangt eine schnelle, agile Entwicklung von IT-Lösungen. Dies ist mit starren Wasserfallprozessen und einer prozessfernen Entwicklung schlichtweg nicht vereinbar. Die sture Aufrechterhaltung der Trennung von Entwicklungs-, Test- und Produktivsystemen ist heute somit vielerorts nicht mehr sinnvoll.

Neue und innovative Technologien und komplexe Analyseverfahren sind längst nicht mehr nur in Technologieunternehmen und Großkonzernen zu finden. Bereits heute werden Sie in vielen Unternehmen für die unterschiedlichsten Fragen – von der Optimierung von Logistikprozessen, über die Verbesserung von Schulungs- und Ausbildungsprozessen, bis

hin zur Unterstützung der Zustandsdiagnostik im Maschinen- und Anlagenbau – genutzt. Solche Technologien befinden sich in einem andauernden Entwicklungsprozess und bekommen nahezu täglich neue Funktionen und Datenschnittstellen. Um das volle Ausschöpfen des Wertschöpfungspotentials solcher Weiterentwicklungen und eine effektive und anwenderfreundliche Erschließung der Technologien zu ermöglichen, ist eine agile IT-Entwicklungsstrategie unerlässlich. Nicht zuletzt auch deshalb, weil Unternehmenskooperationen rapide zunehmen und immer mehr organisationsübergreifende IT-Plattformlösungen entstehen. Gleichzeitig steigt die Notwendigkeit, echtzeitnah reagieren und Produkte und Dienstleistungen individuell und bedarfsgerecht anbieten, herstellen und liefern zu können.

Die Software- und die IT-Entwicklung befinden sich im Wandel. Immer mehr Unternehmen adaptieren bereits DevOps-Strategien mit absehbar steigender Tendenz. Die klassischen Rollen von Entwicklern und Anwendern werden dabei immer stärker verschwimmen, während die Prozessnähe in der IT-Entwicklung zunehmen wird, sodass Business und IT künftig noch enger verflochten sein werden. Neue Aufgaben und Berufsbilder sind auf Basis dieses integrierten Verständnisses von Entwicklung und Betrieb absehbar und werden das Business-IT-Alignment insgesamt verändern.

### Literatur

- Brandes, C., Heller, M. (2016) Qualitätsmanagement in agilen IT-Projekten – quo vadis?. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik, Bd. 53, Nr. 2, S. 169-184.
- Braun, M. (2016) Die integrierte Serviceplattform soll Kunden in den Mittelpunkt rücken. Service Today, Nr. 2, S. 46-47.
- Davidson, A., Klemme, L. (2016) Why a CEO should think like a Scrum Master. Strategy & Leadership, Bd. 44, Nr. 1, S. 36-40.
- Fröschle, H.P., (2014) Damit zusammenwächst, was zusammengehört?. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik., Bd. 51, Nr. 5, S. 523-525.
- Fuchs, A., Stolze, C., Thomas, O. (2012) Von der klassischen zur agilen Softwareentwicklung - Evolution der Methoden am Beispiel eines Anwendungssystems. HMD – Praxis der Wirtschaftsinformatik, Bd. 50, Nr. 2, S. 17-26.
- Metzger, D., Niemöller, C., Berkemeier, L., Brenning, L., Thomas, O. (2017) Vom Techniker zum Modellierer – Konzeption und Entwicklung eines Smart Glasses Systems zur Laufzeitmodellierung von Dienstleistungsprozessen. Smart Service Engineering. Springer Fachmedien, Wiesbaden, S. 193-213.
- Niemöller, C., Metzger, D., Fellmann, M., Özcan, D., Thomas, O. (2016) Shaping the future of mobile service support systems—ex-ante evaluation of smart glasses in technical customer service processes. Informatik.
- Niemöller, C., Metzger, D., Thomas, O., Ickerott, I., Till, S., Mollen, T., Neumann, T., Hucke, S. (2015) Smart Glasses zur Unterstützung von Logistikdienstleistungen - Bedarfsorientierte Informationsbereitstellung zur Prozesssteuerung. Productivity, Bd. 20, Nr. 4, S. 13-16.
- Ravichandran, A., Taylor, K., Waterhouse, P. (2016) Practical DevOps. DevOps for Digital Leaders, Berkeley, CA: Apress, S. 125-137.
- Ravichandran, A., Taylor, K., Waterhouse, P. (2016b) DevOps Foundations. DevOps for Digital Leaders, Berkeley, CA: Apress, S. 27-47.
- Stillwell, M., Coutinho, J.G.F., (2015) A DevOps approach to integration of software components in an EU research project., S. 1-6.

## Beitrag 5: Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service

---

Titel	Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service – Vorschlag eines Vorgehensmodells zur Entwicklung eines unternehmensübergreifenden Informationssystems mittels Data Envelopment Analysis
Autoren	<b>Andreas Varwig</b> , Friedemann Kammler, Oliver Thomas
Publikationsorgan	INFORMATIK 2017. Lecture Notes in Informatics (LNI)
Ranking	VHB JQ3: C WKWI: C
Status	Veröffentlicht (in gekürzter Fassung, gegenüber der ursprünglich eingereichten Version)
Bibliographische Information	Varwig, A., Kammler, F. & Thomas, O. (2017). <i>Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service</i> . In: Eibl, M. & Gaedke, M. (Hrsg.), INFORMATIK 2017. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 1883-1890.
Abstract	Obwohl Maschinen- und Anlagenbauer immer komplexere Sensortechnologien und Informationssysteme verbauen, haben sie nur selten Zugriff auf detaillierte Laufzeitdaten. Anlagenbetreiber, die oftmals die Eigentümer der Daten sind, verweigern ihnen den Zugriff, obwohl sie selbst nicht über die Mittel verfügen, die Daten auszuwerten. In der Folge entstehen bei jedem Betreiber unerschlossene Data Lakes. In diesem Artikel wird ein Vorgehensmodell zur Erschließung und betreiberübergreifenden Integration der ökonomisch verwertbaren Informationen, basierend auf der Data Envelopment Analysis, vorgestellt.
Identifikation	ISBN: 978-3-88579-669-5 ISSN: 1617-5468 DOI: 10.18420/in2017_188
Link	<a href="https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/3956">https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/3956</a>
Copyright	© 2017 Gesellschaft für Informatik e.V. (GI).

---

**Tab. 6:** Factsheet Beitrag 5

# Smarte Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service – Vorschlag eines Vorgehensmodells zur Entwicklung eines unternehmensübergreifenden Informationssystems mittels Data Envelopment Analysis

## Abstract

Obwohl Maschinen- und Anlagenbauer immer komplexere Sensortechnologien und Informationssysteme verbauen, haben sie nur selten Zugriff auf detaillierte Laufzeitdaten. Anlagenbetreiber, die oftmals die Eigentümer der Daten sind, verweigern ihnen den Zugriff, während sie selbst nicht über die Mittel verfügen, die Daten auszuwerten. In der Folge entstehen bei jedem Betreiber unerschlossene Data Lakes. In diesem Artikel wird ein Vorgehensmodell zur Erschließung und betreiberübergreifenden Integration der ökonomisch verwertbaren Informationen, basierend auf der Data Envelopment Analysis, vorgestellt.

## 1. Einführung

Die zunehmende Digitalisierung führt zu fundamentalen Veränderungen in der industriellen Wertschöpfung. Dabei steht der Maschinen- und Anlagenbau vor besonderen Herausforderungen. Obwohl Anlagenbauer immer umfangreichere Sensortechnologien und IT-Systeme zur Protokollierung von Maschinenbetriebsdaten verbauen, haben sie nur eingeschränkten Zugriff auf die Informationen. Theoretisch könnten Sie diese neuen detaillierten Laufzeitinformationen u.a. dazu verwenden, die Maschinenkonstruktion zu optimieren und neue Dienstleistungen anzubieten. Die Daten gehören jedoch zumeist dem Betreiber einer Anlage, welcher den Zugang verweigert. In der Folge entsteht eine Vielzahl brachliegender Data Lakes (DL) bei den Anlagenbetreibern.

Wir zeigen, wie Maschinenhersteller durch den Einsatz von quantitativen Datenanalysemethoden ihr Dienstleistungsspektrum erweitern, ökonomisch wertvolle Informationen aus dezentralen DL identifizieren und Anlagenbetreibern gleichzeitig einen Anreiz zum Teilen ihrer Maschinendaten liefern können. Hierfür skizzieren wir ein Vorgehensmodell, welches Methoden der Data Envelopment Analysis (DEA) nutzt, um Empfehlungen für die optimale Konfiguration von Maschinen und Anlagen abzuleiten. Der Artikel ist folgendermaßen aufgebaut: Zunächst wird der konkrete Handlungsbedarf am Beispiel eines Herstellers von industriellen Druckanlagen beschrieben. Im dritten Abschnitt werden das methodische Vorgehen der DEA und ein kurzer Literaturüberblick dargestellt. Der vierte Abschnitt skizziert das Vorgehensmodell zur Entwicklung eines betreiberübergreifenden Informationssystems. Die resultierenden Implikationen und Limitationen werden im fünften Abschnitt diskutiert. Der Artikel schließt mit einer Zusammenfassung und einem Ausblick auf nachfolgende Forschungsarbeiten.

## 2. Ungenutzte Data Lakes im Maschinen- und Anlagenbau

Im Maschinen- und Anlagenbau herrscht Informationsasymmetrie. Der eingeschränkte Zugriff auf Betriebsdaten verkaufter Maschinen behindert die Hersteller darin, ihre Produkte und Dienstleistungen zu verbessern und neue Geschäftsmodelle zu erschließen. Die Problematik lässt sich am Beispiel eines Herstellers für industrielle Druckanlagen verdeutlichen. Die Anlagen dieses Unternehmens bestehen aus tausenden Einzelteilen und Modulen. Zur

Überwachung und Analyse des Maschinenzustands werden seit Jahren immer umfangreichere Sensoren verbaut. Diese Sensoren ermöglichen es u.a. Temperaturen, Vibrationen, akustische Auffälligkeiten und Luftzusammensetzungen an unterschiedlichen Positionen der Anlage zu erfassen. Gleichzeitig werden auch die IT-Komponenten und Steuerungshilfen der Anlage immer komplexer und detaillierter. Sie erfassen während Laufzeit u.a. Informationen über die verarbeiteten Materialien, aufgetretene Fehlermeldungen, Materialdurchlaufgeschwindigkeiten, und -spannungen und Anschlagwinkel von Federungen und Walzen in einzelnen Modulen der Druckwerke. Das Ziel des Anlagenbauers ist es, die Informationen zu nutzen, um das Maschinendesign zu verbessern, Wartungs- und Ersatzteilbedarfe frühzeitig zu erkennen oder komplett neue datenbasierte Dienstleistungen anzubieten.

Die erzeugten Betriebsdaten sind jedoch das Eigentum der Anlagenbetreiber. In den meisten Fällen sind diese Unternehmen nicht in der Lage, die entstandenen Informationen nutzenbringend weiterzuverarbeiten. Teils fehlen die notwendigen IT-Infrastrukturen oder es ist kein Methodenwissen zur statistischen Datenverarbeitung im Unternehmen verfügbar. Auch das schlichte Fehlen von Use Cases wurde in Kundenbefragungen als Ursache ausgemacht. Dennoch verweigern die Betreiber dem Anlagenhersteller den Datenzugriff und archivieren die Betriebsinformationen in lokalen Speichersystemen.<sup>1</sup>

### 3. Funktionsweise und Anwendung der Data Envelopment Analysis

Die Data Envelopment Analysis wurde 1978 von Charnes et al. (1978) eingeführt und seitdem stetig weiterentwickelt. Heute beschreibt der Begriff ein breites Portfolio an quantitativen Methoden zum Benchmarking in komplexen Leistungserstellungsprozessen. Die Kernidee der DEA ist es, einen objektiven, methodischen Effizienzvergleich in einer heterogenen Gruppe von Leistungserstellern, sog. DMU (von engl. Decision Making Units), durchzuführen. Dabei können alle leistungsrelevanten Informationen (i.S.v. Inputs und Outputs), die numerisch abbildbar sind, berücksichtigt werden. Während der Analyse werden diese Werte für jede zu vergleichende DMU zu einer einzigen Leistungskennzahl, dem sog. Effizienzparameter, verdichtet.

#### 3.1. Methodisches Vorgehen

Das Lineare Optimierungsproblem (LP) des Basismodells von Charnes et al. (1978) ist in den Gleichungen (1) - (4) dargestellt. Es ist für jede DMU der zu vergleichenden Gruppe zu lösen.

$$\text{Min}_{\lambda} \theta_i, \text{ s. t.} \quad (1)$$

$$X\lambda_i \leq \theta_i x_i \quad (2)$$

$$Y\lambda_i \geq y_i \quad (3)$$

$$\lambda_i \geq 0, \theta_i \geq 0 \quad (4)$$

Bei der Leistungsbewertung wird ermittelt, welchen Ressourcenaufwand (X) eine DMU mindestens einsetzen müsste, um ihren aktuellen Output (Y) zu erzielen. Dies geschieht

---

<sup>1</sup> Aufgrund ihrer Beschaffenheit im Hinblick auf ihr Volumen, die Vielseitigkeit, die teils sehr hohe Frequenz und den (unerschlossenen) Wert der Daten, lässt sich die vorliegende Situation als Big Data Herausforderung beschreiben, siehe hierzu u.a. Özcan et al. (2014).

durch die Bildung von Linearkombinationen aller zu vergleichenden DMUs. Die Relation aus optimalem Ressourceneinsatz zu aktuellem Ressourceneinsatz wird als Effizienzparameter  $\theta_i$  bezeichnet. Entspricht  $\theta_i$  beispielsweise 0.80, so könnte die betrachtete DMU  $i$  den aktuellen Output bereits mit 80% der aktuell eingesetzten Ressourcen erzielen.

Gleichung (1) ist die Zielfunktion des LP. Sie lässt sich mit der Aufforderung: „Finde das minimale Inputniveau, welches zur Erstellung des aktuellen Outputs notwendig ist!“ übersetzen. Die Gleichungen (2) - (4) definieren die Nebenbedingungen, welche dabei zu beachten sind: (2): Das optimale Inputniveau muss kleiner oder gleich dem aktuellen Ressourceneinsatz sein, (3): Unter Verwendung des optimalen Ressourceneinsatzes wird mindestens derselbe Output erzeugt wie vor der etwaigen Verhaltensanpassung, (4): Nur positive Linearkombinationen anderer existierender Input-Output-Profile sind zur Identifikation der individuell-optimalen Lösung zulässig.<sup>2</sup>

Der  $\lambda_i$ -Vektor ist das zweite zentrale Ergebnis einer DEA. Er zeigt auf, zu welchem Anteil eine DMU für die Konstruktion eines jeweiligen individuellen Referenzprofils verwendet wurde. Alle DMUs, welche anteilig zumindest bei der Konstruktion eines Referenzprofils für eine andere DMU verwendet wurden, stellen eine Best-Practice dar. Sie sind Blaupausen, anhand derer sich ineffiziente DMUs zur Leistungsverbesserung orientieren können.

### 3.2. Stand der Forschung und DEA-Applikationen

Seit ihrer Einführung wurde die DEA für die Untersuchung unterschiedlichster Fragestellungen eingesetzt. Mosley et al. (2003) verwenden sie, um die Leistung deutscher Arbeitsämter zu bewerten. Eine Auswertung der Effizienz von Gerichtsverhandlungen ist bei Schneider (2004) zu finden. Auch in der Privatwirtschaft ist eine Vielzahl an Anwendungen entstanden. Insbesondere für die Analysen von Finanzdienstleistern und -dienstleistungen erfreut sich die DEA großer Popularität.<sup>3</sup> Aktuelle Untersuchungen bieten u.a. Varmaz et al. (2013) oder Varmaz et al. (2017). Sowlati et al. (2005) setzen Methoden der DEA zur Priorisierung und Modifikation von Projekten zur Implementierung von Informationssystemen im Bankwesen ein. Thompson et al. (1996) untersuchen die Optimierungsmöglichkeiten in der Erdölförderung. Daneben ist die Analyse der Erzeugung und Bereitstellung von Elektrizität ein wiederkehrender Forschungsgegenstand in der DEA-Literatur, siehe u.a. Athanassopoulos et al. (1999). Neuere Methodenentwicklungen und Applikationen beschäftigen sich speziell mit der Erschließung und Verarbeitung von Big Data.<sup>4</sup> So untersuchen u.a. Song et al. (2016) die Eignung der DEA in der Verarbeitung von Big Data zur Einschätzung regionaler Umweltbelastung.

## 4. Benchmarking-as-a-Service zur Datenintegration

Wir haben ein Vorgehensmodell, bestehend aus 6 Schritten und basierend auf der DEA, entwickelt, mit dem es möglich ist, eine betreiberübergreifende Informationsplattform zu entwickeln. Durch den Einsatz der DEA sind Betreiber in der Lage, ein umfassendes Benchmarking ihrer Produktion vorzunehmen. So können sie Maschinenkonfigurationen identi-

---

<sup>2</sup> Für eine Einführung in die Grundlagen verschiedener DEA-Methoden siehe bspw. Cooper et al. (2007) und Cooper et al. (2004).

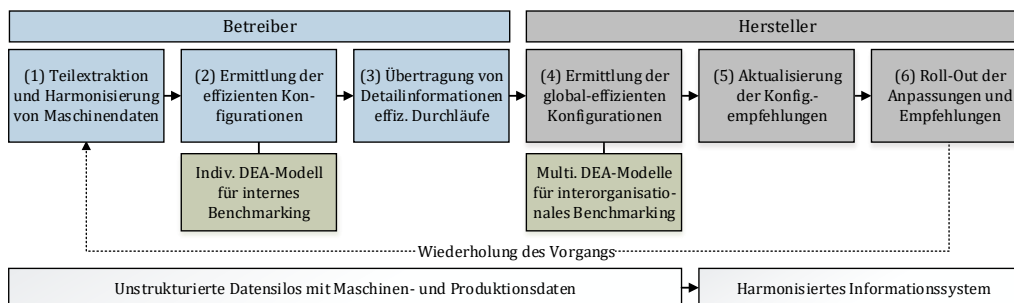
<sup>3</sup> Allein zur Bankeneffizienz wurden bislang weit mehr als 200 Studien durchgeführt und publiziert.

<sup>4</sup> In einer Analyse von mehr als 2000 Publikationen zu Methodenerweiterungen und Anwendungen der DEA, die in den Jahren 2010-2014 entstanden sind, zeigen Liu et al. (2016) die aktuellen Herausforderungen der DEA-Forschung auf.

fizieren, welche Ineffizienzen verursachen. Damit werden Informationen ermittelt, aus denen auch andere Anlagenbetreiber lernen könnten. Durch die Integration dieser Daten kann eine Datenbasis geschaffen werden, aus der alle Betreiber Konfigurationsempfehlungen für einzelne Maschinen erhalten können. Die Datenintegration durch DEA-basiertes Benchmarking-as-a-Service (BaaS) kann somit ein neues Geschäftsmodell für den Anlagenbauer darstellen, welches den Zugriff auf bislang unerreichbare Maschinenlaufzeitinformationen ermöglicht. Die 6 Schritte des Vorgehensmodells sind in Abb. 1 dargestellt.

#### 4.1. Vorgehensmodell

Im ersten Schritt des Vorgehensmodells sind Maschinendaten zu identifizieren und zu extrahieren, anhand derer sich die erbrachte Leistung einer Maschine aus Sicht eines Betreibers bewerten lässt. Als Inputs kommen alle Werte in Frage, die während der Leistungserstellung möglichst geringgehalten werden sollen. Hier bieten sich bspw. die Produktionsdauer, die verwendeten Produktionsmaterialien oder die Anzahl an Fehlermeldungen während eines Produktionslaufes an. Outputs sind solche Indikatoren, die während der Produktion zu steigern sind. Beispiele hierfür sind die produzierte Menge und die durchschnittliche Qualität. Im nächsten Schritt (2) werden die Leistungen der einzelnen Maschinendurchläufe unter der Berücksichtigung der individuellen Selektion relevanter Inputs und Outputs durch eine DEA analysiert. Die Analyse kann sowohl direkt auf der IT-Architektur der Maschine, bspw. unter Verwendung eines R-Skriptes, als auch auf lokalen Systemen des Betreibers durchgeführt werden. Hierbei werden die Durchläufe in effiziente und ineffiziente Durchläufe eingeteilt. Alle vorhandenen Informationen zu den effizienten Durchläufen werden nun (Schritt 3) an den Maschinenhersteller übertragen. Dies beinhaltet auch Informationen, die nicht bei der Leistungsbewertung betrachtet wurden. Der Maschinenhersteller erhält so auch die Maschinenlogs, Konfigurationsinformationen und hochfrequente Sensordaten.



**Abb. 1:** Vorgehensmodell zur Datenintegration durch Benchmarking-as-a-Service

Im vierten Schritt analysiert und vergleicht der Anlagenbauer die Produktionsprozesse aller Betreiber. Hierbei kann es notwendig sein, die jeweils individuellen Leistungsprozesse der einzelnen Hersteller für den Gesamtbestand der Daten zu modellieren. Dementsprechend wird in Schritt 4 nicht zwingend nur ein Leistungsvergleich durchgeführt. Die effizienten Leistungen der jeweiligen Betreiber werden nun gemäß dem individuellen Leistungsverständnis miteinander verglichen. So kann identifiziert werden, ob ein Maschinendurchlauf auch im betreiberübergreifenden Vergleich nach dem eigenen Leistungsverständnis noch als effizient eingestuft wird, oder ob sich Verbesserungspotentiale ableiten lassen. Während dieser Analyse können auch historische Leistungsdaten aus den bisherigen Konfigurationsempfehlungen des Herstellers berücksichtigt werden. Im fünften



Schritt aktualisiert der Maschinenhersteller seine Konfigurationsempfehlungen. Dabei wird über die Zeit ein Informationssystem aufgebaut, welches die individuellen Leistungsbeurteilungen, unterschiedliche Lastprofile und effiziente Konfigurationen historisiert. Im letzten Schritt erhalten die Betreiber eine Rückmeldung über die betreiberübergreifende Effizienz ihrer Produktion und ggf. Empfehlungen darüber, wie die Leistung durch Anpassungen der Maschinenkonfiguration gesteigert werden kann. Auch werden die aktualisierten Konfigurationsempfehlungen für die unterschiedlichen Leistungsprozesse und Lastprofile an die Betreiber ausgeliefert.

#### 4.2. Numerisches Beispiel

Die ersten drei Schritte des Vorgehensmodells können anhand eines numerischen Beispiels verdeutlicht werden. Hierzu werden zufällig Daten zu 12 Durchläufen einer Maschine erzeugt. Die Inputs sind gegeben durch die Produktionsdauer (D), die Materialkosten (K) und die Häufigkeit von kritischen Fehlermeldungen (F). Als Outputs werden die Produktionsmenge (M) und die durchschnittliche Produktionsqualität (Q) modelliert. Die Analyse der Beispieldaten erfolgt unter Verwendung der freien Skriptsprache R.

```
#DEA-Skript
library(Benchmarking);
Data <- read.csv2(paste0(getwd(), "/data.csv"));
E <- dea(Data[,1:3],Data[,4:5],RTS="vrs", SLACK = "TRUE")
out <- data.frame(Data,E$lambda,E$eff,E$slack,E$sx,E$sy)
```

In Abweichung zum Basismodell wird der Effizienzwert eines jeweiligen Druckdurchlaufs im Beispiel unter der Annahme variabler Skalenerträge berechnet. Dies ermöglicht es Laufzeiteffekte, wie bspw. das Wegfallen von Warmlaufzeiten, zu berücksichtigen. Die Ausgangsdaten und die Ergebnisse sind nachfolgend in Tabelle 1 dargestellt.

**Tab. 1:** Numerisches Beispiel einer DEA-Anwendung in Schritt 2 des Vorgehensmodells

Lf.	D	K	F	M	Q	$\theta$	$\lambda_1$	$\lambda_3$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$
<b>1</b>	<b>20</b>	<b>36</b>	<b>11</b>	<b>52</b>	<b>28</b>	<b>1</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
2	48	78	8	10	4	.53	.15	0	0	.85	0
<b>3</b>	<b>46</b>	<b>75</b>	<b>5</b>	<b>37</b>	<b>40</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
4	24	42	6	4	20	.96	.07	0	.45	.49	0
<b>5</b>	<b>22</b>	<b>39</b>	<b>8</b>	<b>45</b>	<b>32</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>
<b>6</b>	<b>24</b>	<b>42</b>	<b>3</b>	<b>12</b>	<b>8</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>	<b>0</b>
<b>7</b>	<b>88</b>	<b>138</b>	<b>8</b>	<b>60</b>	<b>16</b>	<b>1</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1</b>
8	24	42	11	10	16	.88	.84	0	0	.16	0
9	66	105	8	4	40	.71	0	1	0	0	0
10	44	72	6	12	24	.75	0	.39	.15	.46	0
11	70	111	11	3	16	.39	0	.07	.24	.69	0
12	42	69	8	1	24	.68	0	.19	.41	.40	0

Die Analyse identifiziert 5 der 12 Maschinendurchläufe als effizient (grau hinterlegt). Diese sind die Durchläufe 1,3,5,6 und 7. Ihr berechneter  $\theta$ -Wert entspricht 1. Dies deutet darauf hin, dass der erzeugte Output nicht mit weniger als den eingesetzten Ressourcen zu erzielen gewesen wäre. In den  $\lambda$ -Spalten von Tabelle 1 ist der Anteil angegeben, zu welchem ein effizienter Durchlauf für die Bestimmung der Referenzprofile der ineffizienten Durchläufe verwendet wird. Entsprechend Schritt 4 des skizzierten Vorgehensmodells werden

nun alle Datensätze, die während dieser Durchläufe entstanden sind, auf das zentrale Informationssystem übertragen.

## 5. Implikationen und Limitationen

Die Methoden der DEA sind sehr flexibel. Sie können zumeist unabhängig von den Maßeinheiten der verfügbaren Leistungsdaten verwendet werden. Gleichzeitig können somit etwa monetäre Größen (bspw. Rohstoffausgaben) und metrische Informationen (bspw. die verfügbare Verkaufsfläche) oder simultan kardinal- und ordinalskalierte Informationen (qualitative Leistungsindikatoren) berücksichtigt werden, siehe u.a. Cook und Zhu (2006) oder Saen (2007). Damit ist die DEA geeignet, um die ökonomisch verwertbaren Informationen aus den bislang nicht erschlossenen, lokalen Data Lakes der Anlagenbetreiber zu gewinnen.

Obwohl das Vorgehen generalisierbar und auf weitere Branchen übertragbar ist, ist die Modellierung des Leistungsprozesses eine individuell zu lösende Herausforderung. Es ist nicht davon auszugehen, dass die zu untersuchenden Leistungsdaten in anderen Szenarien bereits vollständig und strukturiert vorliegen. Selbst im beschriebenen Beispiel des Druckanlagenherstellers wurde das Vorgehensmodell bislang nicht in der Praxis getestet. Es bleibt abzuwarten, ob die Aussicht auf eine verbesserte Maschinenkonfiguration, verringerte Stand- und Ausfallzeiten und eine verbesserte Fertigungsqualität die Betreiber von der Bereitstellung ihrer Laufzeitinformationen überzeugen kann.

## 6. Zusammenfassung und Ausblick

Obwohl detaillierte Leistungs- und Betriebsinformationen zu ihren Anlagen eigentlich verfügbar sind, haben viele Maschinenbauer keinen Zugang zu diesen Daten. Betriebsdaten sind in der Regel das Eigentum des Anlagenbetreibers. Am Beispiel der Situation eines Herstellers von industriellen Druckanlagen wurde ein Vorgehensmodell vorgestellt, welches es ermöglicht, historische Produktionsdaten in für den weiteren Erkenntnisgewinn relevante und irrelevante Datensätze einzuteilen. Durch die Freigabe der so identifizierten relevanten Informationen kann der Hersteller Empfehlungen zur Optimierung der Maschinenkonfiguration und produktionszielabhängige Standardkonfigurationen bereitstellen.

In nachfolgenden Forschungsarbeiten gilt es, das Vorgehensmodell in der Praxis umzusetzen und zu evaluieren. Hierfür sind u.a. konkrete und generalisierbare Produktionsprozesse, im Sinne von zu betrachtenden Inputs und Outputs, zu definieren. Auch sind die Anforderungen an die technische Umsetzung des Informationssystems zu erheben. Nicht zuletzt ist für die Bewertung des Gesamtnutzens des Konzepts eine erwartbare Kosten- und Ertragskalkulation zu erstellen.

## Literatur

- Athanassopoulos, A., Lambroukos, N., Seiford, L. (1999). Data envelopment scenario analysis for setting targets to electricity generating plants. *European Journal of Operational Research*, 115, S. 413–428.
- Charnes, A., Cooper, W. W., Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. *European Journal of Operational Research*, 2(6), S. 429–444.
- Cook, W. D., Zhu, J. (2006). Rank order data in DEA: A general framework. *European Journal of Operational Research*, 174(2), S. 1021–1038.

- Cooper, W., Seiford, L., Tone, K. (2007). *Data Envelopment Analysis - A Comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software* (2nd edn.). Springer.
- Cooper, W., Zhu, J., Seiford, L. M. (2004). *Handbook on Data Envelopment Analysis* (2nd ed.). Kluwer Academic Publishers.
- Liu, J. S., Lu, L. Y. Y., Lu, W.-M. (2016). Research fronts in data envelopment analysis. *Omega*, 58, S. 33–45.
- Mosley, H., Schütz, H., Schmid, G. (2003). *Effizienz der Arbeitsämter: Leistungsvergleich und Reformpraxis*. Berlin: Ed. Sigma.
- Özcan, D., Fellmann, M., Thomas, O. (2014). Towards a Big Data-based Technical Customer Service Management. 44. Jahrestagung Der Gesellschaft Für Informatik – INFORMATIK 2014, S. 187–198.
- Saen, R. F. (2007). Supplier selection in the presence of both cardinal and ordinal data. *European Journal of Operational Research*, 183(2), S. 741–747.
- Schneider, M. (2004). *Performance-Controlling professioneller Dienstleistungen: Gerichte im Effizienzvergleich*. München: Hampp.
- Song, M.-L., Fisher, R., Wang, J.-L., Cui, L.-B. (2016). Environmental performance evaluation with big data: theories and methods. *Annals of Operations Research*.
- Sowlati, T., Paradi, J. C., Suld, C. (2005). Information systems project prioritization using data envelopment analysis. *Mathematical and Computer Modelling*, 41(11–12), S. 1279–1298.
- Thompson, R., Dharmapala, P., Diaz, J., Gonzales-Lima, M., Thrall, R. (1996). DEA multiplier analytic center sensitivity with an illustrative application to independent oil companies. *Annals of Operations Research*, 66, S. 163–177.
- Varmaz, A., Varwig, A., Laudi, P. (2017). Zentrale Ressourcenverteilung in der Gesamtbanksteuerung: Eine DEA-Anwendung. *Zeitschrift Für Bankrecht Und Bankwirtschaft*, 29(1), S. 22–32.
- Varmaz, A., Varwig, A., Poddig, T. (2013). Centralized resource planning and Yard-stick competition. *Omega*, 41(1), S. 112–118.

## Beitrag 6: Responding to the Forecast

---

Titel	Responding to the Forecast: Towards the Integration of Machine State Prediction and Required Maintenance Services
Autoren	<b>Andreas Varwig</b> , Friedemann Kammler, Oliver Thomas
Publikationsorgan	INFORMATIK 2017. Lecture Notes in Informatics (LNI)
Ranking	VHB JQ3: C WKWI: C
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Varwig, A., Kammler, F. & Thomas, O. (2017). <i>Responding to the Forecast</i> . In: Eibl, M. & Gaedke, M. (Hrsg.), INFORMATIK 2017. Gesellschaft für Informatik, Bonn, S. 1793-1805.
Abstract	Machines become increasingly complex. At the same time, more and more sensors are installed and information is gathered in order to enable a close to real-time prediction of a machine's state. Companies try to implement Predictive Maintenance strategies to avoid machine downtimes on a large scale. For this purpose, artificial neural networks are applied more and more often. However, the classification of machine states with ANNs is still not accurate enough. This is partially due to a lack of standards in data processing and in the harmonization of data from different sensor types. We aim to contribute to close these research gaps by developing a standard PM concept for machine and plant manufactures.
Identifikation	ISBN: 978-3-88579-669-5 ISSN: 1617-5468 DOI: 10.18420/in2017_178
Link	<a href="https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/3945">https://dl.gi.de/handle/20.500.12116/3945</a>
Copyright	© 2017 Gesellschaft für Informatik e.V. (GI).

---

**Tab. 7:** Factsheet Beitrag 6

# Responding to the Forecast: Towards the Integration of Machine State Prediction and Required Maintenance Services

## Abstract

Machines become increasingly complex. At the same time, more and more sensors are installed and information is gathered in order to enable a close to real-time prediction of a machine's state. Companies try to implement Predictive Maintenance strategies to avoid machine downtimes on a large scale. For this purpose, artificial neural networks are applied more and more often. However, the classification of machine states with artificial neural networks is still not accurate enough. This is partially due to a lack of standards in data processing and in the harmonization of data from different sensor types. We aim to contribute to close these research gaps by developing a standard PM concept for machine and plant manufactures.

## 1. Introduction

Machinery is a substantial resource to most industrial manufacturing processes. Especially IT-based manufacturing strategies heavily rely on the proper functioning of the involved machines (Persona et al. 2007). Thus, a functional fault - in worst case scenarios a total failure - implies serious problems and causes costs to companies of all sizes and industries. Therefore, the provision of after-sale-services (e.g. maintenance and repair) is a core element of hybrid value creation business models in the engineered products industry (Roland Berger 2017). The goal of such services is the preservation and recovery of operations, whilst providing high quality in terms of time, cost and execution. Furthermore, the provision of maintenance services is a means to create new business opportunities and increase overall revenue.

In recent years the amount and the variety of sensory technology implemented in machines has increased considerably. At the same time, a bundle of new production concepts, amongst others the idea of smart factories and close machine-to-machine-communication, have been outlined (Lasi et al. 2014). Based on a high degree of sensor and actuator integration, industrial machines should be able to recognize what they produce and provide individual product configurations. However, this newly available sensory information is also suitable for machine error diagnosis and the establishment of Predictive Maintenance (PM) strategies, i.e. proactive maintenance service scheduling in order to avoid machine downtimes. Consequently, IT departments and engineers today have to deal with vast amounts of data, trying to produce structured error information and identifying a distinct cause of malfunctioning by data analysis. One approach, which seems particularly promising in the field of automated sensor data processing for machine and part condition classification is the application of Artificial Neural Networks (ANN). However, some challenges remain to be resolved in order for such a process to reach market maturity. We address the topic of PM from an Information Systems' perspective and outline a concept for the integration of machine diagnostics and maintenance services based on ANN.

The remainder of the paper is structured as follows: In section two, the research gap on ANN-based PM strategies and our research design are described. Following a brief introduction to automated sensor data processing with artificial neural networks, section three provides a summary of ANN applications in PM scenarios. In section four, we describe our

current state of research and a use case of an ANN-based PM strategy in a German machine building company. Section 5 concludes with our main findings and provides an outlook on our forthcoming research.

## 2. Research Gap and Research Design

The practical need for PM concepts is not new. Engineering sciences address this topic since the late 1950s in order to achieve optimized maintenance service cycles. Ives and Vitale (1988) provide an early work on PM strategies in the field of Information Systems. Although PM seems to become a more and more effective concept in the improvement of service efficiency and service quality, until today only few actually implemented PM concepts are known. Especially small and medium-sized businesses consider PM still a rather complex mathematical construct. The perceived complexity of PM strategies is fuelled even further by the increased information variety and density from sensor data. Highly individual and sophisticated diagnostic and early warning systems are almost exclusively developed in large enterprises with own departments for research and development (Furtak et al. 2015).

In the context of PM, ANN gain more and more importance. Compared to commonly used statistical forecasting approaches, ANN provide a set of highly dynamic, adaptive and flexible algorithms and procedures. They might even be able to learn and improve themselves from such circumstances. Overall, the application of ANN requires rather few assumptions and data characteristics. They enable, for instance, to process even unsteadily gathered data from different sensor types at the same time and provide robust and highly accurate predictions of condition developments.

However, a major problem and thus a central research gap in automated machine diagnostics is the accuracy of error identification being still too low (Hashemian and Bean (2011), Huda and Taib (2013)). This means, an ANN-diagnostic system might identify an imminent failure, while the machine actually works just fine. This leads to costs due to unnecessary maintenance work and an unnecessary exchange of machine parts. Such false detections can have many causes. For example, faulty data processing during the harmonization of signals of different sensor types could lead to distortions. Furthermore, it is possible that multicollinearity, due to "wanted redundancy" of data, causes estimation errors. Wanted redundancy can arise, for example, by analysing the data of multiple temperature sensors that are located at different positions of a machine. The sensors might show the same values at all times, which causes the data to be fully correlated, but actually they do not provide the same information. Hence, such sensor information should not be removed in data pre-processing.

Another research gap is the often missing link between the understanding of a machine's state and the identification of the appropriate reaction to this state. Besides the analytic and diagnostic components in/on a machine, also the appropriate usage of the gained information needs to be addressed. In order to establish an effective PM strategy, it is not enough to detect failures or the need for maintenance. It is necessary to identify the actually needed service and to provide an IT-infrastructure to directly trigger or schedule this service. Consequently, the current research on PM is highly related to Decision Support Systems, Recommender Systems and the modular service design. In order to develop a robust taxonomy of machine or part conditions and a required maintenance service, which is as comprehensive as possible, findings from these fields of study need to be utilized.

To close the outlined research gaps, we follow an approach based on Design Science Research. In line with the research model of Sonnenberg and vom Brocke (2012), we will di-

vide the individual research gaps into concrete and practical questions and develop prototypes to solve the resulting problems. This applies to possible architectures, data cores and ultimately entire smart recommender systems. The practical application and use of the prototypes and their evaluation is also part of our research agenda.

### 3. Related Works

#### 3.1. A Brief Introduction to Neural Networks

The first ANNs have been developed in the 1940s. Already in 1943 McCulloch and Pitts describe the concept of solving analytical problems by means of networks of neurons (McCulloch and Pitts 1943). Based on this work, Rosenblatt (1958) introduced a layer architecture for such networks. This architecture today is referred to as the first Multi-Layer Perceptron (MLP), a network of neurons that can be trained to solve complex nonlinear problems. After a short period of stagnation, Kohonen (1982) presented a new type of neural network that is trained and conditioned based on so-called self-organizing feature maps (SOM). These SOM networks were the first self-learning networks. They can be used without the initial need for historical data. When Rumelhart et al. (1986) presented backpropagation, a learning and training concept, which enabled to model self-improving and recurrent interrelationship detection, the research on ANN ultimately became revitalised again. An ANN enables to transform multidimensional input-information into a certain number of unambiguous output classes and consists of three different areas: An input layer, an output layer and n hidden layers.

**Tab. 1:** Different types of neural networks and their properties

Field of Application	Common Inputs	Common Outputs	Advantages	Drawbacks
<b>Supervised training: FFNN</b>				
Sensor data classification without considering external stimuli	Numerical sensor data a usually one category of sensors	Identification of 1 machine state out of a predefined set of allowed states	Low complexity; Fast training; Low computational costs	No identification of new output classes; No instant analysis
<b>Supervised training: RNN</b>				
Sensor data classification in presence of external stimuli	Numerical sensor data	Identification of 1 machine state out of a predefined set of allowed states	Highly flexible interrelationship modelling; Quick response to external stimuli	No identification of new output classes; No instant analysis
<b>Unsupervised training: SOM / ART</b>				
Pattern recognition and determination of different output classes	Digital images, numerical sensor data, mixed sensor information and data formats	Individual, free classification and forecasting with endogenously identified outputs and output classes	Self-learning algorithms	Highly complex; unknown accuracy

The actual computing and information processing is carried out in the hidden layers, whereas the number of hidden layers not necessarily is restricted. The hidden layers usually contain an unspecified number of neurons in order to model the impact and interdependencies of all input variables. Thereby an ANN is able to model even complex nonlinear relationships, which is one of the most striking advantages of ANN compared to widely used statistical procedures, for a comparison see Zou et al. (2007). To be used for classification

purposes, an ANN needs to be trained. The kind of training – supervised or unsupervised – and the restrictions on the considered directions of relationships across the individual layers determine the type of an ANN. The training of an ANN is called supervised when the training is carried out whilst the possible output classes and actual outputs are known in advance. In this case, the training procedures are repeated until the cumulated error, i.e. the cumulated difference between the estimated and the actual output values, is below a predefined threshold level. If no backward feedback between the layers is accepted and all layers are processed in sequence during the training, the ANN is referred to as feedforward neural network (FFNN). If bidirectional feedback is possible, a recurrent neural network (RNN) is computed. If no dataset with known results is available for training, unsupervised – self-learning – networks need to be applied. The most important ANNs based on unsupervised learning algorithms are self-organizing feature maps (SOM) and adaptive resonance theory networks (ART), which have been introduced by Grossberg (1976) and Carpenter and Grossberg (1987).

The scientific literature on ANN-based PM strategies mostly describes applications of FFNN and RNN. For condition monitoring and diagnostics, this has advantages and disadvantages at the same time. On the one hand, already analysed historical data, including already identified defects and failures needs to be available for network conditioning. This leads to a predefined output cluster structure and enables only to detect already known machine or part conditions in new data. On the other hand, since the networks are conditioned with respect to an acceptable error threshold value, it is possible to measure the accuracy of the ANN. Although the training is faster for a FFNN than for the RNN, due to its abilities to handle more complex environments and to adapt to external stimuli, the latter appears to be preferred in literature. A comparison of FFNN and RNN can be found at Brezak et al. (2012).

Unsupervised trained networks can be applied to problems, where no or rather little information on the actual structure of the outcome of an analysis are known in advance. SOM and ART algorithms endogenously identify the different types of outputs. Hence, they are rather employed to solve clustering problems. For an outline on SOM, see Rauber et al. (2002). Although this might seem as an advantage in error or failure detection, such approaches can hardly be applied in standardized PM strategies. Since an error or failure that is detected by such an ANN is likely to be unknown to the maintenance management, there is no required service linked to it, yet. Consequently, SOM and ART networks are rather to be used in the definition of a PM system than in the decision support system (DSS) itself.

### **3.2. Neural Networks in Predictive Maintenance Strategies**

For forecasting and data classification purposes, ANN are applied across all industries. Particularly in the engineered products and power supply industries, several approaches have been outlined and application studies have been published. Alguindigue et al. (1993) describe a procedure for the condition monitoring of ball bearings based on vibration analysis with a simple RNN. By analysing data from acoustic sensors, which measured the vibration of the bearings in operation, their network classified the bearing into 1 of 6 predefined conditions. Manduchi et al. (1997) developed a similar approach to monitor the deterioration of Carbon Fibre Reinforced Plastic (CFRP) surfaces, analysing data from temperature sensors with a Bayesian network. Thermal information has also been used in multiple ANN-based condition monitoring approaches on electronic equipment. For instance, Almeida et al. (2009) use a neuro fuzzy network model in order to determine the condition of surge arresters. However, instead of actual thermal sensors, they applied optical, infrared sensors and used the ANN for automated digital image processing and the classification of the parts



into 1 of 4 conditions. Shafi and Hamzah (2010) outlined a similar ANN-based model for digital image processing. Huda and Taib (2013) further improved the ANN-based digital image processing for automated condition monitoring by combining a RNN with an input factor selection based on linear discriminant analysis.

Besides using ANN to determine and classify the condition of parts or machines, they can also be used to actually estimate the remaining useful lifetime (RUL) of a machine. Due to their ability to adapt to and handle incomplete data, several studies have found ANN's RUL estimations to be more accurate than classical time series analysis. Shoa and Nezu (2000), for instance, compare the prediction accuracy of various MLP to ARIMA models and show that, although the estimation based on ANN is more time-consuming, it is by far less erroneous and distorted. In order to speed up ANN-based estimation, Huang et al. (2007) presents a self-learning model based on self-organizing feature maps. Their SOM automatically identifies a subset of relevant input information and significantly reduces the time for computing. Furthermore, Medjaher et al. (2009) outline an approach to model the mechanical wearout of ball bearings and directly estimate its RUL based on a dynamic RNN. ANN can also be applied in PM strategies without being used to directly evaluate conditions or estimate RULs. Sfetsos (2003) uses a RNN for the prediction of energy demand within a certain period. Based on the demand forecasts, the expected load on certain parts of an electricity generator is computed. If the expected load indicates the end of lifetime of certain parts, these are to be changed before the demand forecast window begins. In addition, ANN can be used to model and setup entire sensor infrastructures and data collection strategies. Sagram and Unuvar (2003) use an RNN to find the optimal mixture and positions of sensors for the condition monitoring of the cutting tools in face milling operations.

First DSS employing ANN analyses also have already been developed. Yam et al. (2001) describe a DSS that implements a condition based maintenance strategy for a planetary gear train within an electricity generator in a power plant. The DSS determines and schedules the optimal time for maintenance activities for this particular type of gears. Similar to this, Fu et al. (2004) present an entire maintenance management framework for hydroelectric generators. They use a 4-input ANN to determine the level of degradation of certain generator parts and suggest a maintenance scheme. Wu et al. (2007) present a rather economic approach to DSS. They determine a cost-optimal time of service for ball bearings in machines without security-relevant functions. In contrast to the majority of the published studies on PM strategies, the authors do not try to avoid a run-to-failure by all means, but try to compare the expected costs of maintenance to the expected loss from machine downtimes.

## **4. A Roadmap to Integrated Predictive Maintenance Services**

### **4.1. Overall research agenda**

Although multiple PM applications have been described in the literature, a generally applicable approach is yet to be found. This section outlines our research roadmap and presents the tasks, which we regard to be crucial for the establishment of integrated PM services. One central aspect is to analyse, monitor and determine a machines' condition. This is usually done in a three-step procedure. At first, the life cycle of machines or single parts is determined and the drivers of their degradation processes are identified. Secondly, (sensor) data is gathered. And finally, the gathered data is processed by analytic systems in order to evaluate the current conditions.

Particularly for the latter purpose, it is crucial to determine or develop standard procedures for a) data pre-processing, b) data harmonisation and c) data analysis itself. Hence, it is necessary to carry out detailed and structured literature studies across a variety of scientific

disciplines and develop and verify analytic artefacts for all these tasks. Regarding the data pre-processing and handling of wanted data redundancy, promising concepts and applications have been described, for instance, in the field of clinical psychology and psychiatry. Marsh et al. (2014) describe a pragmatic approach to data selection by applying a combined exploratory and confirmatory factor analysis. Modern and powerful approaches to the merging and harmonization of sensor data (data fusion) are currently also addressed in maritime navigation science Stateczny and Witold (2013). Regarding the current research on data classification with ANN, particularly studies on Convolutional Neural Networks (CNN) is broadly discussed, see, for instance Krizhevsky (2012).

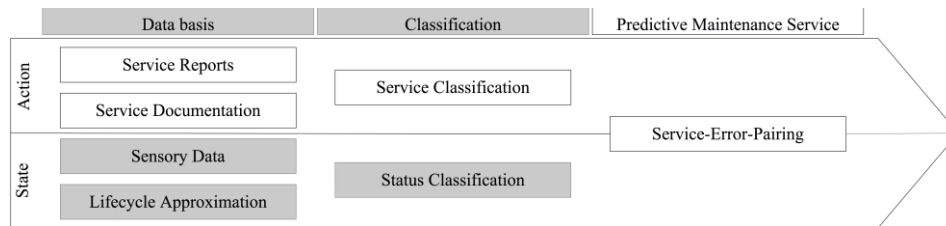


Fig. 1: The Predictive Maintenance service concept

However, the sole information on machine conditions and possible failure is not sufficient for the development of integrated maintenance services. Once the condition of a system has been identified, it is necessary to know how to react to it. Therefore, one needs to understand the reasons for the actual classification. Usually, the number of condition classes is limited and subject to certain analytic restrictions. Consequently, a classification into a condition class can be due to a variety of errors and reasons. To identify the actual problem and the actions and maintenance services that are needed, is the second challenge to be dealt with while setting up a PM strategy. This leads to our twofold research roadmap as shown in Figure 1. To achieve an assignment between states and actions, we suggest the analysis of service reports and documentations. These documents provide valuable information about processed maintenance services, which usually begin with a distinct error and end with a solving service. The gathered information must be filtered and classified for the assignment. For this purpose, a processing by text mining algorithms or natural language processing might be an adequate approach. However, this is to be addressed in later work. As indicated by the highlights in Figure 1, our research currently focusses on the deduction of component lifecycle approximations as first important component of the predictive maintenance concept.

#### 4.2. Our current work and state of research

During our previous research on supporting service processes in machine building companies with mobile devices, we found the density of built-in sensors and the availability of data closely depends on the complexity and actual price of a machine. The implemented sensor types and technologies are mainly determined by the individual architecture of a machine. Although a variety of sensors is integrated into a machine, not all of them can actually be used in the machines condition monitoring. Until today, whole research branches have evolved, analysing the applicability of certain sensor types for material condition diagnostics. Tribology and vibration analysis, for instance, focusses on algorithms and procedures to analyse acoustic sensors. Thereby it is possible to detect irregularities in the operations of bearings or engine cylinders. On the other hand, in order to detect leaks in hidden fuel tanks, optical sensors and algorithms and procedures from thermography or radiography

can be used. A short list of different types of sensors, which have been mentioned in the literature on PM is provided in table 2.

**Tab. 2:** Overview of sensor types and their occurrences in literature

Sensor type	Information on	Analysed in
Acoustic	Vibration, kinetic friction	Alguindigue et al. (1993), Renwick and Babson (1985), Gebraeel et al. (2005), Gebraeel and Gebraeel (2006), Cartella et al. (2012)
Electrical	Electrical current, electrical potential	Yang and Liu (1999), Hashemian and Bean (2011)
Thermal	Temperature	Manduchi et al. (1997)
Optical	Temperature, material density (radiography)	Lasi et al. 2014, Smet et al. (2011), Huda and Taib (2013)
Force	Torque, cutting force	Swanson (2001), Saglam and Unuvar (2003), Hashemian and Bean (2011)

In an ongoing research project with a German machine building company, we currently support the development and introduction of a platform for service process digitalization. One objective of this platform is not only to enable online machine condition diagnostics, but also trigger those maintenance services, which are actually needed. All machines to be monitored and managed consist of more than 1000 parts and components which are subject to deterioration. Consequently, an enormous number of sensors is integrated and provides a huge and – with respect to online condition monitoring – mostly unstructured dataset, which requires extensive pre-processing and harmonisation.

In this setting, the implantation of an ANN-based diagnostic mechanism seems particularly promising and reasonable. Currently we develop the architecture for a RNN which is able to handle the complex mass sensor data in order to detect patterns and ultimately determine machine condition types. For this purpose, process and sensor data is already gathered by experts, in order to create an adequate dataset for the ANN's training. Once it is possible to detect the current condition of all monitored machines, the next step is to connect the current status to all currently necessary maintenance services. For determining which services have been carried out under which condition of a machine, historical reports from service technicians will be evaluated. By this connection, it is possible to develop and establish a fully integrated and automated predictive maintenance service management.

Two of the biggest challenges in the implementation currently are 1) determining the optimal positioning and density of sensors and 2) defining the allowed complexity of machine states. These factors determine the quality and granularity of the realizable PM strategy. If it is only possible to detect the imminence of a machine's failure in general, hardly more than a rather general maintenance task can be triggered. Hence, the classification into only few machine states might be insufficient, since those are not unambiguously related to concrete service requirements. Consequently, the insight from additional sensors and increased analytic complexity need to be carefully weight up against increased computing times and actual production costs. The life cycle analysis of the components furthermore indicates the short-term need for spare parts. Hence, another major challenge for a PM system is, not only to recognize the need for maintenance before a problem occurs, but also to recognize and trigger the resulting maintenance needs in time. Since some types of ANN are able to carry out diagnoses close to real-time, this requirement further confirms the impression of ANN being an adequate instrument. Finally yet importantly, the legal perspective

needs to be addressed. The precise and complete analysis and monitoring of a machine requires full access to all relevant sensor information. This might cause resistance at machine owners, since an unbounded and steady extraction of production data may be a risk to their core business. An improvement in data security may be approached in multiple ways. On the one hand, IT-security-concepts can be extended to protect the transferred data. On the other hand, a neural network could run as a local application at the machine owner's site. However, this approach decreases the advantages of neural networks learning from failures of all machines, regardless of their operating site. Instead, only data from a single machine could provide sensor patterns that probably lack of evidence.

## 5. Conclusion and Outlook

The development and implementation of PM concepts and strategies is a promising approach to improve machine reliability, to avoid downtimes and to enable the optimization of maintenance processes and services. Yet, due to the steadily increasing amount and variety of built-in sensors and the resulting mass data, most companies still face a problem of information overload. Although a multitude of data processing concepts already has been applied to condition monitoring and failure forecasting, a standard practice has yet to be found. In this context, particularly ANN have gained importance in recent years. However, the available types of ANN have not been fully evaluated regarding their applicability to machine condition analysis.

The most challenging aspect in the setup of a PM-strategy is the lack of data and information standards in machine condition monitoring. Obviously, there is no such thing as a standard machine, which only consist of standard parts. However, the characteristics and behaviour of standard materials being used to build machine parts already have been studied. Hence, it might be possible to identify a combination of sensors to monitor the deterioration of single parts. Also there is no standard data structure for the collection of historical training data, yet. Another shortcoming we see in the current development of condition monitoring and PM concepts is the strong focus on the processing of sensor data. Although quite powerful text mining algorithms are available, error messages and failure and even service reports, created by service technicians or machine owners, still are mostly ignored in industrial PM applications. Although these reports have not yet been standardized either, we suspect major insights and valuable information to be hidden in this data. Hence, we strongly recommend the development of concepts for the harmonization of sensor data and data created by experts.

Finally, advanced analytic mechanisms for diagnostics are just one puzzle piece in a PM strategy. Once failures or critical conditions have been diagnosed, it becomes necessary a) to detect the actual root cause of the problem that is about to occur, b) to identify the adequate maintenance service for this problem, c) to schedule the service and d) to monitor and analyse the post service system conditions. Consequently, if an appropriate analytic system has been developed, the required research has just begun.

## References

- Alguindigue, I. E.; Loskiewicz-Buczak, A., Uhrig, R. E. (1993) Monitoring and diagnosis of rolling element bearings using artificial neural networks, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (40:2), S. 209–217.
- Almeida, C. A. L.; Braga, A. P.; Nascimento, S.; Paiva, V.; Martins, H. J. A.; Torres, R., Caminhas, W. M. (2009) Intelligent Thermographic Diagnostic Applied to Surge Arresters: A New Approach, *IEEE Transactions on Power Delivery* (24:2), S. 751–757.

- Brezak, D.; Bacek, T.; Majetic, D.; Kasac, J., Novakovic, B. (2012) A comparison of feed-forward and recurrent neural networks in time series forecasting, IEEE Conference on Computational Intelligence for Financial Engineering & Economics (CIFEr), S. 1–6.
- Carnero, M. C. (2005) Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program. A case study, *Decision Support Systems* (38:4), S. 539–555.
- Carpenter, G. A., Grossberg, S. (1987) A massively parallel architecture for a self-organizing neural pattern recognition machine, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing* (37:1), S. 54–115.
- Cartella, F.; Liu, T.; Meganck, S.; Lemeire, J., Sahli, H. (2012) Online adaptive learning of Left-Right Continuous HMM for bearings condition assessment, *Journal of Physics: Conference Series* (364), S. 12031.
- Fu, C.; Ye, L.; Liu, Y.; Yu, R.; lung, B.; Cheng, Y., Zeng, Y. (2004) Predictive Maintenance in Intelligent-Control-Maintenance-Management System for Hydroelectric Generating Unit, *IEEE Transactions on Energy Conversion* (19:1), S. 179–186.
- Furtak, S.; Avital, M., Ulslev Pedersen, R. (2015) Sensing the Future: Designing Predictive Analytics with Sensor Technologies, in 23rd European Conference on In-formation Systems (ECIS) 2015.
- Gebraeel, N., Gebraeel, N. (2006) Sensory-Updated Residual Life Distributions for Components with Exponential Degradation Patterns, *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* (3:4), S. 382–393.
- Gebraeel, N. Z.; Lawley, M. A., Li, R., Ryan, J. K. (2005) Residual-life distributions from component degradation signals: A Bayesian approach, *IIE Transactions* (37:6), S. 543–557.
- Grossberg, S. (1976) Adaptive pattern classification and universal recoding: I. Parallel development and coding of neural feature detectors, *Biological Cybernetics* (23:3), S. 121–134.
- Hashemian, H. M., Bean, W. C. (2011) State-of-the-Art Predictive Maintenance Techniques, *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement* (60:10), S. 3480–3492.
- Hevner, A. R.; March, S. T.; Park, J., Ram, S. (2004) Design science in information systems research, *MIS quarterly* (28:1), S. 75–105.
- Huang, R.; Xi, L.; Li, X.; Richard Liu, C.; Qiu, H., Lee, J. (2007) Residual life predictions for ball bearings based on self-organizing map and back propagation neural network methods, *Mechanical Systems and Signal Processing* (21:1), S. 193–207.
- Huda, A. S. N., Taib, S. (2013) Application of infrared thermography for predictive/preventive maintenance of thermal defect in electrical equipment, *Applied Thermal Engineering* (61:2), S. 220–227.
- Ives, B., Vitale, M. R. (1988) After the Sale: Leveraging Maintenance with Information Technology, *MIS Quarterly* (12:1), S. 7–21.
- Kohonen, T. (1982) Self-organized formation of topologically correct feature maps, *Biological Cybernetics* (43:1), S. 59–69.
- Krizhevsky, A.; Sutskever, I., Hinton, G. E., (2012) Imagenet classification with deep convolutional neural networks., *Advances in neural information processing systems*, S. 1097–1105.
- Lasi, H.; Fettke, P.; Kemper, H.-G.; Feld, T., Hoffmann, M. (2014) Industry 4.0, *Business & Information Systems Engineering* (6:4), S. 239–242.
- Manduchi, G.; Marinetti, S.; Bison, P., Grinzato, E. (1997) Application of neural network computing to thermal non-destructive evaluation, *Neural Computing & Applications* (6:3), S. 148–157.

- Marsh, H. W.; Morin, A. J. S.; Parker, P. D., Kaur, G. (2014) Exploratory Structural Equation Modeling: An Integration of the Best Features of Exploratory and Confirmatory Factor Analysis, *Annu. Rev. Clin. Psychol.*, Bd. 10, Nr. 1, S. 85–110, March 2014.
- McCulloch, W. S., Pitts, W. (1943) A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity, *Bulletin of Mathematical Biophysics* (5), S. 115–133.
- Medjaher, K.; Moya, J.-Y., Zerhouni, N. (2009) Failure prognostic by using dynamic Bayesian Networks., in 2nd IFAC Workshop on Dependable Control of Discrete Systems, DCDS'09. (Vol. 1), IFAC, S. 291–296.
- Persona, A.; Regattieri, A.; Pham, H., Battini, D. (2007) Remote control and maintenance outsourcing networks and its applications in supply chain management, *Journal of Operations Management* (25:6), S. 1275–1291.
- Rauber, A.; Merkl, D., Dittenbach, M. (2002) The growing hierarchical self-organizing map: exploratory analysis of high-dimensional data, *IEEE Transactions on Neural Networks* (13:6), S. 1331–1341.
- Renwick, J. T., Babson, P. E. (1985) Vibration Analysis—A Proven Technique as a Predictive Maintenance Tool, *Industry Applications*, *IEEE Transactions on* (2), S. 324–332.
- Roland Berger. (2014) Evolution of service: Capturing value pockets in the service business, (available at [http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland\\_Berger\\_taC\\_Evolution\\_of\\_Service\\_2014\\_0107pdf](http://www.rolandberger.de/media/pdf/Roland_Berger_taC_Evolution_of_Service_2014_0107pdf)).
- Rosenblatt, F. (1958) The perceptron: A probabilistic model for information storage and organization in the brain., *Psychological Review* (65:6), S. 386–408.
- Rumelhart, D. E.; Hinton, G. E., Williams, R. J. (1986) Learning representations by back-propagating errors, *Nature* (323:6088), S. 533–536.
- Saglam, H., Unuvar, A. (2003) Tool condition monitoring in milling based on cutting forces by a neural network, *International Journal of Production Research* (41:7), S. 1519–1532.
- Sfetsos, A. (2003) Short-term load forecasting with a hybrid clustering algorithm, in *Generation, Transmission and Distribution*, IEE Proceedings- (Vol. 150), IET, S. 257–262.
- Shafi, M. A., Hamzah, N. (2010) Internal fault classification using artificial neural network, in *Power Engineering and Optimization Conference (PEOCO)*, 2010 4th International, IEEE, S. 352–357.
- Shao, Y., Nezu, K. (2000) Prognosis of remaining bearing life using neural networks, *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part I: Journal of Systems and Control Engineering* (214:3), S. 217–230.
- Smet, V.; Forest, F.; Huselstein, J.-J.; Richardeau, F.; Khatir, Z.; Lefebvre, S., Berkani, M. (2011) Ageing and Failure Modes of IGBT Modules in High-Temperature Power Cycling, *IEEE Transactions on Industrial Electronics* (58:10), S. 4931–4941.
- Sonnenberg, C., vom Brocke, J., (2012) Evaluations in the science of the artificial—reconsidering the build-evaluate pattern in design science research, in: *International Conference on Design Science Research in Information Systems*. Springer, S. 381–397.
- Stateczny, A., Witold, K., (2013) Sensor data fusion in inland navigation. 2013 14th International Radar Symposium (IRS). Vol. 1. IEEE, S. 264–269.
- Swanson, D. C. (2001) A general prognostic tracking algorithm for predictive maintenance, (Vol. 6), IEEE, S. 2971–2977.
- Wang, H. (2002) A survey of maintenance policies of deteriorating systems, *European journal of operational research* (139:3), S. 469–489.
- Wu, S.; Gebraeel, N.; Lawley, M. A., Yih, Y. (2007) A Neural Network Integrated Decision Support System for Condition-Based Optimal Predictive Maintenance Policy, IEEE

- Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - Part A: Systems and Humans (37:2), S. 226–236.
- Yam, R. C. M.; Tse, P. W.; Li, L., Tu, P. (2001) Intelligent Predictive Decision Support System for Condition-Based Maintenance, *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* (17:5), S. 383–391.
- Yang, S. K., Liu, T. S. (1999) State estimation for predictive maintenance using Kalman filter, *Reliability Engineering & System Safety* (66:1), S. 29–39.
- Zou, H. F.; Xia, G. P.; Yang, F. T., Wang, H. Y. (2007) An investigation and comparison of artificial neural network and time series models for Chinese food grain price forecasting, *Neurocomputing* (70:16–18), S. 2913–2923.

## Beitrag 7: Geschäftsmodellevolution im Technischen Kundendienst

---

Titel	Geschäftsmodellevolution im Technischen Kundendienst des Maschinen- und Anlagenbaus durch additive Fertigung – Ersatzteilbereitstellung als smart Service
Autoren	<b>Andreas Varwig</b> , Friedemann Kammler, Oliver Thomas
Publikationsorgan	Additive Manufacturing Quantifiziert
Ranking	VHB JQ3: Nicht gelistet WKWI: Nicht gelistet
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Varwig, A., Kammler, F. & Thomas, O. (2017). <i>Geschäftsmodellevolution im Technischen Kundendienst des Maschinen- und Anlagenbaus durch additive Fertigung-Ersatzteilbereitstellung als smart Service</i> . In Lachmayer, R. & Lippert, R.B. (Hrsg.): Additive Manufacturing Quantifiziert, S. 133-143. Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
Abstract	Um den Herausforderungen des stetig zunehmenden Wettbewerbsdrucks im deutschen Maschinen- und Anlagenbau gerecht zu werden, versuchen immer mehr Unternehmen hybride Wertschöpfungsstrategien umzusetzen und auszubauen. Im allgegenwärtigen Streben nach Kostenreduktion und Verbesserung von Reaktionszeiten und Prozessqualität ist insbesondere im Dienstleistungsangebot ein radikaler Umbruch festzustellen. Immer öfter werden moderne Technologien eingesetzt, um Wartungs- und Servicetechniker vor Ort zu unterstützen. In diesem Umfeld erscheint auch Additive Manufacturing (AM) als eine besonders vielversprechende Möglichkeit, um bestehende Serviceprozesse im Technischen Kundendienst zu unterstützen und sogar neue Geschäftsfelder zu erschließen. Dennoch sind deutsche Maschinen- und Anlagenbauer mit dem Einsatz von AM sehr zögerlich. Obwohl die Integration von AM auf den ersten Blick nicht problematisch erscheint, kommen bei der Bewertung der konkreten Einsatzbarkeit in Service- und Wartungsdienstleistungen zahlreiche Fragen auf, die vorab einer Klärung bedürfen.
Identifikation	ISBN (Print) 978-3-662-54112-8 DOI: 10.1007/978-3-662-54113-5_9
Link	<a href="http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-54113-5_9">http://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-662-54113-5_9</a>
Copyright	© 2017 Springer-Verlag GmbH Deutschland

---

**Tab. 8:** Factsheet Beitrag 7



# **Geschäftsmodellevolution im Technischen Kundendienst des Maschinen- und Anlagenbaus durch additive Fertigung – Ersatzteilbereitstellung als Smart Service**

## **Zusammenfassung**

Um den Herausforderungen des stetig zunehmenden Wettbewerbsdrucks im deutschen Maschinen- und Anlagenbau gerecht zu werden, versuchen immer mehr Unternehmen hybride Wertschöpfungsstrategien umzusetzen und auszubauen. Im allgegenwärtigen Streben nach Kostenreduktion und Verbesserung von Reaktionszeiten und Prozessqualität ist insbesondere im Dienstleistungsangebot ein radikaler Umbruch festzustellen. Immer öfter werden moderne Technologien eingesetzt, um Wartungs- und Servicetechniker vor Ort zu unterstützen. In diesem Umfeld erscheint auch Additive Manufacturing (AM) als eine besonders vielversprechende Möglichkeit, um bestehende Serviceprozesse im Technischen Kundendienst zu unterstützen und sogar neue Geschäftsfelder zu erschließen. Dennoch sind deutsche Maschinen- und Anlagenbauer mit dem Einsatz von AM sehr zögerlich. Obwohl die Integration von AM auf den ersten Blick nicht problematisch erscheint, kommen bei der Bewertung der konkreten Einsatzbarkeit in Service- und Wartungsdienstleistungen zahlreiche Fragen auf, die vorab einer Klärung bedürfen.

## **1. Einleitung**

Die Digitalisierung des technischen Kundendienstes schreitet mit großen Schritten voran. In Deutschland offenbart sich diese Entwicklung in besonderem Maße in Branchen wie dem Maschinen- und Anlagenbau. Mit Smartphones, Tablets und neusten Technologien aus dem Bereich der Wearables werden immer mehr Dienstleistungen durch die teils proaktive Bereitstellung hilfreicher Informationen unterstützt (vgl. Thomas et al. 2010). So ist es beispielsweise möglich, die Zeit bis zur erfolgreichen Behebung von Störungsfällen durch das Bereitstellen von Einbauanleitungen oder Demonstrationsvideos effektiv zu verkürzen. Auch wird seit einiger Zeit vermehrt versucht, Stakeholder von Serviceeinsätzen durch die Einführung von Plattformstrategien stärker miteinander zu vernetzen und Informationen gezielter zu teilen (siehe u. a. Nüttgens et al. 2014]). Ein zentrales Problem im Streben nach einer Effizienzsteigerung im Service bleibt jedoch die zeitnahe Bereitstellung benötigter Ersatzteile. Oftmals ist der Bedarf zwar schnell ermittelt, jedoch sind Teile, insbesondere für hochspezialisierte oder ältere Anlagen, nicht immer direkt vor Ort verfügbar. Dies kann lange, kostenintensive Maschinenausfallzeiten zur Folge haben (vgl. Bacchetti und Saccani 2012).

Aus informationstechnischer Perspektive wird diese Herausforderung bereits seit Jahrzehnten angegangen. Hier nutzen Unternehmen insbesondere die Folgen der Industrie-4.0-Entwicklungen und die damit einhergehende wachsende Anzahl verbauter Sensoren. Durch die automatisierte Auswertung von Maschinendaten und die stetige Verfeinerung von Analysealgorithmen verfolgen sie sogenannte „Predictive Maintenance“-Ansätze. Dadurch soll der drohende Defekt eines seltenen Bauteils möglichst frühzeitig diagnostiziert werden (siehe bspw. Wende und Kiradjev 2014). Es fehlt jedoch bisher an Lösungen, um auch die „Materialisierung vor Ort“ zu realisieren und so eine zeitnahe, gesamtheitliche Ersatzteilversorgung zu ermöglichen. Durch die Einbettung von Additive Manufacturing (AM) Technologien sind daher innovative Möglichkeiten zu erwarten. In Folge der stetig zunehmenden Leistungsfähigkeit der Fertigungsverfahren ergeben sich neue Anwendungsfälle, die in

Kombination mit modernen Informationstechnologien zu sogenannten „Smart Services“ weiterentwickelt werden können (siehe u. a. Thomas et al. 2016).

Ein solcher Smart Service ist die digitale Ersatzteilbereitstellung. Immer kompaktere AM Technologien, die noch dazu eine zunehmende Menge an Materialien verarbeiten können, ermöglichen flexible Fertigungsstandorte und sogar die mobile Herstellung von Ersatzteilen. Dadurch gewinnen Konzepte wie das digitale Ersatzteillager immens an Attraktivität. Deutsche Maschinen- und Anlagenbauer blicken jedoch noch immer mit Skepsis auf AM und sind sehr zögerlich in dessen Einsatz. Im Rahmen dieser Ausarbeitung wird versucht, die Ursachen für die Zurückhaltung zu ergründen und die aus der Perspektive des deutschen Maschinen- und Anlagenbaus zu klärenden Fragen zu identifizieren. Zu diesem Zweck werden die Ertragspotentiale AM-gestützter Smart Services am Beispiel eines Digitalen Ersatzteillagers für deutsche Maschinen- und Anlagenbauer aufgezeigt und die Anforderungen und Herausforderungen bei der Umsetzung herausgearbeitet (vgl. Thomas et al. 2015).

## **2. Serviceinnovationspotential im Maschinen- und Anlagenbau**

Die zunehmende Wettbewerbsintensität fordert von Maschinen- und Anlagenbauern die stetige Prozessoptimierung. Zur Stabilisierung und zum Ausbau der eigenen Position verfolgen immer mehr Unternehmen den Ausbau hybrider Wertschöpfungsstrategien, denn die Unternehmen haben erkannt, dass in der Erbringung von Servicedienstleistungen noch immer große Optimierungspotenziale vorhanden sind. Durch die Anpassung von Serviceprozessen lassen sich darüber hinaus auch neue Erträge, Geschäftsmodelle und ganze Geschäftsfelder erschließen. Eine Übersicht über diese Entwicklungen liefern Thomas et al. (2010).

Zwei Stellschrauben, die maßgeblich für den Erfolg der Anpassungen des Dienstleistungsgeschäfts im deutschen Maschinen- und Anlagenbau sind, sind a) die Kosten der Leistungserbringung an sich und b) die Reaktionszeit im Servicefall. Ein Großteil der deutschen Maschinenhersteller hat das Ertragspotential von Service- und Wartungsdienstleistungen noch nicht erschlossen. Die Erträge aus After-Sales-Services machen im deutschen Maschinen- und Anlagenbau bislang noch weniger als 20 % der Gesamterträge aus (vgl. VDMA 2014). Hieraus ist ableitbar, dass ein Großteil der Serviceleistungen aktuell noch innerhalb des Gewährleistungszeitraums erfolgt. Somit wirken sich hohe Servicekosten unmittelbar auf das Betriebsergebnis aus. Gleiches gilt auch für die Reaktionszeit, denn Maschinenausfallzeiten sind häufig mit immensen Einnahmeausfällen der Betreiber verbunden, welche innerhalb der Gewährleistung häufig an den Hersteller weitergereicht werden.

Ein strategischer Schwerpunkt im deutschen Maschinen- und Anlagenbau liegt daher derzeit auf der Steigerung der Maschinenverlässlichkeit zur Vermeidung von Ausfallzeiten (vgl. Thomas et al. 2015). Um eine größtmögliche Ausfallsicherheit zu erreichen, werden verschiedene Ansätze verfolgt. Einerseits wird die Zuverlässigkeit produzierter Komponenten bereits maßgeblich durch die Sicherung der Produktionsgüte beeinflusst. Andererseits wird aber auch beabsichtigt, den unvermeidbaren Ausfall der Komponenten vorherzusagen und einen vorzeitigen Austausch zu veranlassen. Insbesondere in der Erschließung des Marktes zur Serviceerbringung nach Ablauf der Gewährleistung ist die Verbesserung der Reaktionszeiten von immenser Bedeutung. Denn, bedingt durch die großen Ertragseinbußen durch Maschinenstillstände, ist für Maschinenbetreiber in den meisten Fällen eine geringe Reaktionszeit wichtiger als die tatsächlich entstandenen Reparaturkosten.

Durch den Einsatz von AM bietet sich die Möglichkeit, diese Herausforderungen auf verschiedenen Ebenen anzugehen. Primär können durch die Ersatzteilmontage „on-demand“,

d. h. die kurzfristige und bedarfsgerechte Materialisierung von Ersatzteilen aus einer digitalen Lagerhaltung, langfristig Lagerkosten eingespart werden, da das physische Vorhalten vor Ersatzteilen weitestgehend vermieden werden könnte, vgl. Thomas et al. (2016). Außerdem sind durch den etwaig geringeren Bedarf an Spezialwerkzeugen und individuellen Gussformen für die Ersatzteilerfertigung langfristig geringere Kosten zu erwarten, siehe Lachmayer et al. (2016). Durch das Eingehen neuer Kooperationen und die Etablierung von AM-Fertigungsnetzen, etwa durch die gemeinschaftliche Anschaffung von Druckanlagen und Einrichtung von Druckzentren in der Nähe von Produktionsstandorten, könnten zudem die Initialkosten und Investitionsrisiken niedrig gehalten werden. Dieser Vorteil würde durch die nachfolgende Senkung der Transportkosten noch erhöht werden.

Wenngleich im Einzelfall zu erproben bleibt, ob sich durch AM auch geringere Lieferzeiten für ein komplettes, dauerhaft einsetzbares Ersatzteil realisieren lassen, ermöglicht AM dennoch die Möglichkeit für sogenannte Hotfixes (im Sinne von schnellen Übergangslösungen durch Rapid und Smart Repair). Dies schließt mittlerweile auch die Hybridisierung von Bauteilbereichen ein. Denn unterschiedliche Werkstoffe können, z. B. innerhalb des „Selektiven Laserstrahl-Schmelzens“, miteinander verbunden werden, so dass sie gewollt unterschiedliche mechanische und chemische Eigenschaften aufweisen (Schmid 2015). Auch kann AM, etwa durch die Erzeugung von Bauteilmustern aus Kunststoffen, zur schnellen und verlässlichen Erprobung von kostenintensiven Wartungsschritten, bspw. komplexen Einbauvorgängen, genutzt werden (vgl. Witt et al. 2015). Der Einsatz von AM könnte sogar die Erschließung völlig neuer Servicekonzepte ermöglichen. Beispielsweise muss nicht länger das langlebige und haltbarste Teil, welches unter Umständen aus teurem Material hergestellt werden muss, bevorzugt werden. Stattdessen kann eines kostenoptimal sein, das mittels kontinuierlichem Austausch in geplanten Wartungszyklen die geringste unerwartete Ausfallhäufigkeit aufweist.

Besonderes Potential für AM-Technologien ist in der Wartungsunterstützung an älteren Anlagen zu erkennen. Tritt ein Ersatzteilbedarf zu Beginn des Maschinenlebenszyklus ein, kann dieser oftmals unkompliziert und schnell behoben werden. Ersatzteile für ältere Anlagen können jedoch häufig nur schwer oder gar nicht beschafft werden. Dies kann Neuananschaffungen notwendig machen und mit hohen Kosten verbunden sein, die im Fall eines verfügbaren Ersatzteils kurzfristig vermeidbar gewesen wären. Während die physische Vorhaltung von historischen Ersatzteilen aufgrund der verbundenen Kosten oft nicht oder nur eingeschränkt möglich ist, stellt die digitale Lagerhaltung von Konstruktionsdaten einen wichtigen Schritt für Unternehmen des Maschinen- und Anlagenbaus dar. Digitale Konstruktionsinformationen zur bedarfsgesteuerten Ersatzteilproduktion durch AM zu nutzen, würde den Vorteil mit sich bringen, dass die kontinuierliche Versorgung von Maschinen, die sich bereits Jahrzehnte im Einsatz befinden, mit benötigten Ersatzteilen einfacher möglich wäre.

Hinsichtlich der Lebensdauer der Anlage und der erreichten Servicegeschwindigkeit stellt sich außerdem die Frage nach Analyseansätzen, die Maschinen-, Konstruktions- und Fertigungsdaten integrieren und kontinuierliche Verbesserungen der Komponenten und angebotenen Services ermöglichen (vgl. Wycisk 2015). Hierbei kann der reproduktive Fertigungsschritt als Ausgangspunkt für Adaption und Konfiguration der Ersatzkomponenten sowie für das Prototyping neuer, besser auf den spezifischen Einsatzzweck angepasste Varianten genutzt werden (Lachmayer und Gottwald 2013). Für Maschinenbetreiber entsteht so die Möglichkeit, neben der Instandhaltung auch eine Verbesserung seiner Maschine zu erschließen und damit höhere Produktivität und Lebensdauer zu erzielen.

### 3. Digitale Lagerhaltung und smarte Ersatzteilbereitstellung

Wie entwickelt man eine digitale Lagerhaltung? Geht man diese Frage aus informationstechnischer Perspektive an, so fällt schnell besonderes Augenmerk auf die Bereitstellung von Konstruktionsdaten für die Fertigung der Komponenten. Im ersten Schritt bedeutet dies, dass entwickelte Datensätze in einem zentralen Katalog bereitgestellt werden müssen. Ein solcher Ansatz wäre allerdings nicht als unbedingte Innovation zu bewerten, da entsprechende Speichertechnologien seit Jahren verfügbar sind. Betrachtet man jedoch die Implikationen einer Integration entlang der Wertschöpfungskette bis hin zum Endabnehmer von Ersatzteilen, wird klar, dass eine Kopplung solcher Speichertechnologien mit einem Netzwerk von additiven Fertigungsanlagen Innovationsmöglichkeiten bietet. Eine entsprechende Analyse wurde von Khajavi et al. (2014) bereits für die Ersatzteillieferkette von Militärflugzeugen durchgeführt. Ein Kernpotenzial liegt dabei in der Auslagerung der tatsächlichen Produktion des Ersatzteils. So könnte beispielsweise die Vergabe von Individualaufträgen innerhalb eines Netzwerks von 3D-Druck-Dienstleistern stattfinden. Für den Maschinen- und Anlagenbau bedeutet dies, dass dringend benötigte Ersatzteile entweder direkt dem Kunden oder einem geographisch nahgelegenen Dienstleister virtuell zugestellt werden können. Die Entwurfsskizze eines digitalen Ersatzteillagers ist in Abb. 1 dargestellt.

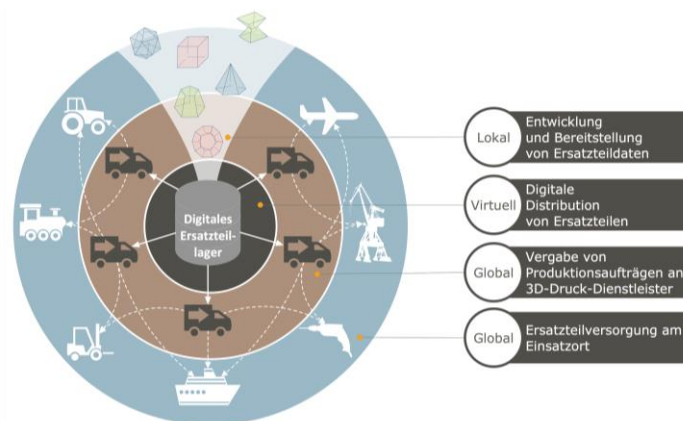


Abb. 1 Konzeptuelle Abbildung eines digitalen Ersatzteillagers

Für den Maschinen- und Anlagenbauer entsteht so sogar ein neues Geschäftsmodell. Denn er fungiert nicht länger nur als Ersatzteilproduzent, sondern transformiert seine Rolle zu der eines digitalen Entwicklungsdienstleisters. Vormalig zentrale Aspekte, wie die Erschließung eines physischen Distributionswegs zum Endverbraucher, werden durch die virtuelle Abbildung der Wegstrecke obsolet. Auf dieser Ebene entstehen zukünftig vor allem Entwicklungskosten, während Ertrag über die Lizenzierung der gedruckten Ersatzteile erwirtschaftet werden könnte. Hierfür wird die Entwicklung von Modellen zur Kooperation mit Produzenten erforderlich, die den Druck vor Ort sowie die „letzte Meile“ zum Endverbraucher übernehmen können. Solche Kooperationsmodelle können unterschiedlichsten Varianten folgen, angefangen bei dem Druck im Self-Service durch den Endverbraucher bis hin zum zertifizierten Dienstleister, der als Full-Service-Provider Ersatzteile zum Einsatzort liefert. Einen breiten Überblick über das grundsätzliche Revolutionspotential des AM, auch für das Dienstleistungsgeschäft, bieten beispielsweise Weller et al. (2015).

Die Implementierung eines digitalen Ersatzteillagers erfordert auf technischer Ebene nur begrenzten Aufwand. Primär muss eine adäquate Speicher- und Beschreibungsstruktur gefunden werden, die in der Lage ist, die Produktionsdaten, wie bspw. die Konstruktionspläne

(CAD-Daten) und Material- und sonstigen Fertigungsanweisungen abzubilden. In dieser Speicherstruktur muss eine Beschreibungsebene angelegt werden, die die individuellen Datensätze für alle Ersatzteile schnell und unkompliziert auffindbar macht. Aufgrund der virtuellen Distribution muss mindestens eine Schnittstelle zum Internet bestehen, idealerweise wird das digitale Ersatzteillager schon als Cloud-Service abgebildet und folgt so einer nahezu freien Skalier- und Verfügbarkeit. Aufgrund der Veränderung des Geschäftsmodells hin zu einem Dienstleister-/Plattformbetreibermodell muss eine Schnittstelle zu den betrieblichen Informationssystemen (bspw. ERP- und CRM-System) geschaffen werden, um die Ersatzteilabrufe zu fakturieren und für den weiteren Geschäftsverlauf zu protokollieren. Schlussendlich sind Mechanismen zum Schutz der digitalen Modelle erforderlich, die das mehrfache Drucken von einzelnen Ersatzteilen verhindern. Denkbar wäre beispielsweise die Entwicklung einer individuellen Seriennummer.

Das digitale Ersatzteillager dient also nicht nur der direkten Bereitstellung von benötigten Daten. Auch Funktionen wie beispielsweise das Generationenmanagement oder die Bereitstellung von historischen Ersatzteilen erfordert nicht länger eine räumliche Lagerung, die wertvolle Kapazitäten in Anspruch nimmt und bietet die Möglichkeit zu weitgehenden Qualitätsversprechen, wie beispielsweise der „lebenslangen“ Nachlieferung von Ersatz- und Verschleißteilen.

#### **4. Anforderungen durch den Maschinen- und Anlagenbau und Implikationen für den Einsatz von AM**

Neben dem digitalen Ersatzteillager sind noch zahlreiche weitere Geschäftsmodelle und Use Cases für den Maschinen- und Anlagenbau denkbar. Warum läuft die Integration von AM-Konzepten jedoch so schleppend an? Augenscheinlich gibt es noch immer zu viele Fragen und Unklarheiten, die nicht einmal strukturiert aufgearbeitet wurden. Damit die Implementierung eines digitalen Ersatzteillagers, durch das zentrale Serviceprozesse nachhaltig profitieren, möglich wird, ergeben sich alleine mannigfaltige interdisziplinäre Forschungs- und Analysebedarfe. Diese reichen von der Auswahl der für AM geeigneten Verschleißteile, über die Bedarfe an Vermessungstechnologien und IT-Infrastruktur bis hin zur Selektion der Kriterien für die Standortwahl. Darüber hinaus sind umfassende Anforderungen an Informationstechnologien und -architekturen selbst zu berücksichtigen.

Bevor an einen breiten Einsatz von AM im deutschen Maschinen- und Anlagenbau zu denken ist, ist jedoch zu untersuchen, inwieweit eine Transformation der bestehenden Prozesse, im Hinblick auf das digitale Ersatzteillager speziell Wartungs- und Austauschserviceprozesse, in durch AM unterstützte Serviceprozesse überhaupt möglich ist. Dabei sind gleichsam fertigungstechnische Fragestellungen als auch die jeweiligen Wartungsprozesskomplexitäten zu überprüfen. Bedingt durch die rapiden technischen Entwicklungen (u. a. Gibson et al. 2010, Frazier 2014), und den daraus resultierenden Mangel an Standards, gibt es erhebliche Informationsasymmetrien zwischen Fertigungstechnikern, den potentiellen Verwendern von AM und vielfältigen weiteren Stakeholdern (Conner et al. 2014).

Maschinenhersteller greifen heute, vor allem bei der Herstellung metallener Maschinenbauteile, zumeist auf Guss- und Druckgussverfahren zurück. Dies hat zur Folge, dass sie eine bestimmte Materialbeschaffenheit von manchen Ersatzteilen erwarten und benötigen, um ein reibungsloses Funktionieren einer Maschine zu garantieren. Bereits heute können zwar verschiedenste Materialien mittels AM verarbeitet werden, dennoch können die Verfahren nur bedingt Einfluss auf die Beschaffenheit der gefertigten Teile nehmen. Durch partielles Anschmelzen von neuem Material können bspw. nicht die gleichen Festigkeiten und Materialspannungen innerhalb von Bauteilen erreicht werden, wie dies im Druckguss möglich

ist. Auch spielt die zulässige Toleranz bei Formabweichungen eine Rolle. Während Formgussverfahren durch individuelle Kavitäten eine sehr hohe Genauigkeit gewährleisten können, ist diese nicht durch alle AM-Verfahren gegeben (siehe u. a. Gibson et al. 2010).

Neben den Materialeigenschaften bestimmt auch die benötigte maximale Bereitstellungsdauer Anforderungen an die Fertigungstechnologie, welche die Auswahl von relevanten Ersatzteilen und Informationssystemarchitekturen weiter einschränken können. Geht es um hochkomplexe Ersatzteile, die produktionskritisch sind, muss die Bereitstellung über das digitale Ersatzteillager und die AM-Produktion schneller erfolgen, als sie etwa durch eine Zustellung per Kurier aus dem nächsten Ersatzteillager erfolgen kann. D. h., um eine möglichst geringe Reaktionszeit zu gewährleisten, kann sogar eine lokale Datenhaltung und Vorhaltung aller entsprechenden Fertigungsrohstoffe für solche Teile notwendig sein. Beinahe zwangsläufig stellt sich in diesem Zusammenhang auch die Frage nach der zeitnahen Bedarfserkennung und -signalisierung. Daher gilt es nicht nur, eine Aufstellung von Standardverschleißteilen zu erlangen. Die Teile müssen außerdem grundsätzlich durch AM erfüllbare Anforderungen im Hinblick auf ihre materialinterne Komplexität und Formabweichungstoleranzen haben. Um außerdem eine maximale Bereitstellungsdauer einhalten zu können, müssen Produktionsstandards definiert werden, die einen zuverlässigen Rückschluss auf die Qualität, Beschaffenheit und Verschleißigenschaften der hergestellten Komponenten zulassen. Die Herausforderung besteht demnach darin, Materialfragestellungen sowie die Themen der tatsächlichen Implementierung, Operationalisierung und Unterstützung in zukünftigen Smart Services zu kombinieren.

Auch stellt sich die Frage nach der Auswahl des optimalen, bedarfsnahen und bedarfsgerechten Produktionsstandorts und den resultierenden Implikationen für die AM-Technologie- und Informationssystemauswahl. Dabei geht es nicht ausschließlich darum, Wegstrecken bei der Auslieferung von Ersatzteilen zu optimieren. Es müssen gleichsam zahlreiche Nebenbedingungen berücksichtigt werden. Offensichtlich ist dabei beispielsweise die Notwendigkeit, die Versorgung mit Ausgangsrohstoffen sicher zu stellen. So müssen Handels- und Transport- und Einfuhrbestimmungen für spezielle Rohmaterialien beachtet werden. Auch kommen nur solche Fertigungsstandorte in Frage, an denen die notwendigen Verarbeitungsrahmenbedingungen, bspw. Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Erschütterungssicherheit eingehalten werden können. Ferner muss die Datenversorgung und Datensicherheit nach Bezug gewährleistet sein. Dabei ist etwa relevant, wie häufig einzelne Modelldaten aktualisiert werden können. Bei einer hohen Frequenz von Detail- und Designmodifikationen kann so eine permanente Datenanbindung mit großer Bandbreite notwendig werden.

Nachdem die relevanten Ersatzteile identifiziert und deren grundsätzliche Herstellbarkeit verifiziert wurden, ist der nächste notwendige Schritt zur vollen Ausschöpfung des Potentials eines digitalen Ersatzteillagers das „Enabling“ der Mitarbeiter vor Ort. D. h., es muss sichergestellt werden, dass es möglich ist, ein on-demand vor Ort hergestelltes Ersatzteil auch einzubauen. Dies ist insbesondere dann relevant, wenn der Einsatz von AM dazu führt, dass Austauscharbeiten durch andere Personen vorgenommen werden, als ursprünglich oder bei herkömmlicher Herstellung des Ersatzteils geplant waren. Denn der digitale Transport der Ersatzteile macht auch dessen Begleitung durch Fachkräfte obsolet und erfordert auch ein Umdenken hinsichtlich des eigentlichen Einbaus. Um entsprechende Schulungs- und Support-Möglichkeiten überhaupt zu ermöglichen, müssen die entsprechenden wartungsrelevanten Prozesse in vielen Fällen jedoch im ersten Schritt hierfür aufbereitet werden. Ist dies erfolgt, können schnelle Unterstützungserfolge etwa durch die Einbindung von Wearables erzielt werden. Smart Glasses können bspw. Bild- und Videoanweisungen einblenden oder einen Live-Chat mit einem entfernten Techniker herstellen (vgl. Metzger et al. 2016).

Eine weitere zentrale Herausforderung ist die aktuell noch geringe allgemeine Bereitschaft zur Kooperation. Weil die Anschaffungskosten für KMUs noch immer ein Hemmnis darstellen, kann ein Masseneinsatz im Maschinen- und Anlagenbau im Grunde nur über Kooperationsmodelle erfolgen. Problematisch ist in diesem Kontext jedoch, dass vielerorts die Erkenntnis, dass Kooperation grundsätzlich für alle Beteiligten vorteilhaft sein kann, noch nicht erlangt wurde. Dort, wo man Kooperation erwägt, verhindern insbesondere Sicherheitsbedenken und die Angst vor dem Verlust eigener Konstruktionsdaten in vielen Fällen die konkrete Umsetzung. Es ist daher geboten, Zugriffs- und Berechtigungskonzepte zu entwickeln, welche Datensicherheit und -eigentum gewährleisten und in verfügbaren Informationssystemarchitekturen realisierbar sind, so dass eventuelle Vorurteile abgebaut werden können.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

Um dem permanent steigenden Wettbewerbsdruck zu trotzen, sind immer mehr deutsche Maschinen- und Anlagenbauer bestrebt, hybride Wertschöpfungsstrategien umzusetzen und auszuweiten. Ertragspotentiale werden insbesondere in der Optimierung der Prozessabläufe in produktbegleitenden Dienstleistungen wie dem technischen Kundendienst gesehen. Die konsequente Einbettung von AM in Wartungs- und Ersatzteilversorgungsdienstleistungen stellt dabei eine vielversprechende Strategie zur Umsatz- und Qualitätssteigerungen bis hin zur Erschließung neuer Geschäftsfelder dar.

Ein digitales Ersatzteillager kann mittlerweile auch im Maschinen- und Anlagenbau für viele benötigte Ersatzteile die bedarfsgerechte und zeitnahe Fertigung ermöglichen. Dieses Konzept ist dabei weit mehr als eine eindimensionale Kostenersparnis und Möglichkeit zur Effizienzsteigerung in der Ersatzteillogistik. Ein digitales Ersatzteillager verspricht auch eine längere Maschinenlebensdauer und geringere Ausfallreaktions- und Maschinenstandzeiten und eröffnet immense interorganisationale Kooperationspotentiale. Selbst wenn sich ein digitales Ersatzteillager als ungeeignet für den deutschen Maschinen- und Anlagenbau herausstellen sollte, schätzen wir das Potential von AM, nicht zuletzt aufgrund der rasant zunehmenden Verbreitung unter Privatanwendern (vgl. Gartner 2015), als äußerst vielversprechend ein. Unter anderem ist daher zu untersuchen, inwieweit eine indirekte Fertigungsunterstützung durch AM vorteilhaft sein kann. Wenn durch die Herstellung eines Ersatzteils mittels AM keine Beschleunigung der Bereitstellung zu erreichen ist, kann unter Umständen die Fertigung von Gussformen oder Spezialwerkzeugen mittels AM einen Geschwindigkeitsvorteil darstellen.

Bei der Konzeption und Umsetzung eines digitalen Ersatzteillagers im Maschinen- und Anlagenbau müssen jedoch die Anforderungen und Interessen unterschiedlichster Stakeholder erfasst und berücksichtigt werden. Dadurch ergeben sich mannigfaltige, interdisziplinäre Forschungsbedarfe, die hier lediglich skizziert wurden. So gilt es unter anderem, standardisierte Anforderungskataloge und Fertigungsanweisungen für Verschleißteile aus unterschiedlichen Materialien auszuarbeiten. Auch ergeben sich Herausforderungen im Hinblick auf die Entwicklung neuer Informationstechnologien. Zur Gewährleistung des Datenschutzes bei permanenter globaler Verfügbarkeit von Ersatzteildaten werden innovative Sicherheitsmechanismen und -lösungen dringend benötigt. Nicht zuletzt gilt es, endlich Rechtssicherheit im Hinblick auf die Haftung im Schadensfall zu schaffen, um die Risiken der Ersatzteilherstellung mittels AM besser bemessen und steuern zu können.

Effizienzsteigerung und Prozessrationalisierung sind jedoch auch immer mit sozialen Folgen verbunden. Um unternehmensintern wie auch gesamtgesellschaftlich eine größtmögliche Akzeptanz für die Umsetzung der digitalen Ersatzteilbereitstellung zu erreichen,

dürfen diese Konsequenzen nicht außer Acht gelassen werden. Daher gilt es, frühzeitig Strategien zur Kompensation eines etwaigen Beschäftigungswegfalls zu erarbeiten und frühzeitig umzusetzen.

## Literaturverzeichnis

- Thomas, O., Loos, P., Nüttgens, M. (Hrsg.) (2010) *Hybride Wertschöpfung: mobile Anwendungssysteme für effiziente Dienstleistungsprozesse im technischen Kundendienst*. Berlin:Springer.
- Nüttgens, M., Thomas, O., Fellmann, M. (Hrsg.) (2014) *Dienstleistungsproduktivität: mit mobilen Assistenzsystemen zum Unternehmenserfolg*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Bacchetti, A., Saccani, N. (2012) Spare parts classification and demand forecasting for stock control: Investigating the gap between research and practice, *Omega*, Bd. 40, Nr. 6, S. 722–737.
- Wende, J., Kiradjiev, P. (2014) Eine Implementierung von Losgröße 1 nach Industrie-4.0-Prinzipien, *Elektrotech. Inftech.*, Bd. 131, Nr. 7, S. 202–206.
- Thomas, O., Kammler, F., Zobel, B., Sossner, D., Zarvic, N. (2016) Supply Chain 4.0: Revolution in der Logistik durch 3D-Druck, *IMio Fachz. Für Innov. Organ. Manag.*, S. 58–63.
- Thomas, O., Kammler, F., Sossner, D. (2015) Smart Services: Geschäftsmodellinnovationen durch 3D-Druck, *Wirtsch. Manag.*, Bd. 7, Nr. 6, S. 18–29.
- Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau e.V. und McKinsey & Company (2014) *Zukunftsperspektive deutscher Maschinenbau - Erfolgreich in einem dynamischen Umfeld agieren*.
- Lachmayer, R., Lippert, R.B., Fahlbusch, T. (Hrsg.) (2016) *3D-Druck beleuchtet – Additive Manufacturing auf dem Weg in die Anwendung*, Springer Vieweg Verlag.
- Schmid, M. (2015) *Additive Fertigung mit Selektivem Lasersintern (SLS)*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden.
- Witt, G., Wegner, A., Sehart, J.T. (Hrsg.) (2015) *Neue Entwicklungen in der Additiven Fertigung*, Springer, Berlin Heidelberg.
- Wycisk, E., Siddique, S., Herzog, D., Walther, F., Emmelmann, C. (2015) Fatigue Performance of Laser Additive Manufactured Ti–6Al–4V in Very High Cycle Fatigue Regime up to 109 Cycles, *Front. Mater.*, Bd. 2.
- Lachmayer, R., Gottwald, P. (2013) An Approach to Integrate Data Mining into the Development Process, in *Modelling and Management of Engineering Processes: Proceedings of the 3rd International Conference 2013*, Springer, Berlin Heidelberg, S. 175–185.
- Khajavi, S.H., Partanen, J., Holmström, J. (2014) Additive manufacturing in the spare parts supply chain, *Comput. Ind.*, Bd. 65, Nr. 1, S. 50–63.
- Weller, C., Kleer, R., Piller, F.T (2015) Economic implications of 3D printing: Market structure models in light of additive manufacturing revisited, *Int. J. Prod. Econ.*, S. 43–56.
- Gibson, I., Rosen, D.W., Stucker, B. (2010) *Additive manufacturing technologies: rapid prototyping to direct digital manufacturing*, Springer, New York.
- Frazier, W.E. (2014) Metal Additive Manufacturing: A Review, *J. Mater. Eng. Perform.*, Bd. 23, Nr. 6, S. 1917–1928.
- Conner, B.P., Manogharan, G.P., Martof, A.N., Rodomsky, L.M., Rodomsky, C.M., Jordan, D.C., Limperos, J.W. (2014) Making sense of 3-D printing: Creating a map of additive manufacturing products and services, *Addit. Manuf.*, Bd. 1–4, S. 64–76.
- Metzger, D., Niemöller, C., Thomas, O. (2016) *Hybride Aus- und Weiterbildung - Wie Datenbrillen die Lern- und Arbeitsumgebung von morgen verändern*, in *Handbuch E-Learning*, Fachverlag Deutscher Wirtschaftsdienst, S. 1–17.
- Gartner (2015), *Forecast: 3D Printers, Worldwide, 2015*.



## Beitrag 8: Centralized Super-Efficiency and Yardstick Competition

---

Titel	Centralized Super-Efficiency and Yardstick Competition – Incentives in Decentralized Organizations
Autoren	Armin Varmaz, <b>Andreas Varwig</b> , Thorsten Poddig
Publikationsorgan	Operations Research Proceedings 2010
Ranking	VHB JQ3: Nicht gelistet WKWI: Nicht gelistet
Status	Veröffentlicht
Bibliographische Information	Varmaz, A., Varwig, A. & Poddig, T. (2011). <i>Centralized Super-Efficiency and Yardstick Competition – Incentives in Decentralized Organizations</i> . In Morasch, K., Pickl, S., Siegle, M. (Hrsg.): <i>Operations Research Proceedings 2010</i> , S. 53-58, Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg.
Abstract	Due to deficient instruments of performance management, decentralized organizations often produce inefficiently. Promising approaches to dynamic incentives and performance management have recently been developed based on Data Envelopment Analysis (DEA). These, however, are not yet able to account for the specific needs of central performance management. We develop two new intra-organizational performance measures for defining dynamic incentive schemes and increasing overall performance. For suggestive evidence, we evaluate the performances of 11 bank branches.
Identifikation	DOI: 10.1007/978-3-642-20009-0_9
Link	<a href="http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-20009-0_9">http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-20009-0_9</a>
Copyright	© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011

---

**Tab. 9:** Factsheet Beitrag 8

# Centralized Super-Efficiency and Yardstick Competition – Incentives in Decentralized Organizations

## Abstract

Due to deficient instruments of performance management, decentralized organizations often produce inefficiently. Promising approaches to dynamic incentives and performance management have recently been developed based on Data Envelopment Analysis (DEA). These, however, are not yet able to account for the specific needs of central performance management. We develop two new intra-organizational performance measures for defining dynamic incentive schemes and increasing overall performance. For suggestive evidence we evaluate the performances of 11 bank branches.

## 1. Introduction

Among other reasons, due to asymmetric information and individual ambitions of semi-autonomous decision makers, the production of goods and/or services in complexly structured organizations often is inefficient. This problem is particularly evident in decentralized organizations such as banks. Putting own interests first, single branches and branch managers often fight for larger fractions of shared resources, thereby impeding the efforts made by a central management to enhance the organization's overall performance. Such intra-organizational market failure can lead to a suboptimal allocation of resources and cause avoidable inefficiencies.

Bogetoft (1997) and (2000) has developed promising approaches to dynamic incentive schemes and performance management. Introducing DEA based Yardstick Competition (DBYC), he demonstrates how relative performance estimation can be used to induce and control competition on non-competitive markets. However, the incentive mechanisms developed so far aim only on individual performance maximization. The consequences of individual behavior modifications for other branches of the same system are thereby mostly neglected. Also the possible benefits from an internal reallocation of resources are not considered. For managing performances within decentralized organizations we hence recommend to change the perspective of performance evaluation. Based on a DEA model for centralized resource planning by Lozano and Villa (2004) we develop two new intra-organizational performance measures that can be used to define dynamic incentive schemes for branches and branch managers.

## 2. DBYC and Centralized Super-Efficiencies

The work of Bogetoft (1997) on DEA based incentives originates from the Yardstick Competition (YC) model of Shleifer (1985), which is a game theoretical approach, enabling a regulator to control the behavior of non-competing firms. This idea can easily be transferred to intra-organizational performance management. By comparing similar organizations, efficient cost levels, which can be used to set up performance-related payment schemes, are identified. To central managers these levels serve as effective instruments to induce and control competition within the organization and achieve cost reductions. Despite possibly asymmetric information between the central manager (principal) and the branches (agents) the problems of moral hazard and adverse selection can be avoided and organizational performance be enhanced. Depending on a branch's individual performance, its pro-

duction costs are proportionately refunded by the central management. While poor performers are not fully reimbursed, the costs of good performers are overcompensated. As a result, branches have an incentive for permanent process enhancements and cost reductions. The resulting optimal payment scheme is shown in (1).

$$b_i^* = X_i + \rho_i[\theta_i - 1]X_i, \forall i \quad (1)$$

Transfers ( $b_i^*$ ) to be paid to a branch (i) (managers and/or employees) depend on the branch's individual costs ( $X_i$ ), its performance ( $\theta_i$ ) and a parameter  $\rho_i$ . The latter has to be negotiated between central management and the branches and defines a fraction of costs to be relevant for the calculation of rewards and penalties, respectively. Poor performers are thereby guaranteed a basic income that prevents from immediate failure and provides time for adjustments.<sup>1</sup> While Shleifer (1985) computes the individual  $\theta_i$  as ratio of the optimal cost-level  $c_i^{**}$ , calculated as the average costs of all other branches, and the costs that have been disclosed by branch i, Bogetoft (1997) calculates  $c_i^{**}$  based on DEA. DEA enables to determine single, unambiguous measures of efficiency and allows to evaluate large universes of organizations. By means of linear programming, best practices and adequate benchmarks for the inefficient branches are identified. However, as can be seen from (1), the performance estimator  $\theta_i$  has to be able to take values above 1. If this requirement is not met, agents would only receive negative incentives, i.e. punishments for performing worse than best practice. Consequently, they would only try to perform as good as best practice, but would have no incentives for further improvements. Hence, the use of ordinary DEA-models, where  $\theta_i$  is bounded between 0 and 1, would be inappropriate. One solution to this problem are super-efficiencies. Measures of super-efficiency can take values above 1 and calculate the degree to which efficient branches outperform the inefficient.<sup>2</sup> Based on the super-efficiency-model of Andersen and Petersen (1993), Bogetoft (1997) develops a modified approach which allows external information to be taken into account.

Since the introduction of DEA-based regulatory mechanisms, their applicability and utility have been analyzed in many studies. Applications, however, are mostly based on classic DEA models and focus on inter-organizational performance comparisons. Although enabling to derive incentives that help to achieve individually minimal costs, ordinary DEA-models cannot account for shared resources and other interdependencies between the branches. Furthermore, they aim to optimize only individual production plans. Possible improvements of an organization's overall performance by reallocating resources among the branches hence remain unconsidered. Another drawback is the possible occurrence of hyper-efficiencies. Under certain conditions the linear programs for super-efficiencies become infeasible. This renders a complete evaluation of performances impossible and complicates the definition of incentive schemes.

Until today the issue of overall performance management has been addressed by various modifications and extensions of the basic DEA-models. A broad overview can be found at Castelli et al. (2010). One approach that explicitly supports centralized resource planning

---

<sup>1</sup> Note that (1) is appropriate only to a limited extent as a permanent incentive. In the long run this payment scheme could lead to a concentration of resources on few or even a single, well performing branch. Consequently, many underperforming branches would have to be closed. This is not always intended by the central management. In such situations a payment scheme based on performance rankings, perhaps particularly dealing with top performers, seems reasonable.

<sup>2</sup> An introduction to the functionality and applicability of super-efficiencies can be found at Zhu (2009).

and takes an internal perspective on performance evaluation has been proposed by Lozano and Villa (2004), CRA-DEA. In contrast to inter-organizational DEA models, CRA-DEA simultaneously optimizes the performances of all organizations under evaluation. Thus, to analyze a network of  $n$  branches, instead of solving  $n$  optimization problems, only one linear program has to be solved. Considering possible improvements by the reallocation resources among all branches, an optimal production structure of the entire organization is computed. As mentioned earlier, CRA-DEA only computes one single measure of efficiency for an entire organization,  $\tilde{\theta}$ .<sup>3</sup> To derive a CRA-DEA based incentive scheme, however, individual performance measures are needed. For this task we subsequently develop two approaches.

Centralized super-efficiencies can be calculated in a two-step procedure. Therefore, the model of Lozano and Villa (2004) has to be solved  $n+1$  times, where  $n$  denotes the number of branches to be evaluated. Firstly  $\tilde{\theta}$  is computed. The subsequent  $n$  optimizations are carried out with a smaller dataset. In each optimization the dataset is reduced by the information on one DMU at a time. Thus,  $n$  datasets are formed, each of which contains data on the  $k$  inputs ( $X$ ) and the  $r$  outputs ( $Y$ ) of  $n-1$  DMUs. The relating linear program is shown in (2), whereas the  $\#$  denotes the reduced dataset.

$$\begin{aligned}
 & \min \tilde{\theta}^{\#} & (2) \\
 \text{s.t.} & \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{\lambda}_{ji} x_{ki}^{\#} \leq \tilde{\theta}^{\#} \sum_{i=1}^{n-1} x_{ki}^{\#}, \forall k \\
 & \sum_{j=1}^{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \tilde{\lambda}_{ji} y_{ri}^{\#} \geq \tilde{\theta}^{\#} \sum_{i=1}^{n-1} y_{ri}^{\#}, \forall r \\
 & \sum_{i=1}^n \lambda_{ij} = 1, \forall j \\
 & \tilde{\lambda}_{ij} \geq 0; \tilde{\theta}^{\#} \text{ free}
 \end{aligned}$$

Let  $\tilde{\theta}_i^{\#}$  denote the  $n$  solutions to the program. These efficiency parameters represent the organization's overall performance, assuming that one branch  $i$  does not exist. The contribution of this branch to overall performance can now easily be calculated by the ratio of overall and partial performance, see equation (3).

$$\tilde{\theta}_i^a = \frac{\tilde{\theta}}{\tilde{\theta}_i^{\#}} \text{ or } \tilde{\theta}_i^b = \frac{(1 - \tilde{\theta}_i^{\#})}{(1 - \tilde{\theta})} \quad (3)$$

The parameter  $\tilde{\theta}_i^a$  shows how much overall performance changes by considering DMU  $i$ . If DMU  $i$  has no effect on the organization's overall performance,  $\tilde{\theta}_i^a$  is equal to 1. If the overall performance increases (decreases) by considering DMU  $i$ , then  $\tilde{\theta}_i^a > 1$  ( $\tilde{\theta}_i^a < 1$ ). Since overall and partial performances can always be computed, hyper-efficiencies cannot occur. However, in case of high values for  $\tilde{\theta}$ , super-efficiencies calculated by  $\tilde{\theta}_i^a$  will not vary a lot.

---

<sup>3</sup> Note that  $\tilde{\theta}$  denotes the system's overall efficiency, assuming that all inputs are reduced proportionally. In case a non-radial CRA-DEA approach is used, efficiency is calculated for each input factor.

To derive more effective incentives, it might thus be reasonable to calculate super-efficiencies based on improvement potentials, given by the differences of the efficiency parameters to one ( $\tilde{\theta}_i^b$ ). The ratios of improvement potentials fully correlate with  $\tilde{\theta}_i^a$ , but differ in variance. While the variance of  $\tilde{\theta}_i^a$  decreases for increasing values of  $\tilde{\theta}$ , the variance of  $\tilde{\theta}_i^b$  behaves vice versa. If super-efficiencies as  $\tilde{\theta}_i^a$  or  $\tilde{\theta}_i^b$  would be used to define optimal transfers according to (1), a branch would get an incentive to always act in the best interest of the entire organization and contribute as much as possible to overall performance.

### 3. Numerical Example

The applicability of our approach is demonstrated by evaluating the performances of 11 bank branches, using empirical data of a German bank from 2003. To compare our results a basic DEA-model according to Banker et al. (1984) is used. The on-balance liabilities from deposits and other bank accounts (LIA) as well as the employees' working hours of each branch (EMP) are considered as inputs. The Outputs are represented by all on-balance assets from credits (ASS) and the returns from non-credit businesses (RET). The original data, the efficiency and super-efficiency scores as well as the overall target values for inputs and outputs are summarized in table 1.

**Table 1** Centralized performance management: Original data, performances and targets.

DMU	LIA	EMP	ASS	RET	$\theta_{VRS}$	$\tilde{\theta}$	$\theta_{VRS}^{super}$	$\tilde{\theta}^a$	$\tilde{\theta}^b$
1	14103	450	395	380	1,00	0,87	NaN	1,00	1,03
2	9158	218	3452	110	1,00		1,13	1,00	0,99
3	13819	530	8269	220	1,00		NaN	1,03	1,16
4	7469	130	1155	58	0,92		0,92	0,99	0,91
5	5646	150	756	75	0,95		0,95	0,98	0,89
6	5730	118	1110	85	1,00		1,16	1,00	1,02
7	8670	164	1406	89	0,80		0,80	0,99	0,96
8	5387	143	1201	102	1,00		1,17	1,01	1,06
9	10223	130	877	57	0,91		0,91	0,98	0,86
10	6041	130	1484	64	1,00		1,04	1,00	0,97
11	9464	130	855	48	0,91		0,91	0,97	0,83

Original and optimal production plans			
	original	VRS	CRA
LIA	95710	83042	82842
EMP	2293	2219	1985
ASS	20960	21893	20960
RET	1288	1404	1288

$\theta_{VRS}$  denotes the efficiency in the BBC-model,  $\theta_{VRS}^{super}$  the corresponding super-efficiencies. The BCC-model identifies 6 efficient branches (1,2,3,6,8,10) and 5 inefficient ones (4,5,7,9,11). Their average efficiency score is 0.95. CRA-DEA finds larger potentials for improvements and calculates an overall performance of 0.87. These differences in the input-oriented appraisal is reflected by the targets for the overall production plans, as shown on the right of table 1. It is noticeable that changes in the input as well as the output profile are suggested by the BCC-model, whereas outputs are kept constant and only inputs are changed by CRA-DEA. While the centralized model identifies a significantly lower consumption of inputs being feasible, the suggested output profile of the BCC-model is superior.<sup>4</sup>

In calculating super-efficiencies, the differences between the inter- and intra-organizational approaches become even clearer. Firstly the occurrence of two cases of hyper-efficiency in the basic model is striking. The linear program is infeasible for the branches 1 and

<sup>4</sup> However, in most industries, as in banking, output strongly depends on economic demand. Consequently, although an increase in outputs mathematically seems possible, it might not be achievable.

3. For 7 of the remaining 9 branches the tendencies identified are the same in both models. However, for the branches 2 and 10 the results are ambiguous. While both are super-efficient in the BCC-model, their centralized super-efficiency scores are slightly below 1.<sup>5</sup> This suggests that with regard to overall performance these branches pursue undesirable strategies. Both models also identify super-efficiencies at 4 branches, though not at the same. Only the branches 6 and 8 operate super-efficiently in both models, while their performance scores are higher in the ordinary DEA model.

#### 4. Conclusion

DEA based Yardstick Competition has been argued to be of great use in deriving effective incentive mechanisms. However, due to methodical deficits of ordinary DEA models, the approaches cannot be transferred easily to internal performance management. Based on intra-organizational comparison procedures we developed two new approaches to calculate individual performance indicators and incentive mechanisms. Evaluating the performances of 11 bank branches, we have demonstrated how intra-organizational benchmarking can be applied.

However, intra-organizational performance management still is at its very beginning. Further efforts have to be made, for instance on exploring potential benefits and limits of integrating external information into a centralized performance evaluation. Also the applicability of CRA-DEA super-efficiencies to other problems remains to be investigated. Last but not least, the development of different incentive mechanisms based on other DEA models seem reasonable issues for further research.

#### References

- Andersen, P., Petersen, N.C. (1993) A procedure for ranking efficient units in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 39, S. 1261–1264.
- Banker, R., Charnes, A., Cooper, W. (1984) Some Models for Estimating Technical and Scale Efficiency in Data Envelopment Analysis. *Management Science*, 30, S. 1078–1092.
- Bogetoft, P. (1997) DEA-Based Yardstick Competition: The Optimality of Best Practice Regulation. *Annals of Operations Research*, 73, S. 277–298.
- Bogetoft, P. (2000) DEA and Activity Planning under Asymmetric Information. *Journal of Productivity Analysis*, 13, S. 7–48.
- Castelli, L., Pesenti, R., Ukovich, W. (2010) A classification of DEA models when the internal structure of the Decision Making Units is considered. *Annals of Operations Research*, 173(1), S. 207–235.
- Lozano, S., Villa, G. (2004) Centralized resource allocation using data envelopment analysis. *Journal of Productivity Analysis*, 22, S. 143–161.
- Shleifer, A. (1985) A theory of Yardstick Competition. *The RAND Journal of Economics*, 16(3), S. 319–327.
- Zhu, J. (2009) *Quantitative Models for Performance Evaluation and Benchmarking*. Springer, 2nd edition.

---

<sup>5</sup> Due to rounding, this is not displayed by  $\tilde{\theta}^a$ .