

# Challenges of the Digital World

Proceedings of the 9<sup>th</sup> FDIBA Conference  
Sofia, Bulgaria, 28 – 29 November 2019

## **FDIBA Conference Proceedings**

Volume 3, November 2019

ISSN 2535–132X (Print)

ISSN 2535–1338 (Online)

---

# Herausforderungen der Digitalen Welt

Tagungsband der 9. FDIBA Konferenz  
Sofia, Bulgarien, 28. – 29. November 2019

## **Tagungsbände der FDIBA Konferenz**

Volumen 3, November 2019

ISSN 2535–132X (Gedruckt)

ISSN 2535–1338 (Online)



**Technische Universität Sofia  
Karlsruher Institut für Technologie  
Hochschule für Ökonomie und Management Essen  
Technische Universität Braunschweig  
Otto von Guericke Universität Magdeburg**

With the financial support of the German Academic Exchange Service

**DAAD**

Mit der Förderung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes

### **Technical Program Committee**

Chair: Alexandar Tsenov

Thomas Heupel  
Klaus Tönnies  
Peter Lang  
Jivka Ovcharova  
Hristomir Yordanov

### **Organisation Committee**

Chair: Hristomir Yordanov

Alexandar Tsenov  
Yordan Yordanov  
Marin Marinov

### **Reviewers**

Dennis Ebeling  
Vassil Galabov  
Georgi Georgiev  
Michael Goeke  
Velko Iltchev  
Desislava Ivanova  
Jurica Katičić  
Milena Krumova  
Christian Leßmann  
Markus Ludwig  
Marin Marinov  
Thomas Russack  
Stefan Schlangen  
Traian Stamov  
Stefan Stefanov  
Klaus Tönnies  
Irina Topalova  
Aleksandar Tsenov  
Genoveva Vladimirova  
Hristomir Yordanov

Challenges of the Digital World  
Proceedings of the 9<sup>th</sup> FDIBA Conference, Sofia, Bulgaria, 29-30 November, 2019  
FDIBA Conference Proceedings, 2019, Volume 3  
Alexandar Tsenov, Hristomir Yordanov (Eds.)  
Book size A4-ISO (210 × 297 mm), 107 pages  
Paperback  
Published by TU-Sofia Publishing House  
Printed by Accent 96  
Sofia, Bulgaria  
March 2020  
ISSN 2535-132X (Printed)  
ISSN 2535-1338 (Online)

# FDIBA Conference Program

28.11.2019 – 29.11.2019

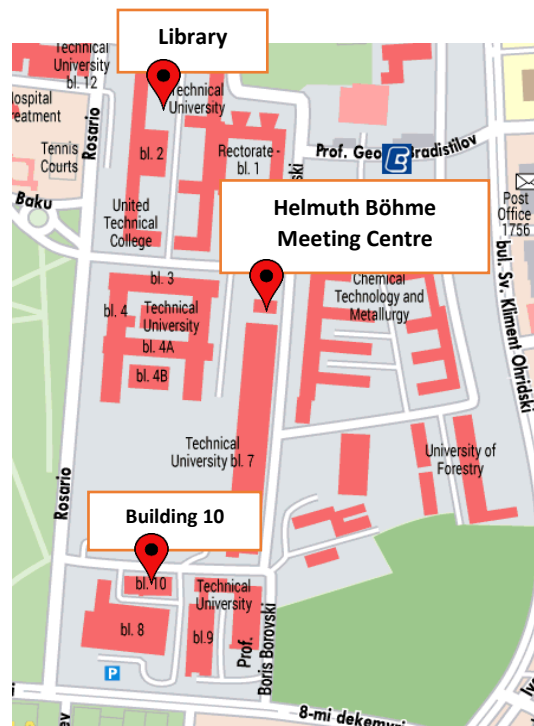
## Venue

The conference will be held in three locations in the campus of the Technical University of Sofia. The first is the Library of the TU–Sofia, which will host the opening ceremony on 28.11. The conference room of the Helmut Böhme Meeting Centre (IBZ) will host, the PhD Students session and the Session on Mechanical Engineering, Mechatronics and Economics will take place there. The sessions on Computer Science will be held in room 10100 in Building 10.

The Banquet will take place in the V Parka hall (vparka.com), located in Bulgaria square 1 (The Small Palace of Culture) on the evening of 29.11.2019.

## Wireless Internet Access

Free Wi-Fi will be provided to all conference participants during the event at all three locations. The name of the network is FDIBA Conference 2019 (location 10100 and IBZ). Please take into consideration that data is not encrypted over this network and using only secure protocols is recommended. You can also use the eduroam network if your institution participates in eduroam (not available in Helmut Böhme Meeting Centre).



## Thursday, 28. 11. 2019

Library of the Technical University of Sofia	
14:00	Official Opening Ceremony
14:15	<b>Plenary Talk</b> <b>Prof. Orestis Terzidis</b> , Karlsruher Institut für Technologie (KIT) Artificial Intelligence: Responsible Business Model Innovation
15:00	<b>Prof. Peter Greulich</b> , Leibniz Universität Hannover Die Rechte des Bestellers bei Mängeln von Werkleistungen (§ 634 BGB) und Hinweispflichten von Bedenken im Werkvertragsrecht

Friday, 29. 11. 2019

Room	IBZ	10100
09:45		<b>Prof. Orestis Terzidis</b> Technology Entrepreneurship
10:30	<b>Malte Fiedler, Martin Kissling</b> Cause and Effects of Fake Reviews – A Literature Review	<b>Devina Manoeva, Tom Assmann, Stephan Schmidt</b> Ergonomic and functional analysis of an autonomous urban vehicle for individual use
10:50	<b>Tim Sofke</b> Digitization in Tax Enforcement – a Guns vs. Butter Approach	<b>Irina Korova</b> A Literature Review on the Impact of Project Portfolio Management on Project Management with a Focus on IT Projects
11:10	<b>Jutta Henke</b> The impact of digitalisation on fiscal systems – an explorative review	<b>Emil Grigоров</b> Summary of potential applications of nanofluids
11:30	<b>Zwetelina Gankova – Ivanova</b> Digitalization and labor market – perspectives and challenges	<b>Petar Nikolov, Vassil Galabov</b> The Journey Of Quantum Information Technology
11:50	<b>Gero Gunkel</b> 3D printing – commercial effects of digitalisation in industrial manufacturing	<b>Vasil Kumanov</b> Communications in swarms of small satellites
12:10	<b>Lunch break</b>	
13:30	<b>Jens Lamprecht, Susanne Robra-Bissantz</b> The Influence of Social Media Use on Social Capital	<b>Stefan Hensel, Marin B. Marinov, Max Schmitt</b> Experimental Setup for Investigation and Evaluation of a Mapping and Localization System
13:50	<b>Johannes Brunzel, Johannes Schmidt, Dietrich von der Oelsnitz</b> Top-Executives And Digitalization – Insights From The Academic Literature	<b>Jan-Paul Huttner, David Schilgen, Susanne Robra-Bissantz</b> A Virtual Memory Palace: Engagement improves the Long-term Memory
14:10	<b>Tomislava Grozdanova</b> Digitalization of the Economy as an Incentive for Innovative Development	<b>Michael Meyer, Patrick Helmholtz, Friedrich Temps, Susanne Robra-Bissantz</b> (How) Can I help you? Emotion-Reaction-Guidelines for the Stationary Retail
14:30	<b>Peter Greulich</b> Die Rechte des Käufers bei Mängeln gelieferter Waren (§ 434 BGB) und Obliegenheiten von Verkäufer und Käufer bei Durchführung des Kaufvertrages	<b>Dominik Siemon, Maja Felicitas Stich, Stefan Sievert, Wahied Noorzai, Susanne Robra-Bissantz</b> Team Roles in Human-Machine Collaboration
14:50	<b>Coffee Break</b>	<b>Patrick Helmholtz, Michael Meyer, Susanne Robra-Bissantz</b> The Era of Music Streaming and the Challenges of Music Recommendation
15:10	<b>Hashem Badra, Jivka Ovtcharova</b> Smart Factory of Future - More efficient, more flexible, faster and more sustainable	
15:30	<b>Elitsa Gieva, Georgi Nikolov, Boyanka Nikolova, Marin Marinov</b> Investigation of conductive structures printed using Inkjet technology	
15:50	<b>Stefan Hensel, Marin B. Marinov, Florian Sprich</b> Automated Acoustic Hit Detection and Score Calculation on a Steel Dartboard	
18:30	<b>BANQUET</b>	

# Contents

<b>Session Student Papers</b>	<b>1</b>
Ergonomic and Functional Analysis of an Autonomous Urban Vehicle for Individual Use Devina Manoeva, Tom Assmann, Stephan Schmidt . . . . .	3
Maximizing the Internal Value of Company Projects Irina Korova . . . . .	7
The Journey of Quantum Information Technology Petar Nikolov, Vassil Galabov . . . . .	11
<b>Session Economics</b>	<b>27</b>
Cause and Effects of Fake Reviews – A Literature Review Malte Fiedler, Martin Kissling . . . . .	29
Digitization in Tax Enforcement – a Guns vs. Butter Approach Tim Sofke . . . . .	33
The impact of digitalisation on fiscal systems – an explorative review Jutta Henke . . . . .	37
Digitalization and labor market – perspectives and challenges Zwetelina Gankova – Ivanova . . . . .	41
3D printing – commercial effects of digitalisation in industrial manufacturing Gero Gunkel . . . . .	45
The Influence of Social Media Use on Social Capital Jens Lamprecht, Susanne Robra-Bissantz . . . . .	49
Top-Executives And Digitalization — Insights From The Academic Literature Johannes Brunzel, Johannes Schmidt, Dietrich von der Oelsnitz . . . . .	53
Digitalization of the Economy as an Incentive for Innovative Development Tomislava Grozdanova . . . . .	57
The rights of the purchaser in case of lack of work performances (§ 634 BGB) and obligations to notify if there are doubts in the employment contract Peter Greulich . . . . .	61
<b>Session Mechatronics</b>	<b>65</b>
Smart Factory of the Future – More efficient, more flexible, faster and more sustainable Hashem Badra, Jivka Ovtcharova . . . . .	67
Investigation of Conductive Structures Printed Using Inkjet Technology Elitsa Gieva, Georgi Nikolov, Boyanka Nikolova, Marin Marinov . . . . .	71
Automated Acoustic Hit Detection and Score Calculation on a Steel Dartboard Stefan Hensel, Marin B. Marinov, Florian Sprich . . . . .	75
<b>Session Computer Science</b>	<b>79</b>
Experimental Setup for Investigation and Evaluation of a Mapping and Localization System Stefan Hensel, Marin B. Marinov, Max Schmitt . . . . .	81
A Virtual Memory Palace: Engagement Improves the Long-Term Memory Jan-Paul Huttner, David Schilgen, Susanne Robra-Bissantz . . . . .	85
(How) Can I help you? Emotion-Reaction-Guidelines for the Stationary Retail Michael Meyer, Patrick Helmholz, Friedrich Temps, Susanne Robra-Bissantz . . . . .	89
Team Roles in Human-Machine Collaboration Dominik Siemon, Maja Felicitas Stich, Stefan Sievert, Wahied Noorzai, Susanne Robra-Bissantz . . . . .	93
The Era of Music Streaming and the Challenges of Music Recommendation Patrick Helmholz, Michael Meyer, Susanne Robra-Bissantz . . . . .	97

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

## **Session Student Papers**

Chair: Marin Marinov

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK



# Ergonomic and functional analysis of an autonomous urban vehicle for individual use

## Ergonomie- und Funktionsanalyse eines autonomen Stadtfahrzeugs für den individuellen Gebrauch

Devina Manoeva\*, Tom Assmann†, Stephan Schmidt‡

\* Doktorandenschule der FDIBA, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, devina@tu-sofia.bg

† Institute of Logistics and Material Handling Systems, Otto-von-Guericke-University Magdeburg  
Magdeburg, Germany, tom.assmann@ovgu.de

‡ Institute of Mobile Systems, Otto-von-Guericke-University Magdeburg  
Magdeburg, Germany, stephan.schmidt@ovgu.de

**Abstract** — Today's common problems of the cities include urbanization, which leads to high population densities and more frightening statistics on the victims of urban traffic and air pollution. Autonomous vehicles are being developed at a rapid pace and are undoubtedly a transportable solution for the future. While they would be more efficient and easier to operate on freeways, urban applications face the greatest challenges of their integration. Scientific projects such as the autonomous cargo bike of the OVGU Magdeburg are trying to offer cities an intelligent and more efficient mobility solution. Through an ergonomic and functional analysis of the concept, this article attempts to identify the new requirements for designing an urban autonomous vehicle for individual use. The results are a solid foundation for the further development of this new mobility solution.

**Zusammenfassung** — Zu den heutigen Problemen der Stadt zählen sowohl die Urbanisierung, die zu einer hohen Bevölkerungsdichte führen als auch erschreckendere Statistiken über die Opfer des Stadtverkehrs und die Luftverschmutzung. Autonomen Fahrzeuge werden in rasantem Tempo entwickelt und sind zweifellos eine für die Zukunft mögliche Transportlösung. Während sie bei Autobahn-Fahrten effizienter und einfacher funktionieren würden, liegen bei Anwendungen in städtischer Umgebung die größten Herausforderungen ihrer Integration. Wissenschaftliche Entwürfe wie das autonome Lastenfahrzeug der OVGU Magdeburg versuchen Städten eine intelligente und effizientere Mobilitätslösung anzubieten. Durch eine Ergonomie- und Funktionsanalyse des Konzepts wird in diesem Artikel versucht zu identifizieren, welche neuen Anforderungen an die Gestaltung eines autonomen Stadtfahrzeugs für den individuellen Gebrauch entstehen. Die Ergebnisse sind eine fundierte Grundlage für die weitere Entwicklung dieser neuen Mobilitätslösung.

### I. EINLEITUNG

In Angesicht der globalen Urbanisierung und des Klimawandels ist es die Stadt, welche als transformative Kraft [1] neue Wege zu einer nachhaltigen Gesellschaft eben kann. Die Einhaltung des 1,5°C-Ziels erfordert eine Halbierung der CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahrzehnt, inklusiv einem treibhausgasneutralen urbanen Verkehr [2].

Die Vision Zero, strebt nach nahezu null Verkehrstoten bis 2050 [3]. Mit der Etablierung der E-Mobilität sollen die Luftverschmutzungswerte in Städten deutlich gesenkt werden. Weltweit entwickeln deswegen Fahrzeughersteller autonome Fahrzeugsysteme, welche durch intelligente Vernetzung, umfangliche Sicherheitsstandards und E-Antriebe den Verkehr in Städten verbessern sollen.

Das Versprechen einer technologischen Optimierung wird jedoch nur schwer zu halten sein. Aktuelle Studien [4], [5] zeigen deutlich, dass autonome, individuell genutzte Fahrzeuge, als privat oder geteilte Flotte, den Verkehr in Städten, und damit den Stau wesentlich erhöhen werden. In Anbetracht der Energiewende kann zudem ein CO<sub>2</sub>-neutraler Verkehr nur mit weniger Kraftfahrzeugen erfolgen [6].

Gleichzeitig besteht in der Transformation der Städte ein zunehmender Drang zur Singularisierung von Lebensweisen [7], einer Innovation von Mobilitätsangeboten durch

Digitalisierung und damit einhergehenden individuellen, jedoch auf Sharing und Service ausgelegten Mobilitätsweisen [8].

### II. DAS AUTONOME FAHRAD ALS EINE ALTERNATIVE FÜR STADTMOBILITÄT

Der Lösungsraum für den urbanen Verkehr liegt damit im Bereich von kleinen, leichten, energieeffizienten Fahrzeugen, die als geteiltes und autonomes Angebot operieren.

Die Techniken des autonomen Fahrens ermöglichen neben der Anwendung auf Kraftfahrzeuge auch völlig neue Mobilitätsszenarien für Fahrräder [9]. Ein derartiges System auf Basis autonomer Lastenräder wird aktuell an der Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg (OVGU) entwickelt und soll hier exemplarisch analysiert werden. Im Fokus stehen die Anforderungen an Ergonomie und Design aus Nutzer\*innenperspektive.

Dem System liegen zwei grundsätzliche Eigenschaften autonomer Systeme zu Grunde, die einen Mehrwert für die Stadt erzeugen.

#### A. Sicher

Es gibt Regierungs- und Nichtregierungsorganisationen weltweit, die versuchen, die Zahl der Verkehrsunfälle zu verringern. Verkehrssicherheitsforscher und Experten betonen

die potenziellen Verkehrssicherheitsvorteile von automatisierten (autonomen) Fahrzeugen, die als sicher gelten, weil sie disziplinierter sind, von subjektiven menschlichen Emotionen, Alkohol oder andere psychoaktive Substanzen unabhängig sind, und daher zu einer signifikanten Reduzierung von Verkehrsunfällen beitragen würden [10].

**B. Flexibe**

Das Thema über den Besitz ist bei den meisten neuen Mobilitätskonzepten nicht mehr aktuell. Dies hängt mit den bereits erwähnten städtischen Überlastungsproblemen sowie der wesentlich effizienteren Mitbenutzung zusammen, die dafür sorgt, dass ein Fahrzeug permanent genutzt wird, anstatt auf Parkplätzen zu stehen und Platz zu beanspruchen.

Im hektischen Alltag der Städte muss man so nicht mehr zum Fahrzeug laufen oder stets nach einem Parkplatz suchen, sondern es könnte zum Nutzer kommen und entlassen werden. Dies gibt den Nutzern Flexibilität und Zeit, was im Stadtleben von Vorteil ist.

**III. ERGONOMIE- UND FUNKTIONSANALYSE DES MOBILITÄTSKONZEPTS FÜR AUTONOME LASTENFAHRÄDER DER OVGU MAGDEBURG**

Produktfunktionen werden in der Ideenphase des Projekts bestimmt und das ergonomische System entsteht parallel, indem Nutzer\*innen und der Anwendungsort definiert sind. Nur wenn der Faktor Mensch von vornherein berücksichtigt wird, entstehen sichere Produkte. Aus diesem Grunde ist die Ergonomie ein Schwerpunkt der Konzeptentwicklung. Das Ziel ist es, Nutzer\*innen eine bequeme Verwendung zu ermöglichen und die Nutzungsanforderungen maximal zu erfüllen, um eine harmonische Gesamtform mit hohen ästhetischen Qualitäten zu schaffen. Diese Form von verschiedenen Faktoren, den Gestaltungsfaktoren, beeinflusst [11].

Um die Gestaltungsfaktoren des autonomen Lastenfahrrades zu definieren, wird eine methodische Ergonomieanalyse während des Designprozesses [12] angewandt. Die Analyse wird anhand einer Inhaltsanalyse mit sequentiellem Plan und einer Reihe von Indikatoren durchgeführt, die darauf abzielen, ein möglichst detailliertes Profil der Funktionen, der Nutzer\*innen und des Anwendungsbereichs zu extrahieren und zu erstellen. Ziel der Analyse ist es festzustellen, welche Faktoren und Anforderungen zu Komfort, Sicherheit und Funktionalität des autonomen Lastenfahrrads beitragen.

**A. Funktionsszenarium**

Für den Zweck der Analyse sind Vorkenntnisse über den Verwendungszweck des Produkts und den gesamten Prozess seiner Anwendung erforderlich.

In Abb.1 ist das Systemkonzept schematisch dargestellt.

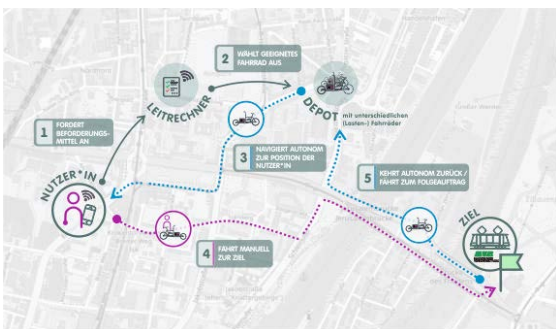


Abb.1. Systemkonzept von dem Forschungs- und Entwicklungsprojekt „AuRa“; [13]

Im Projekt „AuRa“ [14] der OVGU Magdeburg wird eine prototypische Lösung für ein Gesamtsystem für dreirädrige Lastenräder erarbeitet, die autonom bereitgestellt werden. Ziel ist, Bürger\*innen den Alltag in der Stadt zu erleichtern. Vorgesehen ist, dass das selbstfahrende Lastenrad per App an einen beliebigen Ort bestellt wird. Nach der Nutzung im manuellen Betrieb soll es autonom in ein Depot zurückkehren.

**B. Gestaltungsfaktoren**

Durch Befolgen der Analysemethodik und unter Berücksichtigung des Systemkonzepts werden in diesem Unterpunkt drei Hauptfaktoren identifiziert und vorgestellt. Diese sind für die gute Ergonomie des Produkts von strategischer Bedeutung.

1) *Shared*: Mit dem Bike-Sharing-System wollen die Entwickler den Nahverkehr ökonomisch und ökologisch sinnvoll ergänzen und eine neue Mobilitätsalternative schaffen. Darauf muss das Fahrrad angepasst werden.

- *Nutzer\*innenprofil*

Das Sharing-System hat große Auswirkungen auf die Ergonomie, denn sie ist direkt mit den Eigenschaften der Nutzergruppe verbunden. Der Prototyp wird zunächst auf dem Campus getestet. Aber die Vision des Projekts ist ein Bike-Sharing in Magdeburg und weiteren Städten. Davon ausgehend wird das Produkt von den Bewohnenden einer Stadt, Pendlern und Touristen genutzt. Die Bevölkerungsstruktur von Magdeburg zu Ende 2017 ist in Tab.I zu sehen.

TABELLE I.

BEVÖLKERUNG	STAND 31.2017
EINWOHNER	241 769
DAVON MÄNNLICH	119 728
WEIBLICH	122 041
DEUTSCHE	221 029
AUSLÄNDER	20 740
AUSLÄNDERANTEIL IN PROZENT	8.6

Tab.I. Bevölkerungsstruktur von Magdeburg zu Ende 2017; [15]

Die Bevölkerungsverteilung weist auf eine Diversität der Nutzer\*innen hin. Deshalb sollte bei der Gestaltung des Produktes darauf geachtet werden, dass das Fahrrad möglichst anpassungsfähiger ist. – von den Sitz-Lenker Position bis zu mehrsprachigen Ruf-App und Infodisplay.

- *Sitzposition*

Die Sitzposition bei üblichen Fahrradtypen wird durch Lenkerform, Vorbaumaße Sattelleinstellung und Rahmengenometrie bestimmt [16]. Was für einen Menschen entspannt ist, empfindet ein anderer als sportlich und umgekehrt. Unabhängig von Lenkerform, Fahrradtyp und Trainingszustand sollte die Sitzposition folgendes ermöglichen:

- Ein sicheres Fahrgefühl und das leichte Erreichen aller Bedienelemente;
- Eine möglichst natürliche Rückenhaltung (S-Form, kein Rundrücken);
- Angenehme, möglichst entspannte Körperhaltung, so dass die Arme leicht abgewinkelt werden können und die Schultern entspannt sind.

Die Unterschiede zwischen Lenker und Sattel ergeben unterschiedliche Sitzpositionen, die beispielsweise in Abb.2

dargestellt sind. Die liegen einerseits in der Lenkerhöhe und andererseits in der Reichweite (Streckung).

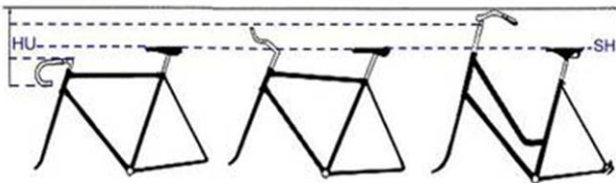


Abb.2. Höhenunterschied zwischen Lenker und Sattel bei verschiedenen Sitzpositionen; [16]

HU bezeichnet den Höhenunterschied zwischen den möglichen Griffpositionen an den Lenkerenden. Er beträgt hier ca. 40 cm im Vergleich Rennrad (Unterlenker), links, zum Hollandrad, rechts. SH ist die Sattelhöhe/-Ebene, sie ist bei allen drei Abbildungen identisch.

Häufig wird eine bestimmte Sitzposition unabdingbar mit einem bestimmten Lenkertyp in Verbindung gebracht. Dies muss aber nicht zwangsläufig so sein. Wenn es der Rahmen zulässt und ein entsprechender Vorbau verwendet wird, kann der Höhenunterschied zwischen Lenker und Sattel verändert werden.

Für das ergonomiegerechte Design muss hier weiter untersucht werden, welche Positionen von Nutzer\*innen bevorzugt werden und wie das Fahrrad durch technische Gestaltung individuell an diese angepasst werden kann.

2) *“On-board“ Transport:* Laut Konzept wurde ein dreirädiges Lastenfahrrad als Grundlage ausgewählt (Modell X-Loader). Der Prototyp ist darauf aufbauend in Abb.3 zu sehen.



Abb. 3. Der Prototyp von AuRa ist auf Basis eines Lastenfahrradmodel Typ X-Loader aufgebaut. Foto: Jana Dünnhaupt/OVGU

Dreiräder können durch ihre zwei nebeneinander angeordneten Räder stabil stehen und sind daher beim Ein- und Aussteigen nur schwer umzukippen. Außer besserer Stabilität vor allem für die autonome Fahrten und mehr Bauraum, sollen damit Nutzer\*innen leichtere Gegenstände oder auch zusätzliche Personen wie Kinder mitnehmen können.

- *Ladebox – variabel konfigurierbar*

Ähnlich wie bei der Nutzungsgruppe, ist die Diversität bei den Transportwünschen vorhanden. Das bedeutet, dass die Ladebox anpassungsfähig sein soll, aber auch sicher. Aufgrund der allgemeinen Verkehrssicherungspflichten ist es empfehlenswert Kinder im Lastenrad immer anzuschlappen. Die Ladebox für Kinder muss folglich mit 3- oder 5-Punkt-Gurten ausgestattet sein [17].

Unterschiedliche Transportgegenstände wie Gepäck, Einkaufstüten oder ähnliches haben verschiedene Transportanforderungen. Diese sollten in die Box passen oder fixiert werden können.

Zu untersuchen ist, wie die Fahrräder mit jeweils verschiedenen Ladeboxen für den Transport von Kindern oder Gegenständen ausgestattet, diese in sich anpassbar oder wechselfähig ausgeführt, werden können.

3) *Autonom:* Das Fahren heute ist ein Prozess komplexer, mehrstufiger Interaktion, in der der Fahrer in allen Phasen involviert ist. Um insbesondere die Folgen des Entfallens des menschlichen Faktors bei autonomen Fahrzeugen zu definieren und dementsprechend die neuen Bedürfnisse genauer zu identifizieren, muss zunächst analysiert werden, was für Hauptfunktionen der Fahrer erfüllt (Tab.II).

TABELLE II.

FUNKTION	DETAILS UND MITTEL
INFORMATIONSPROZESSOR INFORMATIONSVERRARBEITUNG	Sensoren / Sinne, Verstand, Gehirn, Wissen, Vorhersage
MANUELLE NAVIGATION	Körper; Mensch-Maschine Interaktion
VERMITTLER / INFORMATIONSAUSTAUSCH	Reaktion, Interaktion, Licht- und Tonsignalanlage, Körper /nonverbale Kommunikation/

Tab.II. Hauptfunktionen des Fahrers eines Fahrzeugs

- *Vereinbarung von Technik und Optik*

Bei autonomen Fahrzeugen wird der Fahrer /Mensch/ und alle seine Funktionen (Tab.II) durch technische Ausrüstung nachgebildet. Sie müssen am Exterieur des Fahrzeugs angebracht werden, ohne ihre Funktionalität oder den Nutzer selbst während des manuellen Fahrens zu gefährden. Bei dem AuRa-Fahrrad ist dies mit einem erhöhten Schwierigkeitsgrad versehen. Grund ist, dass das Fahrrad sowohl manuell als auch autonom navigiert wird. An dem Fahrradrahmen müssen somit noch weitere Technikkomponenten und größere Batterien vorgesehen werden.

Die Herausforderung liegt hier in der Entwicklung von einem formal stimmigen Produktdesign des Fahrrads, bei dem sich die technisch-praktische Funktionsfähigkeit mit ästhetischen Aspekten vereinbaren lässt. Hierbei werden neben ästhetischen Funktionen auch solche informativer, kommunikativer und formaler Natur mit einbezogen [18]. Sie sprechen also auch die Psyche und/oder den Verstand des Menschen an. Es ist von entscheidender Wichtigkeit, dass das Erscheinungsbild des Fahrrads den Nutzern und der Gesellschaft auch optisch, haptisch und sinnlich zusagt.

- *Sichtbarkeit*

Ein Fahrrad ohne Fahrer hat nur eine geringe Höhe und kann deswegen leicht von den anderen Verkehrsteilnehmern übersehen werden. So ist es wichtig, die Sichtbarkeit des Fahrrads zu steigern. Dabei können tagsüber zusätzliche Signalquellen wie Wimpel helfen, nachts geeignete Reflektoren und Lichtquellen.

Für das Design bedeutet dies, dass ein Signalwirkungskonzept zu entwerfen und zu erproben ist, welches zum Exterieur des Fahrrads passt. Das heißt, dass Fahrverhalten und die technische Funktionsfähigkeit der Sensorik nicht eingeschränkt werden.

- *Interaktion mit der Umwelt*

In der gegenwärtigen Straßenumgebung sind Verhaltenssignale wie Augenkontakt, Nicken und Handgesten

besonders relevant und oft anwendbar für die Interaktion zwischen Fußgängern und Radfahrern, da sie für beide Seiten bequem funktionieren [19]. Durch das Entfallen des "Human Factor" bei der autonomen Fahrt, ist die nonverbale Kommunikation mit den anderen Verkehrsteilnehmenden beim Fahren nicht mehr möglich. Es muss nach Möglichkeiten gesucht werden, wie autonome Fahrzeuge auf eine gemischte Verkehrssituation zusammen mit manuell gesteuerten Kraftfahrzeugen, Fußgängern und Radfahrern ausgelegt werden können. Ein Exterieur-Display an Front und Heck kann Abhilfe schaffen. Der bisher vornehmlich textbasierte Ansatz sollte aber in Richtung einer Symboldarstellung weiterentwickelt werden [20]. Abb.4 zeigt eine Kommunikationsstrategie, die Licht und Symbole als Kommunikationsmittel benutzt.



Abb. 4. Beispiel einer Kommunikationsstrategie angewendet bei Konzept für autonome Fahrzeuge; [21]

Konkret für Aura ist eine ähnliche Lösung wünschenswert, wobei der Bildschirm proportionell groß und auch bei veränderlichen Witterungsbedingungen funktionsfähig sein muss. Optische Eigenschaften und symbolische Funktionen der gezeigten Kommunikationsmittel, wie Zeichen, Schrift, Form, Farbe und vieles mehr sind noch zu definieren.

#### IV. SCHLUSSFOLGERUNG

Die Durchführung einer Ergonomie und Design Analyse unter Berücksichtigung der geplanten Funktionalitäten und des Anwendungsbereichs, liefert eine genaue Definition produktspezifischer Voraussetzungen für gute Ergonomie, Komfort und Sicherheit. Dieses Wissen soll die zukünftige Entwicklung und erfolgreiche Umsetzung des Projekts gewährleisten, damit die AuRa-Lastenfahräder in naher Zukunft zum Stadtbild gehören und das Konzept des Bike-Sharings neu definieren.

Aufbauend auf den Anforderungen sind spezifische Lösungen in dem weiteren Entwicklungsprozess zu entwerfen und auszuarbeiten.

#### DANKAUSSAGE

Die Ergonomie- und Funktionsanalyse in dieser Arbeit wurde auf Basis des Fachs „Methodisches Produktentwerfen“ 2012-2016 unter der Leitung von Prof. S. Draganov, Ingenieurdesign, Technische Universität Sofia, erstellt. Besonderer Dank gilt dem gesamten Team, das am AuRa Projekt arbeitet, für die Gelegenheit zur Zusammenarbeit und für alle Informationen, die für die Erstellung dieser Arbeit bereitgestellt wurden, insbesondere dem Institut für Mobile

Systeme, Institut für Logistik und Materialflusstechnik und Institut für Psychologie an der Otto von Guericke Universität Magdeburg, sowie dem Zentrum für Produkt-, Verfahrens und Prozessinnovation.

Der Beitrag ist im Rahmen der Forschungstätigkeiten des Vorhabens „AuRa Autonome Fahrräder“ entstanden. Dieses wird durch den Europäischen Fonds für Regionale Entwicklung (EFRE) gefördert.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] WBGU, „Der Umzug der Menschheit: Die transformative Kraft der Städte“, WBGU Wissenschaftlicher Beirat der Bundesregierung Globale Umwelt, Berlin, 2016.
- [2] B. J. Rockström, O. Gaffney, J. Rogelj, M. Meinshausen, N. Nakicenovic, and H. Joachim, "A roadmap for rapid decarbonization," *Science* (80-), vol. 355, no. 6331, pp. 1269–1271, 2017.
- [3] EU, "White paper on transport", Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2011.
- [4] S. Hörl, F. Becker, T. Dubernet, and K. W. Axhausen, „Induzierter Verkehr durch autonome Fahrzeuge: Eine Abschätzung“, 2019.
- [5] E. Fraedrich et al., „Automatisiertes Fahren im Personen- und Güterverkehr“, Stuttgart: e-mobil BW GmbH, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e.V. Institut für Verkehrsforschung, Ministerium für Verkehr Baden-Württemberg, 2017.
- [6] F. Rudolph, T. Koska, und C. Schneider, „Verkehrswende in Deutschland“, Hamburg: Wuppertal Institut, Greenpeace e.V., 2017.
- [7] A. Reckwitz, „Die Gesellschaft der Singularitäten“, 6. Auflage, Berlin: Suhrkamp, 2018.
- [8] W. Canzler und A. Knie, "Die Zukunft urbaner Mobilität - Ansätze für eine ökologische Verkehrswende im digitalen Zeitalter", in böll.brief Grüne Ordnungspolitik #6, Berlin: Heinrich Böll Stiftung, 2018.
- [9] S. Zug, S. Schmidt, T. Assmann, K. Krause, S. Salzer, und M. Seidel, "BikeSharing der 5. Generation. Szenarien und Herausforderungen für den Einsatz autonom agierender Fahrräder", Jorge Max Gomez (Hg.): BUIS-Tage 2018, Oldenburg, 2018.
- [10] S. Trubia, A. Canale, T. Giuffrè and A. Severino, "Automated vehicle: a review of road safety implications as driver of change", 27th CARSP Conference, Toronto, June 18-21, 2017.
- [11] R. Bruder, "Einführung in die Ergonomie für Industrial Design", Verlag: Ergonomia, 2004.
- [12] S. Draganov, "Lehrpläne für methodisches Produktentwerfen", Grundstudium Ingenieurdesign, Technische Universität Sofia, 2012-2016.
- [13] Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Forschungs- und Entwicklungsprojekt "AuRa", Systemkonzept, Visualisierung: D. Manoeva, Magdeburg, 2019.
- [14] Otto-von-Guericke Universität Magdeburg, Forschungs- und Entwicklungsprojekt "AuRa", Projektsteckbrief, Magdeburg, 2019.
- [15] „Bevölkerungsstruktur von Magdeburg zum 31.12.2017“, Publisher: Statistisches Landesamt Sachsen-Anhalt, n.d. Web. 8 Oct. 2019.
- [16] „Fahrrad-Sitzpositionen“, Deutschland, Publisher: <https://www.rad-reise-service.de>, n.d. Web. 9 Oct. 2019.
- [17] "Lastenrad - Sicherheit", Publisher: <https://www.e-lastenrad.de>, n.d. Web. 8 Oct. 2019.
- [18] „Design, die ästhetische Schönheit - Geschichte, Funktion und Disziplinen“, Web Artikel, Deutschland, Publisher: <http://www.paradisi.de>, n.d. Web. 10 Oct. 2019.
- [19] A Rakonitorainy, F. Feller, and N. Haworth, "Using in-vehicle avatars to prevent road violence", CARRS - Centre for Accident, Research and Road Safety, Sydney, 2008.
- [20] K. Blankenbach und M. Haller, „Exterieur-Display für autonome Fahrzeuge“, Web Artikel, Deutschland, Publisher: <https://www.elektroniknet.de>, n.d. Web. 10 Oct. 2019.
- [21] I. Othersen, A. Conti-Kufner, A. Dietrich, P. Maruhn, and K. Bengler, "Designing for automated vehicle and pedestrian communication: perspectives on eHMIs from older and younger persons", Europe Chapter Human Factors and Ergonomics Society, Annual Meeting 2018, October 8-10, Berlin, 2018.

# Maximizing the Internal Value of Company Projects

## Maximierung des internen Wertes von Projekten im Unternehmen

Irina O. Korova\*

\*IT Business Process Manager

irina@bpmexplained.com; <https://orcid.org/0000-0002-5681-8181>

**Abstract** — This research paper focuses on the topic of project success from the perspective of the companies executing the projects. It explains what project success means and why it is important to establish a well-working Project Portfolio Management process, in addition to Project Management. It also highlights the most important Project Portfolio Management practices that enable the project success and it brings in survey results to discuss the present implementation of those practices. The paper ends with a proposal on next steps for further research and process improvement implementation.

**Zusammenfassung** — Der Augenmerk dieses Forschungspapiers richtet sich auf das Thema Projekterfolg aus Sicht der durchführenden Unternehmen. Es erläutert, was Projekterfolg bedeutet und warum es wichtig ist, über das Projektmanagement hinaus, einen gut funktionierenden Projekt Portfolio Management Prozess zu etablieren. Es werden die wichtigsten Projekt Portfolio Management Praktiken vorgestellt, die einen Projekterfolg ermöglichen. Eingebrachte Umfrageergebnisse geben dabei Aufschluss über die Implementierung dieser Praktiken, die im Anschluss diskutiert werden. Die Arbeit schließt mit Vorschlägen für weiterführende Untersuchungen und Implementierung von Prozessverbesserungen.

### I. INTRODUCTION

Project Management is not a new process. Since centuries, people have been structuring their work into projects. Examples include the Pyramids of Giza, the Olympic games, the Great Wall of China, Taj Mahal, humans landing on the Moon, and many, many more [1]. Today, 30% of the global economy is project-based [2].

Even with such an extensive Project Management experience, around 70% of all started projects are either challenged in some way or completely fail (see Fig. 1). This equates to 1 million USD wasted every 20 second globally on poor Project Management practices, which rounds up to 2 trillion USD a year [3].

### II. OBJECTIVE

Presently I work as a Senior Quality Manager at an IT organization of around 10,000 people in size. Our work is structured into projects and I experience first-hand the daily struggles of different specialists (incl. myself) assigned to various IT projects, as well as the company as a whole, while trying to bring these projects to successful completion.

The goal of this research is to set the direction for enabling organizations to successfully and consistently deliver projects that add value. The main focus is not so much on the Project Management process, because its scope is limited to one project only. The intention is to look broader at the internal strategic and governance elements that impact Project Management and see how those can be improved in order to achieve project success consistently. In that sense, certain elements from the behavior of the Project Management process can serve as an input for identifying improvement opportunities on the strategic/governance level, and

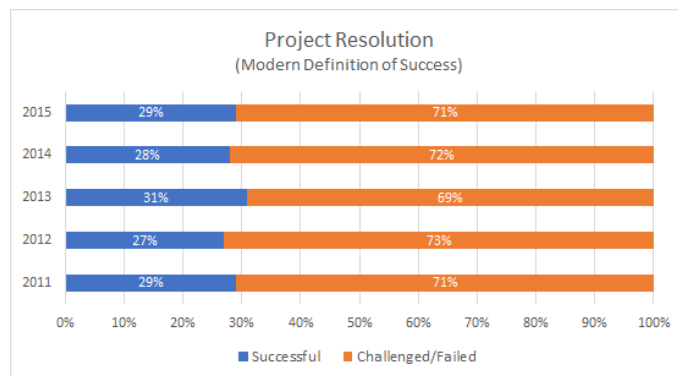


Fig. 1. Project success in the years 2011-2015 [4]

also as indicators of whether improvement has indeed been achieved.

### III. ANALYSIS

The structure of this research can be broken down into two parts:

- Single-project scope: What are the criteria for a successful/unsuccessful project?
- Multiple-project scope: What are the strategic/governance elements impacting the project success?

#### A. Single-Project Scope

Until recently, project success has been defined by completing the projects on time, on scope, and within budget [4, 5, 6]. However, none of these three project attributes provide any visibility as to whether the project actually

Q: Of the projects started in your organization in the past 12 months that were deemed failures, what were the primary causes of those failures? (Select up to 3)

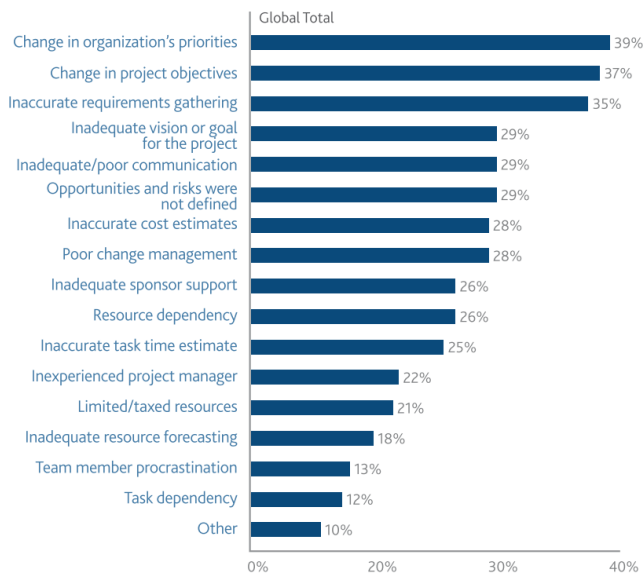


Fig. 2. Survey results from 4,455 Project Management Practitioners (global total) [7]

brought value to the customer, whether the delivered product/service was of the expected quality, etc. Therefore, more and more definitions of project success are emerging to include more factors (aka "constraints") than the traditional three, such as:

- on time, on budget, on target, on goal, value, satisfaction [4];
- time, scope, cost, quality, risk, value, image/reputation [5];
- product and project quality, timeliness, budget compliance, degree of customer satisfaction [6].

As observed, there is not one single definition of project success. What project success is (financial and qualitative criteria) and how it will be measured throughout the course of the project is left to the organizations to define prior to the start of the project, typically in the business case [1].

Even without a clear definition of project success, one element is becoming more and more prominent: value / customer satisfaction. [2] and [5] argue that the new definition of project success will be based on value only. Value can then be further decomposed into: time, cost, quality, technology and scope, client satisfaction, and risks [5]. In this way, all constraints to achieve the project success will become components of the value constraint.

To understand what value means, we can look into its definition: A project's business value is the benefit that the project results provide to its stakeholders [1]. The benefit from projects may be tangible (monetary assets, stockholder equity, utility, fixtures, tools, market share, etc.), intangible (goodwill, brand recognition, public benefit, trademarks, strategic alignment, reputation, etc.), or both.

Needless to say, the project's value is not only linked to external customers, but also to internal stakeholders. A project stakeholder, by definition, is any person, group, or

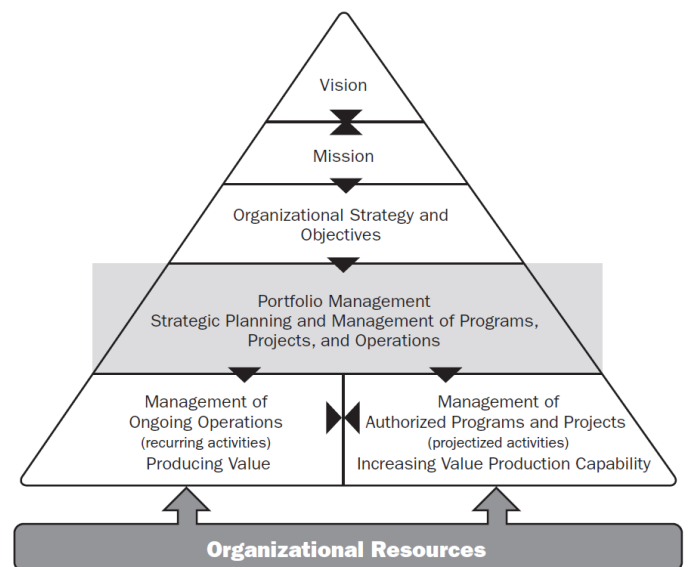


Fig. 3. Organizational context of Project Portfolio Management [6]

organization that can impact or be impacted by the project [1]. Therefore, a project will not be considered successful if it provides the intended value to the external customer, but not internally to the company delivering the project.

In order for a company to ensure its projects deliver value internally as well, it has to keep them in a constant alignment with its strategic direction [6]. However, [7] shows that changes in the organizational priorities and changes in the project objectives are the most frequent reasons for project failures (see Fig. 2). One possible explanation is the lack of strong alignment between the value a project will deliver and the company's strategy from the very start of the project.

Another possible explanation, however, is sponsorship. Organizations have limited resources to invest into their projects. This causes projects to be in a constant competition for some or all of the company resources [6]. Consequently, not sponsoring a project, strategic goal, or any other type of initiative means failing to achieve its purpose and benefit from its results.

Because of these two reasons - strategic alignment and sponsorship (i.e. resource allocation) - we have to refer to the Project Portfolio Management process (see Fig. 3). A portfolio is a collection of projects, programs, subsidiary portfolios, and operations managed as a group to achieve the company's strategic objectives [6]. In other words, the scope of the Project Portfolio Management process is all projects inside a company.

In comparison, the main definition in Project Management is: A project is a temporary endeavor undertaken to create a unique product, service, or result [1]. In other words, the scope of the Project Management process is a single project. However, an individual project can not tell us whether all company strategic objectives have been met, or whether all company resources are being utilized in the best possible way. We have to look into all projects as a whole to give answers to these questions.

## B. Multiple-Project Scope

Project Portfolio Management manages the collective whole and the relationships among projects, programs, subsidiary portfolios, and related operations (aka "portfolio components") in a way that brings value to the organization [6]. Value is the primary focus and also the criterion by which the portfolio components are evaluated and added to the portfolio. The portfolio success is measured in terms of the aggregate investment performance and benefit realization of the portfolio, i.e. the entire quantifiable and qualifiable benefits, worth, and usefulness of the organization (all tangible and intangible elements of the business value). And the success of the whole Project Portfolio Management process is measured by whether it optimizes investments and meets the organizational strategic and operational goals.

By applying the Project Portfolio Management practices, the company ensures that the investment in a portfolio delivers the required return to its stakeholders as defined in the organizational strategy and as expressed by the portfolio components (projects and programs) [6]. The underlying premise is that if a portfolio component successfully builds its assigned deliverables, it can make its contribution to the chain that links the deliverable to component outcome to benefit to value all the way up to the organization's mission (see Fig. 4).

Fig. 4 also shows that, to enable the portfolio components to execute successfully, the Project Portfolio Management process has to set the stage by:

1. ensuring the portfolio is aligned to the strategy,
2. designing the portfolio, and
3. governing the execution of the portfolio.

From there on, we move down to the level of Project Management, which manages the actual portfolio component delivery and, thus, realizes the value of the whole portfolio.

1) *Strategic Alignment*: In order for Project Portfolio Management to use the strategic objectives as input, they have to a) exist, and b) be of the expected quality.

The strategic objectives are created on the basis of the organizational vision and mission [6], therefore, these prerequisites need to be in place too. The stakeholders then break the company's path (i.e. strategy) to achieve its vision into more manageable steps, which represent the company's strategic objectives.

Once defined, the strategic objectives should be all of the following [6]:

- Understandable: Is it stated simply and easy to understand?
- Suitable: Does it fit with the vision and mission?
- Acceptable: Does it fit with the values of the organization and the employees?
- Flexible: Can it be adapted and changed as needed?

The benefits of having a clear and working strategy are well known. A recent study [8] shows that companies which get strategy right are three times as likely to report above-average growth, twice as likely to report above average profits, and generate 14.2% higher annual Total Shareholder

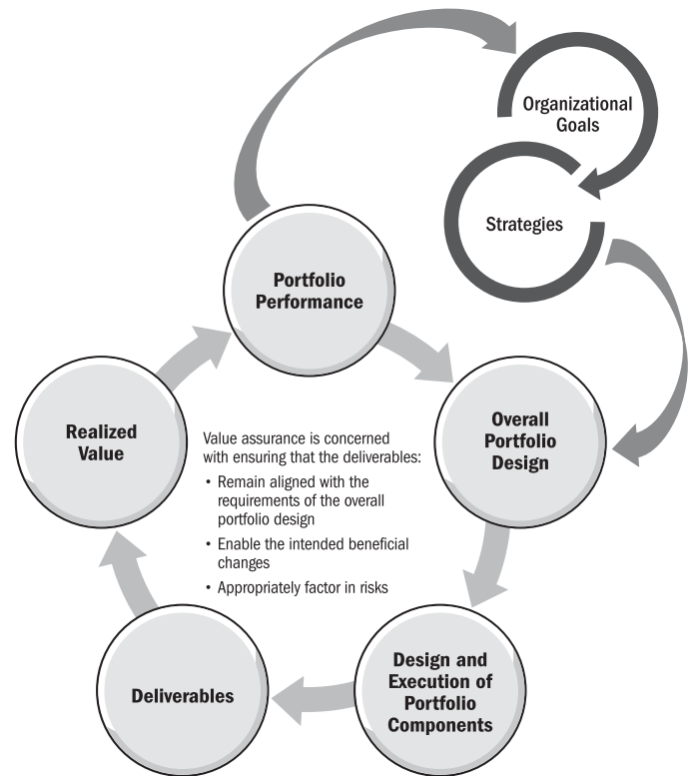


Fig. 4. The link between strategy and portfolio performance via the component deliverable [6]

Return (TSR), based on capability-driven deals. And yet, 79% of the surveyed leaders say their company does not have a list of strategic priorities, and 63% say their company does not have a well-defined strategy and a clear sense of where it is heading. This suggests that the companies still do not know what their competitive advantage is, what to focus on, and what to let go of, in order to formulate a clear vision and strategic path to it.

2) *Portfolio Design*: Once the organizational strategy is in place, the next step is to identify what benefits the projects will bring, in order to make an informed decision of whether a portfolio component is in alignment with the organizational strategy or not, i.e. whether it should be part of the portfolio or left out. Proposed portfolio components or current inventory of work either not aligned with the organizational strategy or deemed unlikely to deliver the intended value are not recommended for inclusion in the portfolio [6].

The survey carried out in [9] shows that nearly three quarters of the organizations frequently identify the project benefits before the project start. At the same time, the report also shows that 83% of the projects suffer from a lack of maturity with benefits realization, 48% of the projects are not well-aligned with the organizational strategy, and 62% of the projects that are not well-aligned with the organizational strategy are implemented nevertheless.

The possible reasons for this project misalignment to the company strategy are shown in Fig. 5. They suggest that the project stakeholders are focusing too heavily on maximizing their Return on Investment (ROI), losing sight of the project's (and portfolio's) true requirement, which is to return value. This is a very common mistake, also pointed out in [6].

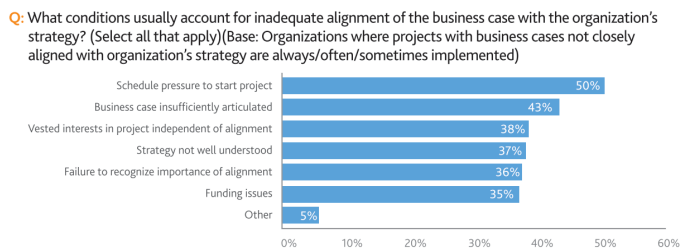


Fig. 5. Survey results from 1,189 Project Management Practitioners (global total) [9]

It is important to note that identifying the project benefits upfront also informs the organization about what metrics to use to track if the projects are performing as expected [5, 9]. Therefore, failing to identify, agree on, and prioritize the project value elements with all stakeholders at the project start also leads to a) lack of project control while the project is already ongoing, and b) inability to assess if the project has been successful at project closure.

3) *Portfolio Governance*: To enable effective management of the portfolio, the results (expected or realized) of its components should be measured, ranked, and prioritized [6]. Prioritization shows which portfolio component the organization should invest in at any given time. Not every component has the same urgency. It is important to recognize the sequence of component completion based on the organizational goals and be able to facilitate the higher-priority components first, followed by those lower on the list.

To enable prioritization, the organizations need a way of describing their projects so they can compare them [10]. They do this by assigning attributes, which form the basis of a categorization system.

To investigate the successful implementation and operation of project categorization systems, [10] also performed a survey. According to it, 39% of the companies classify some of their projects (but not all), and 16% of the companies do not classify any of their projects. Some of the reasons for these results are: categorization is an abstract concept, project attributes are not linked to the purposes for which they are used, difficulties in using the categorization system (e.g. system is too complex), etc.

The conclusion is that companies are either not convinced that project categorization systems can align organizational capability with strategic intent or they do not believe such alignment is needed. In any case, a minimum of 55% of the organizations are presently not utilizing their resources in the optimal way and, thus, maximizing the value their projects can bring.

#### IV. SUMMARY

Project success is an interesting topic, because a) people tend to organize their work into projects, and b) they want to see their investment bring its intended results. That is why, in business terms, project success is measured by the value it brings to its stakeholders. The value is realized by the total sum of all projects and is, therefore, better managed by the practices of Project Portfolio Management than Project Management alone.

Project Portfolio Management enables the project success by governing and aligning the projects to the company

strategy, which in turn brings the company closer to its vision and mission. Several surveys show, however, that the Project Portfolio Management practices are not well understood and/or implemented. As a result, in 70% of the started projects the benefits are compromised and investment is lost.

#### V. EPILOGUE

This research paper sets only the initial steps for enabling project success every time. It highlights the major areas of concern when it comes to project/portfolio governance and strategic alignment, which prevent companies to realize their full potential.

As next steps, further analysis can be performed inside real-life groups of projects and portfolios to understand in more detail why the current Project Portfolio Management practices are at least partially ineffective. It is possible that these practices are not fully implemented, in which case the ways of working of the organization(s) can be improved. There is also the chance that the current theory may have some flaws, which prevent its full implementation and effective execution. In that case, an improved theoretical model can be proposed.

#### REFERENCES

- [1] Project Management Institute, *PMBOK GUIDE: A Guide to the Project Management Body of Knowledge, incl. The Standard for Project Management*, 6th ed. Project Management Institute, Inc., 2017.
- [2] J. R. Turner, *The Handbook of Project-Based Management*, 3rd ed. McGraw-Hill, 2009.
- [3] Project Management Institute, “\$1 Million Wasted Every 20 Seconds By Organizations Around the World,” 2018. [Online]. Available: <https://www.pmi.org/about/press-media/press-releases/2018-pulse-of-the-profession-survey>
- [4] The Standish Group International, “Chaos Report,” *The Standish Group - Chaos Report*, p. 13, 2015. [Online]. Available: <https://www.standishgroup.com/chaosReport/index>
- [5] H. Kerzner, *Project Recovery: Case Studies and Techniques for Overcoming Project Failure*. John Wiley & Sons, Inc., 2014.
- [6] Project Management Institute, *The Standard for Portfolio Management*, 4th ed. Project Management Institute, Inc., 2017.
- [7] —, “Success in Disruptive Times: Expanding the Value Delivery Landscape to Address the High Cost of Low Performance,” *PMI’s Pulse of the Profession*, p. 32, 2018. [Online]. Available: <https://www.pmi.org/learning/thought-leadership/pulse/pulse-of-the-profession-2018>
- [8] PwC, “The Strategy Crisis,” *Insights from the Strategy Profiler*, p. 37, 2019.
- [9] Project Management Institute, “The Strategic Impact of Projects: Identify benefits to drive business results,” *PMI’s Pulse of the Profession*, p. 23, 2016.
- [10] L. Crawford, B. Hobbs, and J. R. Turner, “Aligning Capability with Strategy: Categorizing Projects to do the Right Projects and to do Them Right,” *Project Management Journal*, vol. 37, no. 2, pp. 38–50, 2006.



# THE JOURNEY OF QUANTUM INFORMATION TECHNOLOGY

## DIE REISE DER QUANTUM INFORMATION TECHNOLOGY

Petar Nikolov\* and Vassil Galabov†

\*Technical University Sofia, FDIBA,  
8 Kliment Ohridski blvd., Sofia, Bulgaria, e-mail: pnikolov@fdiba.tu-sofia.bg

†Technical University Sofia, FDIBA,  
8 Kliment Ohridski blvd., Sofia, Bulgaria, e-mail: vtg@tu-sofia.bg

**Abstract** — This paper overviews the development of the quantum information technology and the quantum computing over the years, highlighting its potential promising applications in different technological clusters. This paper provides brief description of the quantum computing and the most significant differences with the classical computer systems and technologies. Over 500 different articles, papers and some thesis dissertations in the field of Quantum computing and Quantum algorithms have been reviewed and classified in 8 different technological clusters. Combined together they form the scientific field of Quantum Information Technology.

**Zusammenfassung** — Dieser Artikel gibt einen Überblick über die Entwicklung der Quanteninformatik-technologie und des Quantencomputers im Laufe der Jahre und beleuchtet die potenziellen vielversprechenden Anwendungen in verschiedenen Technologieclustern. Dieser Artikel bietet eine kurze Beschreibung des Quantencomputers und der wichtigsten Unterschiede zu den klassischen Computersystemen und -technologien. Über 500 verschiedene Artikel, Artikel und einige Dissertationen im Bereich Quantum Computing und Quantum-Algorithmen wurden überprüft und in 8 verschiedene technologische Cluster eingeteilt. Zusammen bilden sie das wissenschaftliche Gebiet der Quanteninformatik-technologie.

### I. INTRODUCTION.

For source of information for this paper has been used the Cornell University Library and its search engine, which can be found at the following web site: <https://arxiv.org> Formerly understood only by the physicists, now everybody starts realizing the huge potential of the quantum computing. The quantum computer follows the laws of quantum mechanics - a branch of physics, which unveils how the world works on very low particle level. At so low level, the particles have strange (for ordinary people) behavior ( they act simultaneously as wave and particle), taking one than more states at the same moment of time. Also the particles are acting together even if they are on a very big distance (for the nowadays understandings) one from another. The quantum computing is using these quantum physics laws to create novel, different way of computing and information processing, which is very promising.

In the context of Quantum computing, the convergence between the following technological clusters: Artificial Intelligence, Computational complexity, Cryptography and security, Data structures and algorithms, Emerging technologies, Logic in computer science, Neural and evolutionary computing, System and control (see 1), gives the quantum computing field the ability to grow with very fast speed, especially in the last 10 years, when the technological sector has huge growth impact on the economies of the leading countries in the world.

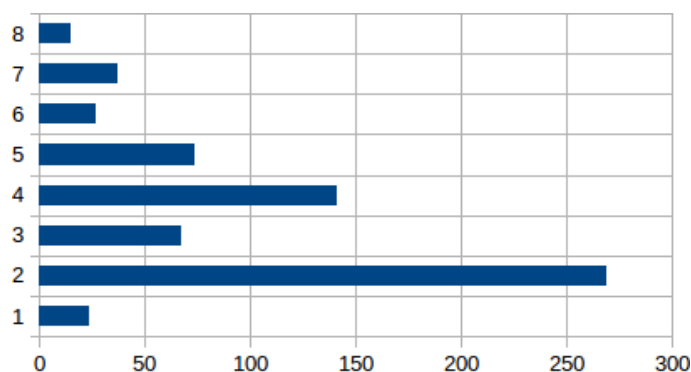


Fig. 1. Number of papers reviewed in the following technological clusters: 1. Artificial Intelligence 2. Computational Complexity 3. Cryptography and Security 4. Data Structures and Algorithms 5. Emerging Technologies 6. Logic in Computer Science 7. Neural and Evolutionary Computing 8. Systems and Control



Fig. 2. Papers published in the Artificial Intelligence cluster:  
 1. In the period 2006-2017  
 2. In the period 1999-2005

## II. TECHNOLOGICAL CLUSTERS DEVELOPMENT THROUGH THE YEARS.

The development of programmable quantum processors made with silicon has taken a few steps forward for the last few years. The most significant achievement recently is the breakthrough of IBM in development of a quantum computer, which can handle 50 qubits, announced at the IEEE Industry Summit on the Future of Computing in Washington D.C. Besides from the 50 qubit device, IBM have also a 20 and 14 qubit devices, which are available for use through the IBM Q Network. This hardware development gives a push to the software developers and researchers, who want to create algorithms and software running on a quantum processor. As said before, there is a convergence between some technological clusters and the quantum computing, which brings out faster growth in both the technological cluster and the quantum computing area.

## III. QUANTUM ARTIFICIAL INTELLIGENCE.

The artificial intelligence consists of many different subfields, which makes it extremely interesting and diversified. The traditional problems, which AI solves, include knowledge, reasoning, planning, learning, perception, natural language processing. Even in this century, when the computer processing power has increased incredibly, it is still the limitation for the development of the most complex artificial intelligence systems. Here comes the quantum computing to help with its incredible hypothetical speedup advantage over the classical computer in a certain field [1]–[5], they could be of great help to the researchers.

The first papers (reviewed in the process of writing this article), which investigate the quantum search problem give a solution, which could be applied to highly constrained problems [6]. A big growth of the number of the published papers is noticeable in the last decade (2006-2017). Starting with the context of classical uncertainty combined with the theory of quantum computing, where quantum mechanical dependencies had been described using a novel class of graphical representations, called Markov Entanglement Networks [7], through the application of Markov network in quantum statistical physics [8], clustering [9], reversible boolean circuits synthesis [10], medicine [11], planar graphs [12] and finishing with presentation of new opportunities for optimization algorithms [13], including ising processing units [14], discrete [15], [16], binary [17]

etc. From the total amount of 24 papers reviewed, 87.5% have been published in the last decade (see 2), which shows the rising potential of the quantum computers.

## IV. COMPUTATIONAL COMPLEXITY AND QUANTUM COMPUTING.

The computational complexity theory classifies computational problems according to their inherent difficulty, while the resulting classes are always related to each other. All the computational problems are studied and solved by mathematical models, which require certain amount of resources (time, storage, communication, processing power (number of processors or processor cores), etc.). With the development of the quantum computing new complexity classes have been defined. These classes use quantum computers and quantum computational models based on quantum mechanics. The two most important quantum complexity classes are BQP (bounded-error quantum polynomial time) and QMA (Quantum Merlin-Arthur, which is the analog of the non-probabilistic complexity class NP).

As seen from Fig.1 this cluster is the biggest among the others reviewed. The models for quantum computing have been developed during the years in many directions, starting with the quantum automata [18]–[24] and going through topics like three size estimation [25], graph connectivity [26], EQUALITY and AND [27], multivariate polynomial interpolation [28], matrix operations [29], graphs [30]–[33] and quantum walk [34].

Undoubtedly this cluster takes the first place in the quantum computing and its development is going to be on the fastest lane and one of the reasons for that is because every algorithm and computational model must be evaluated and classified [35]–[42]. Studying the relationship between classical and quantum complexity classes might start a new competition between the two computing technologies, which might lead to solving harder and harder problems in less time [43]–[138].

The development of quantum algorithms has been on the rise in recent years, with some of the guidelines in which researchers work are Quantum Fourier [128], [139]–[141], Quantum querying [142]–[145], Boolean problems [146]–[148], Quantum rejection sampling [149], Advice coins algorithms [150], Algorithms for QMA-complete problems [151], Tree isomorphism and state symmetrization [152], Quantum separability problems [153], development of algorithms related with NP-Complete, Exact cover and 3SAT problems [34], [94], [154]–[164], Quantum counterfeit coin problems [165], match-gate computations [166], [167], parenthesized testing [168], algorithms for Regulator and Principal ideal problems [169]–[171], algorithms for quantum branching programs [172], classical theorems quantum proofs [173], Shor’s algorithm [174]–[177], quantum algorithms for recognition of non-RMM regular languages [178], approximate counting [179], quantum queries [148] quantum algorithms for hidden subgroup problem [180], quantum walk based search algorithms [113], [136], [169], [181], [182].

## V. QUANTUM CRYPTOGRAPHY AND SECURITY.

Cryptography guarantees the security between two parties through encryption of the data, while both parties must agree on a common key, which must be kept in secret.

While nowadays this security is based on the mathematical complexity of the cryptographic algorithms, which is supposed to be revolutionized by the quantum computers [183]. Some requirements for the security mechanisms that have been developed in the framework of the INDECT research project have been reviewed in relation with the quantum cryptography [184].

Researchers use the entanglement property of the quantum systems to achieve secure transmission of data [185]–[188]. The quantum mechanics find very useful applications in data transfer systems with oblivious transfer [189], multi-receiver transfer [190]. In data mining and analytics, sensitive data-sets could be preserved using new quantum protocols [191], [192].

A blind quantum computation [193] shows how independent participants can perform computational tasks while holding different resources.

In the recent decade lots of new cryptography algorithms which include both classical and quantum computational systems have been developed, and also existing algorithms have been upgraded, so they could resist on quantum attacks [194]–[229]. Using Simon’s quantum algorithm, an insecurity can be shown in symmetric-key primitives [230].

A new quantum encryption scheme is shown in [231], which is based on the solution for the hidden subgroup problem. Sbastien Kunz-Jacques and Paul Jouguet examined the consequences of replacing the MAC with cryptographic hash-based signature algorithm for a Quantum Key Distribution protocol. The Quantum Key Distribution protocol is wild-spread topic in the quantum cryptography [185], [186], [232]–[236].

The homomorphic data encryption enables a new way of processing where the data does not need to be decrypted for computational purposes [200], [237], [238]. This quantum fully homomorphic algorithm is based on universal quantum circuit.

The quantum enigma cipher consists quantum properties in the physical layer, which prevents Brute force attacks. In [238] it is shown that the quantum illumination can be an element of the most simple quantum enigma cipher and make a difference in error performance.

The goal of quantum resistant cryptography algorithms is to develop problems, which are difficult to solve with quantum computers, like Knapsack problem modifications [239], [240]. New embedding techniques have been used for image authentication [241] and efficient code-based crypto systems for embedded platforms [242]. Generating random numbers with very high speed can be achieved by Quantum random number generators [243], [244], which increases the security level of the cryptographic applications. A protocol which is secure against quantum attacks has been gained by using this lattice-based hash and lattice-based commitment scheme [245].

Quantum security is not only limited to cryptographic algorithms and protocols for data transfer, but it looks after other security aspects like the vulnerabilities of the quantum computers when classical or quantum attack attempts have been made [246]–[248].

Quantum algorithms have developed greatly from quantum mechanical systems simulations to applications in wide variety of fields [249]. May be the most widely known application of quantum computing is the factoring [250]. Peter Shor introduces efficient randomized algorithms for the problems of factoring integers and finding discrete logarithms [251]. Shor’s algorithm-based applications are shown in [252], [253] and [254]. In Michael Feldmann’s paper a polynomial time deterministic factoring algorithm is provided [255]. Essential process of quantum computing systems is the Quantum error correction [256]–[258]. In [259] a pearl-necklace encoder is presented and in [260] the work extends to an algorithm for turning this encoder into a realizable quantum convolutional encoder. Undoubtedly, holding 30% of the papers in this cluster, the topic for quantum search is one of the most promising applications of quantum computers. Starting with the Grover’s algorithm for database search [261], which shows the clear advantage over a classical computer for exhaustive search [262]–[269] and how fast quantum search can be [270]. Continues through the years with different applications like single query in large databases [271], search for a needle in a haystack [272], quantum search on structured problems [273], [274], tree search problem [275], [276], quantum search with multiple solutions [277]–[280], partial search [281]–[283], scheduling problem [284], quantum search for a classical object [285], robust search [286], suppressing the transitions of a quantum mechanical system [287], fixed point quantum search [288], [289], quantum searching amidst uncertainty [290], super-linear amplitude amplification [291], quantum algorithm for finding the minimum [292], maze problem [293], symmetry detection [294]. In [295] the authors use the Grover’s search algorithm to define goals for recommendation system and apply it for wide range of optimization problems.

Grover also provides a framework for design and analysis of quantum mechanical algorithms in [296], consequence of which is the search algorithm. He shows a new perspective for quantum computing algorithms [297] and describes the quantum search as a resonance phenomena [298].

Tree data structure has a lot of applications mostly because by definition it is hierarchical data structure. The Quantum Transverse Field Ising Model [299] gives a generalization to an infinite tree geometry of iTEBD algorithm. Related interesting application of quantum algorithm for counting subgraphs parametrized by the tree width of a graph has been introduced with Non-commutative Subset Convolution [300]. Regarded as a subclass of quantum annealing, the adiabatic quantum computation does the calculations based on the adiabatic theorem [301]–[316].

Quantum algorithms find a lot of useful application in graph theory [317]–[328], tomography [329]–[332], lattice-related problems [333]–[335], group-related problems [336]–[342], Fourier transform [250], [335], [343], consensus problems [344], matrix problems [345]–[357], encoding [358]–[360], quantum separability problem [361], mean approximation [362], backtracking of one-dimensional cellular automata [363], quantum satisfiability problem [364], linear regression [365], pattern matching [366], Boolean functions influences approximation [367], shortest path prob-

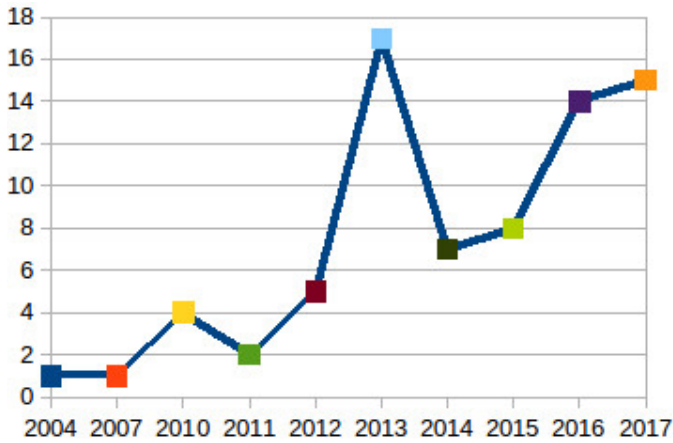


Fig. 3. Distribution of papers published over the years in the Emerging Technology cluster.

lem [368], quantum game theory [369], solving linear systems of equations [370], Markov chains [371], recovering and identity testing [372], hypercube monotonicity testing [373], solitude verification [374], boson sampling [375], DP and LE problems [376]. New type of quantum oracle [377] provides the oracle access to conditional probabilities associated with an underlying distribution.

Quantum walks are counterparts of Markov chains, and as such, have algorithmic applications [378]–[384]. Quantum walk on a graph shows an exponentially fast hitting times over classical counterparts. Such a speed-up has been presented by the quantum search algorithm based on quantum random walk architecture [385]. The quantum walk is used for the construction of an algorithm for element distinctness [386].

## VII. QUANTUM COMPUTING AS EMERGING TECHNOLOGY.

Describing quantum computing as emerging technology, we can say it is a generally new, still underdeveloped and has very high growth potential, and also it is capable of changing the status quo. This cluster has more than 10% of the total number of the articles reviewed in this paper. 74 articles have been reviewed, which could describe Quantum computing as emerging technology and more than 75% (60 out of 74) of these articles are published in the the 2013-2017 period [387]–[446], which is proof, that with the development of the technological clusters mentioned above, the Quantum computing can be categorized as fast growing technological field with prominent impact. As seen on 3. there is quite fast growth of the number of articles published in the past several years - while up to 2010 [447]–[460] the average number of articles per year is two, the number is increasing to average of 11 articles per year for the period from 2012 until 2017.

A decade ago when the quantum computing has not been on the fast lane of technological growth, the content of the articles and the focus of the researchers had been connected with the equivalence of the quantum circuits and problems with the simulation of the systems, implementation and real-task examples of well-known algorithms from the 1990s ( Grover’s and Shor’s algorithms). While later, in the past 5 years, we can see interoperability and integration between the Quantum computing theory and the

Classical computing theory, in result of which nowadays there are different platforms [410], [429], frameworks [416], [420], [436], programming languages [400], [454], which are used for description of quantum gates, circuits [415], [460], systems, presenting and performing operations on quantum systems, or quantum computer simulators [428], [459].

## VIII. LOGIC IN COMPUTER SCIENCE.

Before the first quantum computer was build for real the quantum algorithms were sequences of abstract operations. In [461] some categorical semantics are presented to help proving some necessary conditions.

There is a certain area of computability in the mathematics and theoretical computer science which consists of problems known to be mathematically non-computable. Determination of the computability not only by mathematics, but also by quantum-physical principles, gives new possibilities for solving these types of problems. There are quantum algorithms which could solve a classically non-computable decision problems like Hilbert’s tenth problem or Turing halting problem [462]–[467].

The implementation of every quantum algorithms needs a programming language and modeling the structure of information. In [468] the authors map the theory to the Von Neumann model and to the theory of object-oriented programming. They present a language called Quanta. Alternative model of quantum computation has been developed as quantum lambda calculus [469], [470].

A novel quantum programming paradigm has been introduced in 2014 - the superposition of programs, guaranteed by the universality of quantum walks as a computational model [471]. Using group theory to exploit the properties of some synthesis problems could be achieved by transformation of the problem to multiple-valued optimizations [472]. Since quantum entanglement is one of the key properties of a quantum system and gives a major difference between the classical and quantum computing, it is important to analysis this property deeper [473].

Nondeterministic quantum programs could be represented by sequential quantum Markov chains over the common state space. The steps in these programs are executed nondeterministically in the Hilber space. In [474] the conditions and necessity of the termination of these quantum programs are being presented.

Bi-simulation is an interesting topic in the theoretical computer science, where one of two systems simulates the other and vice versa. In quantum computing to check for bi-simulation, a verification of the bi-similarity of the resultant configuration must be performed. This check could be done either by considering strong bi-simulations or by using symbolic operational semantic at the quantum operation level [475].

Modeling quantum cryptographic protocols faces few challenges, one of which is the cryptographic proof. Although the security is based on the quantum mechanical principles, the design of the quantum protocol is the key element for building secure cryptographic quantum systems. A novel notion of Markov quantum chains has been introduced, where probabilistic computation tree login is defined and model-checking algorithm is developed [476].

## IX. NEURAL AND EVOLUTIONARY COMPUTING.

Artificial neural networks (ANN) are the typical and most advanced systems in the artificial intelligence nowadays. The neural networks are artificial representations of human neurons - the constructive parts of the brain. Every ANN is a system of processing units, which are very basic representation of the biological neurons, where every element of the network takes the input signal and calculates some output signal. The output signal is the input for the next elements in the system.

The perceptrons are the basic computational units in ANN and they play an important role in the machine learning. Based on the quantum phase estimation algorithm, a quantum perceptron model is presented in [477]. KAK is a family of neural networks, which are able to learn patterns quickly. Using complex inputs in these networks may give the possibility of their quantum applications [478]. Using the recurrent neural networks for optimization of dynamical decoupling for quantum memory [479] is useful for finding solutions, according to a specific hardware, because of its black box architecture.

Neural networks computations based on Quantum probability have applications in principal subspace analysis [480], where the model is based on two quantum physics concepts - density matrix and Born rule.

Training artificial neural networks requires the determination of suitable neural network architecture. This process is usually achieved empirically, and its automation could be achieved through a learning procedure for a quantum weightless neural network, where the learning algorithm uses the principle of superposition [481]. In the recent years there are new proposals for quantum neural network architecture, like the quantum perception over the field [482], Widrow-Hoff learning rule based model [483], feed-forward neural networks [484].

Sparse distributed representations (SDR) are the way of how the human brain processes information. Few of the many neurons are active at the same time, and the pattern is very significant. The probability amplitude coefficients in quantum superposition might be represented by using SDRs [485]. Deep learning has huge impact on the artificial intelligence recent years. The quantum computing provides more comprehensive framework for deep learning than classical computing. An implementation of quantum training of deep restricted Boltzmann machine has been reviewed in [486], [487]. The evolutionary computing uses algorithms inspired by the mechanisms of the biological evolution (reproduction, mutation, recombination and selection). Quantum evolutionary programming has mainly two sub-areas - Quantum Inspired Genetic Algorithms (QIGAs) and Quantum Genetic Algorithms (QGAs) [488], [489]. Quantum computing might have a huge impact on computational intelligence. Some paradigms could be implemented as quantum programs [490]. The quantum inspired evolutionary algorithms, such as HQEA, QHW (Remote and local search), QEA, NQEA, AQDE, GSQPO, QIGA2, QPSO, msMS\_DE, perform significantly faster than a classical genetic algorithms [491]–[501]. The evolutionary algorithms on Ising spin glass instances defined by Chimera topology are being investigated in [502]. One of the key tasks in the quantum information technologies

is the Robust control design.

Multi-Observable Quantum Control is a topic within the chemistry and physics applications of controlling quantum phenomena. In [503] specific systems are considered to be Pareto optimized subject to uncertainty, however one of the concerns is the impact of the fitness disturbance on algorithmic behavior and several theoretical issues have been raised. Network intrusion detection systems are software systems that monitor networks for malicious activities. The improvement of the classification accuracy and malicious detection is achieved by using Bio-Inspired Optimization Algorithms. Using quantum computers can help building new NIDS where the output results outperform the classical approach. In [504] a quantum vaccinated immune clonal algorithm with the estimation of distribution algorithm (QVICA-with EDA) is proposed for this task.

## X. SYSTEMS AND CONTROL.

Control systems are surrounding us in almost any life aspect nowadays. Systems and Control cluster reviewed in this chapter consists of five sub-areas of the control theory field: Robust control, Optimization problems, Entropy, Quantum stochastic systems and Identification. Although, it is a huge research area, the research connected with quantum computing is very limited at the time this paper has been written.

In general robust control is an approach for controller design related with some uncertainties, where the stability of the controlled system is guaranteed together with some level of performance. Quantum computers are still in their early stage, and to meet all the targets for a control design (stability, disturbance rejection, noise rejection, saturation avoidance, performance), is one of the key tasks in the development of this technology. Sampling-based learning control method is one of the most promising techniques for robust control design [505], [506]. This method includes two steps - training and testing. Performing the training step, the system is conducted using artificial samples generated by sampling uncertainty parameters. Later in the testing step, additional samples are tested for control performance evaluation.

System identification is a process for building mathematical models of complex dynamical systems, based on system's input and output. One of the key applications of the identification process in quantum technology is related with unknown quantum gate [507]. This is a two stages procedure. At the first stage series of pure states are given as an input to the gate. The second stage consists of fast gate tomography on the output states. The data from the tomography is later used for the reconstruction of the quantum gate. One of the fundamental problems in the physics of complex systems is the quantification of the complexity of the network. In [508] it is shown that the network's von Neumann entropy for a quantum network is non-decreasing at the consensus limit. Another interesting correction has been found in this paper regarding quantum gossiping algorithms with deterministic coefficients and classical gossiping algorithms with random coefficients. The transfer function gives the corresponding output value for each possible input value for a control system. When subsystems are connected in series it is also called cascaded. Generic

Linear Quantum stochastic systems have pure cascade realization [509]. This realization finds applications in coherent feedback control and filtering.

Optimization problem is the problem of finding the best solution out of the feasible ones. In quantum technology one of the most important optimization problem is finding the stabilizing measurement-free quantum controller used in fully quantum closed-loop system. The task is to minimize an infinite-horizon mean square performance index. This problem is called Coherent Quantum Linear Quadratic Gaussian (CQLQG) [510]. Another optimization problem is the decomposing of unitary matrices obtained by a quantum algorithm to so-called two level matrices [511]. Some recent developments helps reduce the complexity of the analysis when quantum systems have been described as networks of quantum nodes. This opens an area of optimizational tasks like optimizing the convergence rate of the continuous time quantum consensus algorithm [512], [513] and optimizing the convergence rate of the gossip algorithm for quantum networks [514], optimal configuration of the LQR controller [515], improvement of quantum control fidelity for noisy system [516]. Constraints of the hardware are one of the main difficulties faced in the process of running quantum algorithms. The quantum circuits must be compiled for the specific hardware, to make sure that the algorithm has been run properly. The usage of more flexible quantum circuits makes it challenging to find the optimal compilation. In [517] the Quantum Approximate Optimization Algorithm is in focus for finding the optimal circuit design.

## XI. CONCLUSION.

In this paper an extensive analysis of the quantum information technology and the quantum computing was presented. The classification of the different research areas where the quantum technology is connected with other fields gives an idea of what should be expected within the near future. As it seems most of the research is focused in the field of theoretical computer science and the computational complexity. Still there are too few applications of the quantum computing which could make a significant change to a specific area. Quantum hardware development would definitely lead to the broader research in algorithms and software. We hope the content provides a useful overview for technically informed readers. We have tried to minimize the technical details which could be distracting or off-putting for a broader audience.

## XII. ACKNOWLEDGMENT.

We acknowledge the use of "Cornel University Library" and its search engine, which can be found at the following web site: <https://arxiv.org>. All the views expressed are those of the authors and do not reflect the official position or policy of Cornel University Library.

## REFERENCES

- [1] U. Alvarez-Rodriguez, L. Lamata, P. Escandell-Montero, J. D. Martín-Guerrero, and E. Solano, "Supervised quantum learning without measurements," *Scientific Reports*, vol. 7, Oct. 2017.
- [2] D. Kartsaklis, "Compositional distributional semantics with compact closed categories and frobenius algebras," *CoRR*, vol. abs/1505.00138, 2015, 1505.00138.
- [3] L. Tarrataca and A. Wichert, "A quantum production model," *Quantum Information Processing*, vol. 11, pp. 189–209, Apr. 2011.
- [4] I. Sato, K. Kurihara, S. Tanaka, H. Nakagawa, and S. Miyashita, "Quantum annealing for variational bayes inference," in *Proceedings of the Twenty-Fifth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence*, UAI '09, (Arlington, Virginia, United States), pp. 479–486, AUA Press, 2009.
- [5] D. Dong, C. Chen, H. Li, and T.-J. Tarn, "Quantum reinforcement learning," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part B (Cybernetics)*, vol. 38, pp. 1207–1220, Oct. 2008.
- [6] T. Hogg, "Solving highly constrained search problems with quantum computers," *J. Artif. Int. Res.*, vol. 10, pp. 39–66, Dec. 1994.
- [7] P. L. Mura and L. Swiatczak, "Markovian entanglement networks," *CoRR*, vol. abs/quant-ph/0702072, 2007, quant-ph/0702072.
- [8] F. G. Jouneghani, M. Babazadeh, R. Bayramzadeh, and H. Movla, "Investigation of commuting hamiltonian in quantum markov network," *International Journal of Theoretical Physics*, vol. 53, pp. 2521–2530, Mar. 2014.
- [9] V. Kumar, G. Bass, C. Tomlin, and J. Dulny, "Quantum annealing for combinatorial clustering," *Quantum Information Processing*, vol. 17, pp. 1–14, Feb. 2018.
- [10] M. nLukac, M. A. Perkowski, and M. Kameyama, "Evolutionary quantum logic synthesis of boolean reversible logic circuits embedded in ternary quantum space using heuristics," *ArXiv*, vol. abs/1107.3383, 2011.
- [11] R. R. Tucci, "Use of a quantum computer and the quick medical reference to give an approximate diagnosis," 2008, 0806.3949.
- [12] M. Chertkov, V. Y. Chernyak, and R. Teodorescu, "Belief propagation and loop series on planar graphs," *CoRR*, vol. abs/0802.3950, 2008, 0802.3950.
- [13] I. Sato, S. Tanaka, K. Kurihara, S. Miyashita, and H. Nakagawa, "Quantum annealing for dirichlet process mixture models with applications to network clustering," *Neurocomput.*, vol. 121, pp. 523–531, Dec. 2013.
- [14] C. Coffrin, H. Nagarajan, and R. Bent, "Evaluating ising processing units with integer programming," in *Integration of Constraint Programming, Artificial Intelligence, and Operations Research*, pp. 163–181, Springer International Publishing, 2019.
- [15] C. Coffrin, H. Nagarajan, and R. Bent, "Ising processing units: Potential and challenges for discrete optimization," 07 2017.
- [16] A. Ramezani, "Optimization by a quantum reinforcement algorithm," *Physical Review A*, vol. 96, Nov. 2017.
- [17] K. Crammer and A. Globerson, "Discriminative learning via semidefinite probabilistic models," *ArXiv*, vol. abs/1206.6815, 2006.
- [18] F. W. Glover, M. W. Lewis, and G. A. Kochenberger, "Logical and inequality implications for reducing the size and complexity of quadratic unconstrained binary optimization problems," *ArXiv*, vol. abs/1705.09545, 2017.
- [19] C. Dürr and M. Santha, "A decision procedure for unitary linear quantum cellular automata," *Proceedings of 37th Conference on Foundations of Computer Science*, pp. 38–45, 1996.
- [20] A. Ambainis and R. Freivalds, "1-way quantum finite automata: strengths, weaknesses and generalizations," *Proceedings 39th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (Cat. No.98CB36280)*, pp. 332–341, 1998.
- [21] C. Dürr, H. LeThanh, and M. Santha, "A decision procedure for well-formed linear quantum cellular automata," 1997.
- [22] M. V. Panduranga Rao, "Interference automata," *Theor. Comput. Sci.*, vol. 403, pp. 89–103, Aug. 2008.
- [23] D. Qiu, "Decidability of the equivalence of multi-letter quantum finite automata," *ArXiv*, vol. abs/0812.1061, 2008.
- [24] S. Aaronson and A. Drucker, "Advice coins for classical and quantum computation," *Electronic Colloquium on Computational Complexity (ECCC)*, vol. 18, p. 8, 2011.
- [25] A. Ambainis and M. Kokainis, "Quantum algorithm for tree size estimation, with applications to backtracking and 2-player games," *ArXiv*, vol. abs/1704.06774, 2017.
- [26] S. Jeffery and S. Kimmel, "Quantum algorithms for graph connectivity and formula evaluation," *ArXiv*, vol. abs/1704.00765, 2017.

- [27] A. Ambainis and J. Iraids, "Optimal one-shot quantum algorithm for equality and and," 2017, arXiv:1701.06942.
- [28] J. Chen, A. M. Childs, and S.-H. Hung, "Quantum algorithm for multivariate polynomial interpolation," *Proceedings of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences*, vol. 474, p. 20170480, Jan. 2018.
- [29] M. Blaeser, M. Christandl, and J. Zuiddam *Chicago Journal of Theoretical Computer Science*, vol. 24, no. 1, pp. 1–16, 2018.
- [30] T. Crette, M. Laurire, and F. Magniez, "Extended learning graphs for triangle finding," 2016, arXiv:1609.07786.
- [31] C. Cade and A. Montanaro, "The quantum complexity of computing Schatten  $p$ -norms," 2017, arXiv:1706.09279.
- [32] M. Backens, "A new holant dichotomy inspired by quantum computation," in *ICALP*, 2017.
- [33] T. Crette, M. Laurière, and F. Magniez, "Extended learning graphs for triangle finding," in *STACS*, 2016.
- [34] A. S. de Abreu, L. F. I. Cunha, T. D. Fernandes, C. M. H. de Figueiredo, L. A. B. Kowada, F. L. Marquezino, D. Posner, and R. Portugal, "The tessellation problem of quantum walks," *ArXiv*, vol. abs/1705.09014, 2017.
- [35] S. A. Grillo and F. L. Marquezino, "Fourier 1-norm and quantum speed-up," *Quantum Information Processing*, vol. 18, pp. 1–15, 2016.
- [36] J. Bermejo-Vega, "Normalizer circuits and quantum computation," *ArXiv*, vol. abs/1611.09274, 2016.
- [37] A. Ambainis, J. Iraids, and D. Nagaj, "Exact quantum query complexity of  $exact_k, I^n$ ," in *SOFSEM*, 2017.
- [38] B. Fefferman and C. Y.-Y. Lin, "A complete characterization of unitary quantum space," *ArXiv*, vol. abs/1604.01384, 2016.
- [39] E. Farhi, S. Kimmel, and K. Temme, "A quantum version of Shor's algorithm applied to quantum 2-sat," *Quantum Information and Computation*, vol. 16, pp. 1212–1227, 2016.
- [40] D. Qiu and S. Zheng, "Characterizations of symmetrically partial boolean functions with exact quantum query complexity," *ArXiv*, vol. abs/1603.06505, 2016.
- [41] S. A. Grillo and F. L. Marquezino, "Quantum query as a state decomposition," *Theor. Comput. Sci.*, vol. 736, pp. 62–75, 2018.
- [42] T. Lee, A. Prakash, R. de Wolf, and H. Yuen, "On the sum-of-squares degree of symmetric quadratic functions," in *Conference on Computational Complexity*, 2016.
- [43] S. Aaronson and L. Chen, "Complexity-theoretic foundations of quantum supremacy experiments," *Electronic Colloquium on Computational Complexity (ECCC)*, vol. 23, p. 200, 2016.
- [44] S. Bravyi and D. Gosset, "Polynomial-time classical simulation of quantum ferromagnets," *Physical review letters*, vol. 119 10, p. 100503, 2017.
- [45] H. Li, X. Gao, T. Xin, M.-H. Yung, and G. Long, "Experimental study of forrelation in nuclear spins," 2016, 1612.01652.
- [46] Z. Cao and L. Liu, "A note on one realization of a scalable shor algorithm," *ArXiv*, vol. abs/1611.00028, 2016.
- [47] G. Cai and D. Qiu, "Optimal separation in exact query complexities for Simon's problem," *J. Comput. Syst. Sci.*, vol. 97, pp. 83–93, 2016.
- [48] F. G. S. L. Brandão and K. M. Svore, "Quantum speed-ups for semidefinite programming," *ArXiv*, vol. abs/1609.05537, 2016.
- [49] Y. Takahashi and S. Tani, "Power of uninitialized qubits in shallow quantum circuits," in *STACS*, 2016.
- [50] F. L. Gall, "Solving Laplacian systems in logarithmic space," *ArXiv*, vol. abs/1608.01426, 2016.
- [51] Z.-C. Yang, A. Rahmani, A. Shabani, H. Neven, and C. Chamon, "Optimizing variational quantum algorithms using Pontryagin's minimum principle," *ArXiv*, vol. abs/1607.06473, 2016.
- [52] D. Bacon, "A quantum approach to the unique sink orientation problem," *ArXiv*, vol. abs/1605.03266, 2017.
- [53] D. Bera, "Two-sided quantum amplitude amplification and exact-error algorithms," *ArXiv*, vol. abs/1605.01828, 2016.
- [54] C. Y.-Y. Lin and Y. Zhu, "Performance of QAOA on typical instances of constraint satisfaction problems with bounded degree," *ArXiv*, vol. abs/1601.01744, 2016.
- [55] S. Aaronson and S. Ben-David, "Sculpting quantum speedups," in *Electronic Colloquium on Computational Complexity*, 2015.
- [56] S. Aaronson, A. Ambainis, J. Iraids, M. Kokainis, and J. Smotrovs, "Polynomials, quantum query complexity, and Grothendieck's inequality," *Electronic Colloquium on Computational Complexity (ECCC)*, vol. 22, p. 196, 2015.
- [57] F. Grosshans, T. Lawson, F. Morain, and B. Smith, "Factoring safe semiprimes with a single quantum query," 2015, arXiv:1511.04385.
- [58] A. Garg, L. Gurvits, R. M. de Oliveira, and A. Wigderson, "A deterministic polynomial time algorithm for non-commutative rational identity testing," *2016 IEEE 57th Annual Symposium on Foundations of Computer Science (FOCS)*, pp. 109–117, 2015.
- [59] S. Aaronson, S. Ben-David, and R. Kothari, "Separations in query complexity using cheat sheets," *Electronic Colloquium on Computational Complexity (ECCC)*, vol. 22, p. 175, 2015.
- [60] M. Schwarz, "An exponential time upper bound for quantum Merlin-Arthur games with unentangled provers," *Electronic Colloquium on Computational Complexity (ECCC)*, vol. 22, p. 173, 2015.
- [61] A. Ri, "Span-program-based quantum algorithms for graph bipartiteness and connectivity," 2015, 1510.07825.
- [62] C. Barr'ón-Romero, "Classical and quantum algorithms for the boolean satisfiability problem," *ArXiv*, vol. abs/1510.02682, 2015.
- [63] A. M. Childs, W. van Dam, S.-H. Hung, and I. E. Shparlinski, "Optimal quantum algorithm for polynomial interpolation," in *ICALP*, 2015.
- [64] J. N. de Beaudrap, "On exact counting and quasi-quantum complexity," *ArXiv*, vol. abs/1509.07789, 2015.
- [65] O. Sattath, S. C. Morampudi, C. R. Laumann, and R. Moessner, "When a local Hamiltonian must be frustration-free," *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 113, p. 64336437, May 2016.
- [66] J. Bermejo-Vega and K. C. Zatloukal, "Abelian hypergroups and quantum computation," *ArXiv*, vol. abs/1509.05806, 2015.
- [67] F. G. S. L. Brandão and A. W. Harrow, "Estimating operator norms using covering nets," 2015, arXiv:1509.05065.
- [68] N. de Beaudrap and S. Gharibian, "A linear time algorithm for quantum 2-sat," 2015, arXiv:1508.07338.
- [69] I. Arad, M. Santha, A. Sundaram, and S. Zhang, "Linear time algorithm for quantum 2sat," 2015, arXiv:1508.06340.
- [70] F. L. Gall and S. Nakajima, "Quantum algorithm for triangle finding in sparse graphs," 2015, arXiv:1507.06878.
- [71] A. Younes and J. E. Rowe, "A polynomial time bounded-error quantum algorithm for boolean satisfiability," 2015, arXiv:1507.05061.
- [72] A. Ambainis, A. Belovs, O. Regev, and R. de Wolf, "Efficient quantum algorithms for (gapped) group testing and junta testing," 2015, arXiv:1507.03126.
- [73] T. Ito and S. Jeffery, "Approximate span programs," 2015, arXiv:1507.00432.
- [74] A. Younes, "A bounded-error quantum polynomial time algorithm for two graph bisection problems," 2015, arXiv:1505.06284.
- [75] S. Aaronson, D. Grier, and L. Schaeffer, "The classification of reversible bit operations," 2015, arXiv:1504.05155.
- [76] G. Ivanyos and M. Santha, "On solving systems of diagonal polynomial equations over finite fields," 2015, arXiv:1503.09016.
- [77] S. Kimmel, C. Y.-Y. Lin, and H.-H. Lin, "Oracles with costs," 2015, arXiv:1502.02174.
- [78] C. M. Lee and J. Barrett, "Computation in generalised probabilistic theories," 2014, arXiv:1412.8671.
- [79] J. Kaniewski, T. Lee, and R. de Wolf, "Query complexity in expectation," 2014, arXiv:1411.7280.
- [80] S. Aaronson and A. Ambainis, "Forrelation: A problem that optimally separates quantum from classical computing," 2014, arXiv:1411.5729.
- [81] C. Y.-Y. Lin and H.-H. Lin, "Upper bounds on quantum query complexity inspired by the Elitzur-Vaidman bomb tester," 2014, arXiv:1410.0932.
- [82] J. Bermejo-Vega, C. Y.-Y. Lin, and M. V. den Nest, "The computational power of normalizer circuits over black-box groups," 2014, arXiv:1409.4800.
- [83] M. Brandeher and J. Roland, "A universal adiabatic quantum query algorithm," 2014, arXiv:1409.3558.

- [84] J. Bermejo-Vega, C. Y.-Y. Lin, and M. V. den Nest, “Normalizer circuits and a Gottesman-Knill theorem for infinite-dimensional systems,” 2014, arXiv:1409.3208.
- [85] K. Li and G. Smith, “Quantum de Finetti theorem under fully-one-way adaptive measurements,” 2014, arXiv:1408.6829.
- [86] A. Nayebi, S. Aaronson, A. Belovs, and L. Trevisan, “Quantum lower bound for inverting a permutation with advice,” 2014, arXiv:1408.3193.
- [87] F. L. Gall, “Improved quantum algorithm for triangle finding via combinatorial arguments,” 2014, arXiv:1407.0085.
- [88] J. D. Biamonte, J. Morton, and J. W. Turner, “Tensor network contractions for # sat,” 2014, arXiv:1405.7375.
- [89] K. Wimmer, Y. Wu, and P. Zhang, “Optimal query complexity for estimating the trace of a matrix,” 2014, arXiv:1405.7112.
- [90] A. Matsuo, K. Fujii, and N. Imoto, “A quantum algorithm for additive approximation of Ising partition functions,” 2014, arXiv:1405.2749.
- [91] M. de Oliveira Oliveira, “On the satisfiability of quantum circuits of small treewidth,” 2014, arXiv:1404.5565.
- [92] B. Barak and D. Steurer, “Sum-of-squares proofs and the quest toward optimal algorithms,” 2014, arXiv:1404.5236.
- [93] J. Gruska, D. Qiu, and S. Zheng, “Potential of quantum finite automata with exact acceptance,” 2014, arXiv:1404.1689.
- [94] A. Ambainis, J. Gruska, and S. Zheng, “Exact quantum algorithms have advantage for almost all boolean functions,” 2014, arXiv:1404.1684.
- [95] S. Aaronson, R. Impagliazzo, and D. Moshkovitz, “Am with multiple Merlins,” 2014, arXiv:1401.6848.
- [96] S. Sysoev, “The effective solving of the tasks from NP by a quantum computer,” 2014, arXiv:1401.6030.
- [97] S. Gharibian, Y. Huang, Z. Landau, and S. W. Shin, “Quantum Hamiltonian complexity,” 2014, arXiv:1401.3916.
- [98] U. Mahadev and R. de Wolf, “Rational approximations and quantum algorithms with postselection,” 2014, arXiv:1401.0912.
- [99] J. Morton and J. Turner, “Computing the Tutte polynomial of lattice path matroids using determinantal circuits,” 2013, arXiv:1312.3537.
- [100] T. Morimae, K. Fujii, and J. F. Fitzsimons, “On the hardness of classically simulating the one clean qubit model,” 2013, arXiv:1312.2496.
- [101] S. Aaronson, A. Ambainis, K. Balodis, and M. Bavarian, “Weak parity,” 2013, arXiv:1312.0036.
- [102] R. Kothari, “An optimal quantum algorithm for the oracle identification problem,” 2013, arXiv:1311.7685.
- [103] M. Schwarz, T. S. Cubitt, and F. Verstraete, “An information-theoretic proof of the constructive commutative quantum Lovász local lemma,” 2013, arXiv:1311.6474.
- [104] K. Fujii and T. Morimae, “Quantum commuting circuits and complexity of Ising partition functions,” 2013, arXiv:1311.2128.
- [105] M. Banin and B. Tsaban, “A reduction of semigroup DLP to classic DLP,” 2013, arXiv:1310.7903.
- [106] M. Schwarz and M. V. den Nest, “Simulating quantum circuits with sparse output distributions,” 2013, arXiv:1310.6749.
- [107] F. L. Gall, H. Nishimura, and S. Tani, “Quantum algorithms for finding constant-sized sub-hypergraphs,” 2013, arXiv:1310.4127.
- [108] I. Dinur, D. Steurer, and T. Vidick, “A parallel repetition theorem for entangled projection games,” 2013, arXiv:1310.4113.
- [109] H. Yuen, “A quantum lower bound for distinguishing random functions from random permutations,” 2013, arXiv:1310.2885.
- [110] J. D. Whitfield, M. H. Yung, D. G. Tempel, S. Boixo, and A. Aspuru-Guzik, “Computational complexity of time-dependent density functional theory,” 2013, arXiv:1310.1428.
- [111] M. Bardoscia, D. Nagaj, and A. Scardicchio, “The SAT-SAT transition in the adversarial SAT problem,” 2013, arXiv:1310.0967.
- [112] G. Wang, “Span-program-based quantum algorithm for tree detection,” 2013, arXiv:1309.7713.
- [113] S. Jeffery, F. Magniez, and R. de Wolf, “Optimal parallel quantum query algorithms,” 2013, arXiv:1309.6116.
- [114] P. Beame, R. Clifford, and W. Machmouchi, “Element distinctness, frequency moments, and sliding windows,” 2013, arXiv:1309.3690.
- [115] A. Daskin, A. Grama, and S. Kais, “Multiple network alignment on quantum computers,” 2013, arXiv:1307.7220.
- [116] C. Gogolin, M. Kliesch, L. Aolita, and J. Eisert, “Boson-sampling in the light of sample complexity,” 2013, arXiv:1306.3995.
- [117] Y. Huang, “Computing quantum discord is NP-complete,” 2013, arXiv:1305.5941.
- [118] F. Li, W. Bao, X. Fu, Y. Zhang, and T. Li, “A reduction from the LWE problem to dihedral coset problem,” 2013, arXiv:1305.3769.
- [119] A. Ambainis, K. Balodis, J. Iraids, R. Ozols, and J. Smotrovs, “Parameterized quantum query complexity of graph collision,” 2013, arXiv:1305.1021.
- [120] A. M. Childs, R. Kothari, M. Ozols, and M. Roetteler, “Easy and hard functions for the Boolean hidden shift problem,” 2013, arXiv:1304.4642.
- [121] V. Bapst, G. Semerjian, and F. Zamponi, “The effect of quantum fluctuations on the coloring of random graphs,” 2013, arXiv:1302.6861.
- [122] A. Lucas, “Ising formulations of many NP problems,” 2013, arXiv:1302.5843.
- [123] C. Chamon and E. R. Mucciolo, “Rényi entropies as a measure of the complexity of counting problems,” 2013, arXiv:1302.2826.
- [124] A. Ambainis, J. Iraids, and J. Smotrovs, “Exact quantum query complexity of exact and threshold,” 2013, arXiv:1302.1235.
- [125] A. Ambainis, “Superlinear advantage for exact quantum algorithms,” 2012, arXiv:1211.0721.
- [126] F. G. S. L. Brandao and A. W. Harrow, “Quantum de Finetti theorems under local measurements with applications,” 2012, arXiv:1210.6367.
- [127] A. Belovs and A. Rosmanis, “On the power of non-adaptive learning graphs,” 2012, arXiv:1210.3279.
- [128] H. Krovi and A. Russell, “Quantum Fourier transforms and the complexity of link invariants for quantum doubles of finite groups,” 2012, arXiv:1210.1550.
- [129] V. Bapst, L. Foini, F. Krzakala, G. Semerjian, and F. Zamponi, “The quantum adiabatic algorithm applied to random optimization problems: the quantum spin glass perspective,” 2012, arXiv:1210.0811.
- [130] M. Elkin, H. Klauck, D. Nanongkai, and G. Pandurangan, “Can quantum communication speed up distributed computation?,” 2012, arXiv:1207.5211.
- [131] S. Arora, A. Bhattacharyya, R. Manokaran, and S. Sachdeva, “Testing permanent oracles – revisited,” 2012, arXiv:1207.4783.
- [132] B. Barak, F. G. S. L. Brandao, A. W. Harrow, J. A. Kelner, D. Steurer, and Y. Zhou, “Hypercontractivity, sum-of-squares proofs, and their applications,” 2012, arXiv:1205.4484.
- [133] D. Rosenbaum, “Optimal quantum circuits for nearest-neighbor architectures,” 2012, arXiv:1205.0036.
- [134] R. J. Lipton, K. W. Regan, and A. Rudra, “Simulating special but natural quantum circuits,” 2012, arXiv:1201.3306.
- [135] Y. Takahashi and S. Tani, “Collapse of the hierarchy of constant-depth exact quantum circuits,” 2011, arXiv:1112.6063.
- [136] A. Ambainis, A. Backurs, N. Nahimovs, R. Ozols, and A. Rivosh, “Search by quantum walks on two-dimensional grid without amplitude amplification,” 2011, arXiv:1112.3337.
- [137] A. A. Abbott and C. S. Calude, “Understanding the quantum computational speed-up via de-quantisation,” 2010, arXiv:1006.1419.
- [138] H. Dinh, C. Moore, and A. Russell, “Quantum Fourier sampling, code equivalence, and the quantum security of the McEliece and Sidelnikov cryptosystems,” 2011, arXiv:1111.4382.
- [139] F. L. Marquezino, R. Portugal, and F. D. Sasse, “Obtaining the quantum Fourier transform from the classical FFT with QR decomposition,” 2010, arXiv:1005.3730.
- [140] D. A. Meyer and J. Pommersheim, “Multi-query quantum sums,” 2011, arXiv:1107.1940.
- [141] A. W. Harrow and D. J. Rosenbaum, “Uselessness for an oracle model with internal randomness,” 2011, arXiv:1111.1462.
- [142] P. Beame and W. Machmouchi, “The quantum query complexity of AC<sup>0</sup>,” 2010, arXiv:1008.2422.
- [143] A. Montanaro, “Nonadaptive quantum query complexity,” 2009, arXiv:1001.0018.



- [144] D. Gavinsky, M. Roetteler, and J. Roland, “Quantum algorithm for the boolean hidden shift problem,” 2011, arXiv:1103.3017.
- [145] A. Ambainis, “New developments in quantum algorithms,” 2010, arXiv:1006.4014.
- [146] D. F. Floess, E. Andersson, and M. Hillery, “Quantum algorithms for testing boolean functions,” 2010, arXiv:1006.1423.
- [147] M. Roetteler, “Quantum algorithms to solve the hidden shift problem for quadratics and for functions of large gowers norm,” 2009, arXiv:0911.4724.
- [148] B. W. Reichardt, “Span programs and quantum query complexity: The general adversary bound is nearly tight for every boolean function,” 2009, arXiv:0904.2759.
- [149] M. Ozols, M. Roetteler, and J. Roland, “Quantum rejection sampling,” 2011, arXiv:1103.2774.
- [150] S. Aaronson and A. Drucker, “Advice coins for classical and quantum computation,” 2011, arXiv:1101.5355.
- [151] S. Gharibian and J. Kempe, “Approximation algorithms for qma-complete problems,” 2011, arXiv:1101.3884.
- [152] D. Rosenbaum, “Quantum algorithms for tree isomorphism and state symmetrization,” 2010, arXiv:1011.4138.
- [153] F. G. S. L. Brandao, M. Christandl, and J. Yard, “A quasipolynomial-time algorithm for the quantum separability problem,” 2010, arXiv:1011.2751.
- [154] V. Choi, “Different adiabatic quantum optimization algorithms for the np-complete exact cover and 3sat problems,” 2010, arXiv:1010.1221.
- [155] V. Choi, “Adiabatic quantum algorithms for the np-complete maximum-weight independent set, exact cover and 3sat problems,” 2010, arXiv:1004.2226.
- [156] B. Altshuler, H. Krovi, and J. Roland, “Anderson localization casts clouds over adiabatic quantum optimization,” 2009, arXiv:0912.0746.
- [157] E. Farhi, J. Goldstone, D. Gosset, S. Gutmann, H. B. Meyer, and P. Shor, “Quantum adiabatic algorithms, small gaps, and different paths,” 2009, arXiv:0909.4766.
- [158] B. Altshuler, H. Krovi, and J. Roland, “Adiabatic quantum optimization fails for random instances of np-complete problems,” 2009, arXiv:0908.2782.
- [159] L. M. Ioannou, “Computational complexity of the quantum separability problem,” 2006, arXiv:quant-ph/0603199.
- [160] R. Srikanth, “The quantum measurement problem and physical reality: a computation theoretic perspective,” 2006, arXiv:quant-ph/0602114.
- [161] S. Aaronson, “Np-complete problems and physical reality,” 2005, arXiv:quant-ph/0502072.
- [162] E. Farhi, J. Goldstone, and S. Gutmann, “A numerical study of the performance of a quantum adiabatic evolution algorithm for satisfiability,” 2000, arXiv:quant-ph/0007071.
- [163] V. Kalapala and C. Moore, “The phase transition in exact cover,” 2005, arXiv:cs/0508037.
- [164] W. Mao, “Solving satisfiability problems by the ground-state quantum computer,” 2005, arXiv:quant-ph/0506200.
- [165] K. Iwama, H. Nishimura, R. Raymond, and J. Teruyama, “Quantum counterfeit coin problems,” 2010, arXiv:1009.0416.
- [166] J. Morton, “Pfaffian circuits,” 2010, arXiv:1101.0129.
- [167] M. V. den Nest, “Quantum matchgate computations and linear threshold gates,” 2010, arXiv:1005.1143.
- [168] R. Jain and A. Nayak, “The space complexity of recognizing well-parenthesized expressions in the streaming model: the index function revisited,” 2010, arXiv:1004.3165.
- [169] G. Abal, R. Donangelo, F. L. Marquezino, and R. Portugal, “Spatial search in a honeycomb network,” 2010, arXiv:1001.1139.
- [170] A. Schmidt, “Quantum algorithms for many-to-one functions to solve the regulator and the principal ideal problem,” 2009, arXiv:0912.4807.
- [171] G. Kuperberg, “How hard is it to approximate the jones polynomial?,” 2009, arXiv:0908.0512.
- [172] F. Ablayev and A. Vasiliev, “Algorithms for quantum branching programs based on fingerprinting,” 2009, arXiv:0911.2317.
- [173] A. Drucker and R. de Wolf, “Quantum proofs for classical theorems,” 2009, arXiv:0910.3376.
- [174] L. Cimmino, “Shor’s algorithm from the mindset of quantum oracles,” 2009, arXiv:0910.0287.
- [175] M. Roetteler, “Quantum algorithms for highly non-linear boolean functions,” 2008, arXiv:0811.3208.
- [176] T. Tusarova, “A new sibling of bqp,” 2005, arXiv:cs/0507057.
- [177] S. Aaronson, “Multilinear formulas and skepticism of quantum computing,” 2003, arXiv:quant-ph/0311039.
- [178] D. Qiu, L. Li, P. Mateus, and A. Sernadas, “Exponentially more concise quantum recognition of non-rmm regular languages,” 2009, arXiv:0909.1428.
- [179] M. Bordewich, M. Freedman, L. Lovsz, and D. Welsh, “Approximate counting and quantum computation,” 2009, arXiv:0908.2122.
- [180] S. Jaeger, “Solving the p/np problem under intrinsic uncertainty,” 2008, arXiv:0811.0463.
- [181] M. Santha, “Quantum walk based search algorithms,” 2008, arXiv:0808.0059.
- [182] G. Abal, R. Donangelo, F. L. Marquezino, A. C. Oliveira, and R. Portugal, “Decoherence in search algorithms,” 2009, arXiv:0912.1523.
- [183] M. Lopes and N. Sarwade, “Cryptography from quantum mechanical viewpoint,” 2014, arXiv:1407.2357.
- [184] M. Uruena, P. Machnik, M. Martinez, M. Niemiec, and N. Stoianov, “Indect advanced security requirements,” 2010, arXiv:1009.2491.
- [185] S. Hosseini-Khayat and I. Marvian, “Secure communication using qubits,” 2005, arXiv:quant-ph/0503157.
- [186] C. Anghel, “Base selection and transmission synchronization algorithm in quantum cryptography,” 2009, arXiv:0909.1315.
- [187] J. J. vanBrandwijk and A. Parakh, “Asynchronous operations on qubits in distributed simulation environments using qoosim,” 2016, arXiv:1612.08609.
- [188] I. Mrquez-Corbella and R. Pellikaan, “Error-correcting pairs for a public-key cryptosystem,” 2012, arXiv:1205.3647.
- [189] A. Souto, P. Mateus, P. Ado, and N. Paunkovi, “Oblivious transfer based on quantum state computational distinguishability,” 2014, arXiv:1403.6022.
- [190] R. Amiri and E. Andersson, “Unconditionally secure quantum signatures,” 2015, arXiv:1508.01893.
- [191] S. Ying, M. Ying, and Y. Feng, “Quantum privacy-preserving data analytics,” 2017, arXiv:1702.04420.
- [192] S. Ying, M. Ying, and Y. Feng, “Quantum privacy-preserving data mining,” 2015, arXiv:1512.04009.
- [193] M. Liang, “Tripartite blind quantum computation,” 2013, arXiv:1311.6304.
- [194] L. Yang and M. Liang, “A note on quantum mceliece public-key cryptosystem,” 2012, arXiv:1212.0725.
- [195] C. Wu and L. Yang, “A complete classification of quantum public-key encryption protocols,” 2015, arXiv:1507.03765.
- [196] S. Gogioso, “Operational mermin non-locality and all-vs-nothing arguments,” 2015, arXiv:1510.03419.
- [197] H.-W. Li and L. Yang, “Quantum differential cryptanalysis to the block ciphers,” 2015, arXiv:1511.08800.
- [198] G. Brands, C. B. Roellgen, and K. U. Vogel, “Qrke: Extensions,” 2015, arXiv:1511.09199.
- [199] T. Laarhoven, “Sieving for closest lattice vectors (with preprocessing),” 2016, arXiv:1607.04789.
- [200] S. Ben-David and O. Sattath, “Quantum tokens for digital signatures,” 2016, arXiv:1609.09047.
- [201] H.-L. Huang, Y.-W. Zhao, T. Li, F.-G. Li, Y.-T. Du, X.-Q. Fu, S. Zhang, X. Wang, and W.-S. Bao, “Homomorphic encryption experiments on ibm’s cloud quantum computing platform,” 2016, arXiv:1612.02886.
- [202] M. Milicevic, C. Feng, L. M. Zhang, and P. G. Gulak, “Key reconciliation with low-density parity-check codes for long-distance quantum cryptography,” 2017, arXiv:1702.07740.
- [203] G. Kachigar and J.-P. Tillich, “Quantum information set decoding algorithms,” 2017, arXiv:1703.00263.
- [204] R. Jain, “Towards a classical proof of exponential lower bound for 2-probe smooth codes,” 2006, arXiv:cs/0607042.
- [205] G. Alagic, S. Jeffery, and S. P. Jordan, “Partial-indistinguishability obfuscation using braids,” 2012, arXiv:1212.6458.
- [206] T. Laarhoven, M. Mosca, and J. van de Pol, “Solving the shortest vector problem in lattices faster using quantum search,” 2013, arXiv:1301.6176.

- [207] L. Yang and H.-W. Li, "Investigating the linear structure of boolean functions based on simon's period-finding quantum algorithm," 2013, arXiv:1306.2008.
- [208] A. M. Childs and G. Ivanyos, "Quantum computation of discrete logarithms in semigroups," 2013, arXiv:1310.6238.
- [209] F. Song, "A note on quantum security for post-quantum cryptography," 2014, arXiv:1409.2187.
- [210] C. Xiang, L. Yang, Y. Peng, and D. Chen, "The classification of quantum symmetric-key encryption protocols," 2015, arXiv:1501.04896.
- [211] J. F. Fitzsimons, "Private quantum computation: An introduction to blind quantum computing and related protocols," 2016, arXiv:1611.10107.
- [212] N. Srinivasan, C. Sanjeevakumar, L. Sudarsan, M. K. Rajan, and R. Venkatesh, "Towards a group theoretic quantum encryption scheme based on generalized hidden subgroup problem," 2005, arXiv:cs/0504009.
- [213] I. Mrquez-Corbella and R. Pellikaan, "Error-correcting pairs for a public-key cryptosystem," 2012, arXiv:1205.3647.
- [214] O. Hirota, "Towards quantum enigma cipher," 2015, arXiv:1510.05209.
- [215] M. Kaplan, "Quantum attacks against iterated block ciphers," 2014, arXiv:1410.1434.
- [216] O. K. J. Mohammad, S. Abbas, E.-S. M. El-Horbaty, and A.-B. M. Salem, "Innovative method for enhancing key generation and management in the aes-algorithm," 2015, arXiv:1504.03406.
- [217] M. Kaplan, G. Leurent, A. Leverrier, and M. Naya-Plasencia, "Quantum differential and linear cryptanalysis," 2015, arXiv:1510.05836.
- [218] G. Brands, C. B. Roellgen, and K. U. Vogel, "Qrke: Quantum-resistant public key exchange," 2015, arXiv:1510.07456.
- [219] S. Puchinger, S. Melich, K. Ishak, and M. Bossert, "Code-based cryptosystems using generalized concatenated codes," 2015, arXiv:1511.08413.
- [220] G. Brands, C. B. Roellgen, and K. U. Vogel, "Qrke: Extensions," 2015, arXiv:1511.09199.
- [221] M. Kaplan, G. Leurent, A. Leverrier, and M. Naya-Plasencia, "Breaking symmetric cryptosystems using quantum period finding," 2016, arXiv:1602.05973.
- [222] G. Brands, C. B. Roellgen, and K. U. Vogel, "Qrke: Resistance to attacks using the inverse of the cosine representation of chebyshev polynomials," 2016, arXiv:1601.07416.
- [223] R. Dridi and H. Alghassi, "Prime factorization using quantum annealing and computational algebraic geometry," 2016, arXiv:1604.05796.
- [224] X. Fu, W. Bao, J. Shi, and X. Wang, "t-multiple discrete logarithm problem and solving difficulty," 2016, arXiv:1605.04870.
- [225] J. Gryak and D. Kahrobaei, "The status of polycyclic group-based cryptography: A survey and open problems," 2016, arXiv:1607.05819.
- [226] J. Chaulet and N. Sendrier, "Worst case qc-mdpc decoder for mciece cryptosystem," 2016, arXiv:1608.06080.
- [227] M. Eker and J. Hstad, "Quantum algorithms for computing short discrete logarithms and factoring rsa integers," 2017, arXiv:1702.00249.
- [228] P. Hecht, "Post-quantum cryptography(pqc): Generalized el-gamal cipher over  $gf(251^8)$ ," 2017, arXiv:1702.03587.
- [229] P. Hecht, "Post-quantum cryptography: S381 cyclic subgroup of high order," 2017, arXiv:1704.07238.
- [230] T. Santoli and C. Schaffner, "Using simon's algorithm to attack symmetric-key cryptographic primitives," 2016, arXiv:1603.07856.
- [231] S. Kunz-Jacques and P. Jouguet, "Using hash-based signatures to bootstrap quantum key distribution," 2011, arXiv:1109.2844.
- [232] O. K. Jasim, S. Abbas, E.-S. M. Horbaty, and A.-B. M. Salem, "Evolution of an emerging symmetric quantum cryptographic algorithm," 2015, arXiv:1503.04796.
- [233] H. fei Zhang, J. Wang, K. Cui, C. li Luo, S. zhao Lin, L. Zhou, H. Liang, T. yun Chen, K. Chen, and J. wei Pan, "A real-time qkd system based on fpga," 2013, arXiv:1301.2383.
- [234] K. Cui, J. Wang, H. fei Zhang, C. li Luo, G. Jin, and T. yun Chen, "A real-time design based on fpga for expeditious error reconciliation in qkd system," 2013, arXiv:1301.2013.
- [235] A. Mink and A. Nakassis, "Ldpc for qkd reconciliation," 2012, arXiv:1205.4977.
- [236] M. Liang, "Quantum fully homomorphic encryption scheme based on universal quantum circuit," 2014, arXiv:1410.2435.
- [237] F. Armknecht, T. Gagliardoni, S. Katzenbeisser, and A. Peter, "General impossibility of group homomorphic encryption in the quantum world," 2014, arXiv:1401.2417.
- [238] O. Hirota, "Towards quantum enigma cipher ii-a protocol based on quantum illumination-," 2015, arXiv:1511.02338.
- [239] R. Rastaghi, "New approach for cca2-secure post-quantum cryptosystem using knapsack problem," 2012, arXiv:1211.6984.
- [240] X. Fu, W. Bao, J. Shi, F. Li, and Y. Zhang, "Parameter security characterization of knapsack public-key crypto under quantum computing," 2014, arXiv:1402.7032.
- [241] N. Ghoshal and J. K. Mandal, "Image authentication technique in frequency domain based on discrete fourier transformation (iatfddft)," 2012, arXiv:1212.3371.
- [242] F. P. Biasi, P. S. L. M. Barreto, R. Misoczki, and W. V. Ruggero, "Scaling efficient code-based cryptosystems for embedded platforms," 2012, arXiv:1212.4317.
- [243] X.-G. Zhang, Y.-Q. Nie, H. Zhou, H. Liang, X. Ma, J. Zhang, and J.-W. Pan, "Fully integrated 3.2 gbps quantum random number generator with real-time extraction," 2016, arXiv:1606.09344.
- [244] O. K. Jasim, S. Abbas, E.-S. M. El-Horbaty, and A.-B. M. Salem, "A new trend of pseudo random number generation using qkd," 2014, arXiv:1411.2469.
- [245] B. Zeng, X. Tang, and C. Hsu, "A framework for fully-simulatable  $h$ -out-of- $n$  oblivious transfer," 2010, arXiv:1005.0043.
- [246] M. Lopes and N. Sarwade, "Cryptography from quantum mechanical viewpoint," 2014, arXiv:1407.2357.
- [247] D. Hollenbeck and I. Malloy, "Your computer is leaking," 2016, arXiv:1609.09157.
- [248] S. Ying, M. Ying, and Y. Feng, "Quantum privacy-preserving perceptron," 2017, arXiv:1707.09893.
- [249] P. W. Shor, "Introduction to quantum algorithms," 2000, arXiv:quant-ph/0005003.
- [250] I. Chuang, R. Laflamme, P. Shor, and W. Zurek, "Quantum computers, factoring, and decoherence," 1995, arXiv:quant-ph/9503007.
- [251] P. W. Shor, "Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer," 1995, arXiv:quant-ph/9508027.
- [252] Z. Cao, Z. Cao, and L. Liu, "Remarks on quantum modular exponentiation and some experimental demonstrations of shor's algorithm," 2014, arXiv:1408.6252.
- [253] Z. Cao and Z. Cao, "On shor's factoring algorithm with more registers and the problem to certify quantum computers," 2014, arXiv:1409.7352.
- [254] R. Tanburn, O. Lunt, and N. S. Dattani, "Crushing runtimes in adiabatic quantum computation with energy landscape manipulation (elm): Application to quantum factoring," 2015, arXiv:1510.07420.
- [255] M. Feldmann, "Polynomial time factoring algorithm using bayesian arithmetic," 2012, arXiv:1212.4969.
- [256] A. S. Fletcher, P. W. Shor, and M. Z. Win, "Optimum quantum error recovery using semidefinite programming," 2006, arXiv:quant-ph/0606035.
- [257] A. S. Fletcher, P. W. Shor, and M. Z. Win, "Structured near-optimal channel-adapted quantum error correction," 2007, arXiv:0708.3658.
- [258] R. Lang and P. W. Shor, "Nonadditive quantum error correcting codes adapted to the amplitude damping channel," 2007, arXiv:0712.2586.
- [259] M. Houshmand, S. Hosseini-Khayat, and M. M. Wilde, "Minimal memory requirements for pearl-necklace encoders of quantum convolutional codes," 2010, arXiv:1004.5179.
- [260] M. Houshmand and S. Hosseini-Khayat, "Minimal-memory realization of pearl-necklace encoders of general quantum convolutional codes," 2010, arXiv:1009.2242.
- [261] L. K. Grover, "A fast quantum mechanical algorithm for database search," 1996, arXiv:quant-ph/9605043.
- [262] L. K. Grover, "Quantum computers can search rapidly by using almost any transformation," 1997, arXiv:quant-ph/9712011.
- [263] L. K. Grover, "Searching with quantum computers," 2000, arXiv:quant-ph/0011118.
- [264] E. Borbely, "Grover search algorithm," 2007, arXiv:0705.4171.

- [265] J. M. Chappell, M. A. Lohe, L. von Smekal, A. Iqbal, and D. Abbot, "An improved formalism for the grover search algorithm," 2012, arXiv:1201.1707.
- [266] S. Chakraborty and S. Adhikari, "Non-classical correlations in the quantum search algorithm," 2013, arXiv:1302.6005.
- [267] S. Chakraborty, S. Banerjee, S. Adhikari, and A. Kumar, "Entanglement in the grover's search algorithm," 2013, arXiv:1305.4454.
- [268] L. Tarrataca and A. Wichert, "Can quantum entanglement detection schemes improve search?," 2015, arXiv:1502.01959.
- [269] S. Arunachalam and R. de Wolf, "Optimizing the number of gates in quantum search," 2015, arXiv:1512.07550.
- [270] L. K. Grover, "How fast can a quantum computer search?," 1998, arXiv:quant-ph/9809029.
- [271] L. K. Grover, "Quantum computers can search arbitrarily large databases by a single query," 1997, arXiv:quant-ph/9706005.
- [272] L. K. Grover, "Quantum mechanics helps in searching for a needle in a haystack," 1997, arXiv:quant-ph/9706033.
- [273] L. K. Grover, "Quantum search on structured problems," 1998, arXiv:quant-ph/9802035.
- [274] L. Grover and T. Rudolph, "How significant are the known collision and element distinctness quantum algorithms?," 2003, arXiv:quant-ph/0309123.
- [275] N. J. Cerf, L. K. Grover, and C. P. Williams, "Nested quantum search and np-complete problems," 1998, arXiv:quant-ph/9806078.
- [276] L. Tarrataca and A. Wichert, "Tree search and quantum computation," 2015, arXiv:1502.01951.
- [277] L. K. Grover, "Rapid sampling through quantum computing," 1999, arXiv:quant-ph/9912001.
- [278] L. K. Grover, "Tradeoffs in the quantum search algorithm," 2002, arXiv:quant-ph/0201152.
- [279] L. K. Grover and J. Radhakrishnan, "Is partial quantum search of a database any easier?," 2004, arXiv:quant-ph/0407122.
- [280] L. K. Grover and J. Radhakrishnan, "Quantum search for multiple items using parallel queries," 2004, arXiv:quant-ph/0407217.
- [281] V. E. Korepin and L. K. Grover, "Simple algorithm for partial quantum search," 2005, arXiv:quant-ph/0504157.
- [282] V. Korepin, "Optimization of partial search," 2005, arXiv:quant-ph/0503238.
- [283] V. E. Korepin and B. C. Vallilo, "Group theoretical formulation of quantum partial search algorithm," 2006, arXiv:quant-ph/0609205.
- [284] L. K. Grover, "An improved quantum scheduling algorithm," 2002, arXiv:quant-ph/0202033.
- [285] T. Rudolph, Dr., and L. Grover, "Quantum searching a classical database (or how we learned to stop worrying and love the bomb)," 2002, arXiv:quant-ph/0206066.
- [286] L. K. Grover, "A different kind of quantum search," 2005, arXiv:quant-ph/0503205.
- [287] D. Dhar, L. K. Grover, and S. M. Roy, "Preserving quantum states : A super-zeno effect," 2005, arXiv:quant-ph/0504070.
- [288] T. Tulsi, L. Grover, and A. Patel, "A new algorithm for fixed point quantum search," 2005, arXiv:quant-ph/0505007.
- [289] L. K. Grover, A. Patel, and T. Tulsi, "Quantum algorithms with fixed points: The case of database search," 2006, arXiv:quant-ph/0603132.
- [290] L. K. Grover, "Quantum searching amidst uncertainty," 2005, arXiv:quant-ph/0507116.
- [291] L. K. Grover, "Superlinear amplitude amplification," 2008, arXiv:0806.0154.
- [292] C. Durr and P. Hoyer, "A quantum algorithm for finding the minimum," 1996, arXiv:quant-ph/9607014.
- [293] N. Kumar and D. Goswami, "Quantum algorithm to solve a maze: Converting the maze problem into a search problem," 2013, arXiv:1312.4116.
- [294] D. Kumar and P. Srivastava, "Approaching unstructured search from function bilateral symmetry detection - a quantum algorithm," 2015, arXiv:1505.01116.
- [295] I. Chakraborty, S. Khan, and V. Singh, "Dynamic grover search: Applications in recommendation systems and optimization problems," 2015, arXiv:1505.00895.
- [296] L. K. Grover, "A framework for fast quantum mechanical algorithms," 1997, arXiv:quant-ph/9711043.
- [297] L. K. Grover, "From schrödinger's equation to the quantum search algorithm," 2001, arXiv:quant-ph/0109116.
- [298] L. K. Grover and A. Sengupta, "From coupled pendulums to quantum search," 2001, arXiv:quant-ph/0109123.
- [299] D. Nagaj, E. Farhi, J. Goldstone, P. Shor, and I. Sylvester, "The quantum transverse field ising model on an infinite tree from matrix product states," 2007, arXiv:0712.1806.
- [300] M. Wodarczyk, "Clifford algebras meet tree decompositions," 2016, arXiv:1609.07134.
- [301] E. Farhi, J. Goldstone, D. Gosset, S. Gutmann, H. B. Meyer, and P. Shor, "Quantum adiabatic algorithms, small gaps, and different paths," 2009, arXiv:0909.4766.
- [302] E. Farhi, J. Goldstone, D. Gosset, S. Gutmann, and P. Shor, "Unstructured randomness, small gaps and localization," 2010, arXiv:1010.0009.
- [303] E. Farhi, D. Gosset, I. Hen, A. W. Sandvik, P. Shor, A. P. Young, and F. Zamponi, "The performance of the quantum adiabatic algorithm on random instances of two optimization problems on regular hypergraphs," 2012, arXiv:1208.3757.
- [304] E. Crosson, E. Farhi, C. Y.-Y. Lin, H.-H. Lin, and P. Shor, "Different strategies for optimization using the quantum adiabatic algorithm," 2014, arXiv:1401.7320.
- [305] Y.-Y. Zhang and S.-F. Lu, "Quantum search by partial adiabatic evolution," 2010, arXiv:1007.1528.
- [306] F. Gaitan and L. Clark, "Graph isomorphism and adiabatic quantum computing," 2013, arXiv:1304.5773.
- [307] A. de la Fuente Ruiz, "Quantum annealing," 2014, arXiv:1404.2465.
- [308] T. Boothby, A. D. King, and A. Roy, "Fast clique minor generation in chimera qubit connectivity graphs," 2015, arXiv:1507.04774.
- [309] R. Tanburn, E. Okada, and N. Dattani, "Reducing multi-qubit interactions in adiabatic quantum computation without adding auxiliary qubits. part 1: The "deduc-reduc" method and its application to quantum factorization of numbers," 2015, arXiv:1508.04816.
- [310] R. Tanburn, O. Lunt, and N. S. Dattani, "Crushing runtimes in adiabatic quantum computation with energy landscape manipulation (elm): Application to quantum factoring," 2015, arXiv:1510.07420.
- [311] E. Crosson and A. W. Harrow, "Simulated quantum annealing can be exponentially faster than classical simulated annealing," 2016, arXiv:1601.03030.
- [312] B. Baran and M. Villagra, "Multiobjective optimization in a quantum adiabatic computer," 2016, arXiv:1605.03152.
- [313] E. L. Altschuler and T. J. Williams, "A practical efficient and effective method for the hamiltonian cycle problem that runs on a standard computer," 2017, arXiv:1701.03136.
- [314] T. D. Goodrich, T. S. Humble, and B. D. Sullivan, "Optimizing adiabatic quantum program compilation using a graph-theoretic framework," 2017, arXiv:1704.01996.
- [315] M. Jarret and B. Lackey, "Substochastic monte carlo algorithms," 2017, arXiv:1704.09014.
- [316] A. Gilyon and O. Sattath, "On preparing ground states of gapped hamiltonians: An efficient quantum Lovász local lemma," 2016, arXiv:1611.08571.
- [317] M. D. Coury, "Embedding graphs into the extended grid," 2007, arXiv:cs/0703001.
- [318] H. Dinh and A. Russell, "Quantum and randomized lower bounds for local search on vertex-transitive graphs," 2008, arXiv:0806.3437.
- [319] W.-L. Chang, T.-T. Ren, M. Feng, J. Luo, K. W. Lin, M. Guo, and L. C. Lu, "Quantum algorithms of bio-molecular solutions for the clique problem on a quantum computer," 2009, arXiv:0905.2028.
- [320] T. Lee, F. Magniez, and M. Santha, "A learning graph based quantum query algorithm for finding constant-size subgraphs," 2011, arXiv:1109.5135.
- [321] J. Cai, W. G. Macready, and A. Roy, "A practical heuristic for finding graph minors," 2014, arXiv:1406.2741.
- [322] A. Nayebi and V. V. Williams, "Quantum algorithms for shortest paths problems in structured instances," 2014, arXiv:1410.6220.
- [323] T. Boothby, A. D. King, and A. Roy, "Fast clique minor generation in chimera qubit connectivity graphs," 2015, arXiv:1507.04774.

- [324] L. Zhao, C. A. Prez-Delgado, and J. F. Fitzsimons, “Fast graph operations in quantum computation,” 2015, arXiv:1510.03742.
- [325] S. Mandr, G. G. Guerreschi, and A. Aspuru-Guzik, “Faster than classical quantum algorithm for dense formulas of exact satisfiability and occupation problems,” 2015, arXiv:1512.00859.
- [326] M. von Loos, M. Wolter, C. R. Jacob, and H. Meyerhenke, “Better partitions of protein graphs for subsystem quantum chemistry,” 2016, arXiv:1606.03427.
- [327] C. Cade, A. Montanaro, and A. Belovs, “Time and space efficient quantum algorithms for detecting cycles and testing bipartiteness,” 2016, arXiv:1610.00581.
- [328] V. Bhattiprolu, M. Ghosh, V. Guruswami, E. Lee, and M. Tulsiani, “Weak decoupling, polynomial folds, and approximate optimization over the sphere,” 2016, arXiv:1611.05998.
- [329] D. J. Moylett, N. Linden, and A. Montanaro, “Quantum speedup of the travelling salesman problem for bounded-degree graphs,” 2016, arXiv:1612.06203.
- [330] E. Farhi, D. Gosset, A. Hassidim, A. Lutomirski, D. Nagaj, and P. Shor, “Quantum state restoration and single-copy tomography,” 2009, arXiv:0912.3823.
- [331] R. O’Donnell and J. Wright, “Efficient quantum tomography,” 2015, arXiv:1508.01907.
- [332] R. O’Donnell and J. Wright, “Efficient quantum tomography ii,” 2016, arXiv:1612.00034.
- [333] L. Eldar and P. W. Shor, “An efficient quantum algorithm for a variant of the closest lattice-vector problem,” 2016, arXiv:1611.06999.
- [334] O. Regev, “Quantum computation and lattice problems,” 2003, arXiv:cs/0304005.
- [335] L. Eldar and P. Shor, “A discrete fourier transform on lattices with quantum applications,” 2017, arXiv:1703.02515.
- [336] K. K. H. Cheung and M. Mosca, “Decomposing finite abelian groups,” 2001, arXiv:cs/0101004.
- [337] Y. Inui and F. L. Gall, “Efficient quantum algorithms for the hidden subgroup problem over a class of semi-direct product groups,” 2004, arXiv:quant-ph/0412033.
- [338] Y. Inui and F. L. Gall, “Quantum property testing of group solvability,” 2007, arXiv:0712.3829.
- [339] F. L. Gall, “An efficient quantum algorithm for some instances of the group isomorphism problem,” 2010, arXiv:1001.0608.
- [340] D. Rosenbaum, “Breaking the  $n(\log n)$  barrier for solvable-group isomorphism,” 2012, arXiv:1205.0642.
- [341] F. Gaitan and L. Clark, “Graph isomorphism and adiabatic quantum computing,” 2013, arXiv:1304.5773.
- [342] K. C. Zatloukal, “Classical and quantum algorithms for testing equivalence of group extensions,” 2013, arXiv:1305.1327.
- [343] C. Lomont, “A quantum fourier transform algorithm,” 2004, arXiv:quant-ph/0404060.
- [344] J. Aspnes, “Fast deterministic consensus in a noisy environment,” 2002, arXiv:cs/0206012.
- [345] F. L. Gall, “A time-efficient output-sensitive quantum algorithm for boolean matrix multiplication,” 2012, arXiv:1201.6174.
- [346] N. Bock and M. Challacombe, “An optimized sparse approximate matrix multiply for matrices with decay,” 2012, arXiv:1203.1692.
- [347] A. Belovs, “Span-program-based quantum algorithm for the rank problem,” 2011, arXiv:1103.0842.
- [348] K. Temme and P. Wocjan, “Efficient computation of the permanent of block factorizable matrices,” 2012, arXiv:1208.6589.
- [349] F. L. Gall and H. Nishimura, “Quantum algorithms for matrix products over semirings,” 2013, arXiv:1310.3898.
- [350] A. Daskin, “Quantum eigenvalue estimation for irreducible non-negative matrices,” 2015, arXiv:1505.02984.
- [351] M. Ben-Or and L. Eldar, “A quasi-random approach to matrix spectral analysis,” 2015, arXiv:1505.08126.
- [352] I. Kerenidis and A. Prakash, “Quantum recommendation systems,” 2016, arXiv:1603.08675.
- [353] I. Han, D. Malioutov, H. Avron, and J. Shin, “Approximating the spectral sums of large-scale matrices using chebyshev approximations,” 2016, arXiv:1606.00942.
- [354] D. Park, A. Kyrillidis, S. Bhojanapalli, C. Caramanis, and S. Sanghavi, “Provable burer-monteiro factorization for a class of norm-constrained matrix problems,” 2016, arXiv:1606.01316.
- [355] L. E. Celis, A. Deshpande, T. Kathuria, D. Straszak, and N. K. Vishnoi, “On the complexity of constrained determinantal point processes,” 2016, arXiv:1608.00554.
- [356] B. Barak, P. Kothari, and D. Steurer, “Quantum entanglement, sum of squares, and the log rank conjecture,” 2017, arXiv:1701.06321.
- [357] A. Daskin, “Quantum spectral clustering through a biased phase estimation algorithm,” 2017, arXiv:1703.05568.
- [358] C.-Y. Pang, Z.-W. Zhou, and G.-C. Guo, “A hybrid quantum encoding algorithm of vector quantization for image compression,” 2006, arXiv:cs/0605002.
- [359] A. SaiToh, “Quantum digital-to-analog conversion algorithm using decoherence,” 2014, arXiv:1409.0088.
- [360] M. von Loos, M. Wolter, C. R. Jacob, and H. Meyerhenke, “Better partitions of protein graphs for subsystem quantum chemistry,” 2016, arXiv:1606.03427.
- [361] L. M. Ioannou, “Computing finite-dimensional bipartite quantum separability,” 2005, arXiv:cs/0504110.
- [362] G. Brassard, F. Dupuis, S. Gambs, and A. Tapp, “An optimal quantum algorithm to approximate the mean and its application for approximating the median of a set of points over an arbitrary distance,” 2011, arXiv:1106.4267.
- [363] W.-L. Chang, M. Feng, K. W. Lin, C.-C. Wang, and J.-C. Chen, “Quantum algorithms of solving the backtracking of one-dimensional cellular automata,” 2011, arXiv:1109.2998.
- [364] I. Arad and O. Sattath, “A constructive quantum lovsz local lemma for commuting projectors,” 2013, arXiv:1310.7766.
- [365] G. Wang, “Quantum algorithm for linear regression,” 2014, arXiv:1402.0660.
- [366] A. Montanaro, “Quantum pattern matching fast on average,” 2014, arXiv:1408.1816.
- [367] H.-W. Li and L. Yang, “A quantum algorithm for approximating the influences of boolean functions and its applications,” 2014, arXiv:1409.1416.
- [368] A. Nayebi and V. V. Williams, “Quantum algorithms for shortest paths problems in structured instances,” 2014, arXiv:1410.6220.
- [369] N. Anand and C. Benjamin, “Do quantum strategies always win?,” 2014, arXiv:1412.7399.
- [370] A. W. Harrow, “Review of quantum algorithms for systems of linear equations,” 2014, arXiv:1501.00008.
- [371] V. Dunjko and H. J. Briegel, “Quantum mixing of markov chains for special distributions,” 2015, arXiv:1502.05511.
- [372] G. Ivanyos, M. Karpinski, M. Santha, N. Saxena, and I. Shparlinski, “Polynomial interpolation and identity testing from high powers over finite fields,” 2015, arXiv:1502.06631.
- [373] A. Belovs and E. Blais, “Quantum algorithm for monotonicity testing on the hypercube,” 2015, arXiv:1503.02868.
- [374] S. Tani, “A fast exact quantum algorithm for solitude verification,” 2016, arXiv:1612.05317.
- [375] P. Clifford and R. Clifford, “The classical complexity of boson sampling,” 2017, arXiv:1706.01260.
- [376] D. Aharonov, M. Ganz, and L. Magnin, “Dining philosophers, leader election and ring size problems, in the quantum setting,” 2017, arXiv:1707.01187.
- [377] I. S. B. Sardharwalla, S. Strelchuk, and R. Jozsa, “Quantum conditional query complexity,” 2016, arXiv:1609.01600.
- [378] A. Ambainis, J. Kempe, and A. Rivosh, “Coins make quantum walks faster,” 2004, arXiv:quant-ph/0402107.
- [379] A. Ambainis, “Quantum walks and their algorithmic applications,” 2004, arXiv:quant-ph/0403120.
- [380] A. M. Childs, S. Jeffery, R. Kothari, and F. Magniez, “A time-efficient quantum walk for 3-distinctness using nested updates,” 2013, arXiv:1302.7316.
- [381] J. Lockhart, C. D. Franco, and M. Paternostro, “Glued trees algorithm under phase damping,” 2013, arXiv:1303.5319.
- [382] G. Wang, “Efficient quantum algorithms for analyzing large sparse electrical networks,” 2013, arXiv:1311.1851.
- [383] A. Montanaro, “Quantum walk speedup of backtracking algorithms,” 2015, arXiv:1509.02374.
- [384] P. Hoyer and M. Komeili, “Efficient quantum walk on the grid with multiple marked elements,” 2016, arXiv:1612.08958.
- [385] N. Shenvi, J. Kempe, and K. B. Whaley, “A quantum random walk search algorithm,” 2002, arXiv:quant-ph/0210064.

- [386] A. Ambainis, "Quantum walk algorithm for element distinctness," 2003, arXiv:quant-ph/0311001.
- [387] M. Saeedi and I. L. Markov, "Synthesis and optimization of reversible circuits - a survey," 2011, arXiv:1110.2574.
- [388] M. Amy, D. Maslov, M. Mosca, and M. Roetteler, "A meet-in-the-middle algorithm for fast synthesis of depth-optimal quantum circuits," 2012, arXiv:1206.0758.
- [389] R. V. Meter, T. Satoh, T. D. Ladd, W. J. Munro, and K. Nemoto, "Path selection for quantum repeater networks," 2012, arXiv:1206.5655.
- [390] P. Pham and K. M. Svore, "A 2d nearest-neighbor quantum architecture for factoring in polylogarithmic depth," 2012, arXiv:1207.6655.
- [391] M. Arabzadeh, M. S. Zamani, M. Sedighi, and M. Saeedi, "Depth-optimized reversible circuit synthesis," 2012, arXiv:1208.5425.
- [392] B. Amento, M. Roetteler, and R. Steinwandt, "Quantum binary field inversion: improved circuit depth via choice of basis representation," 2012, arXiv:1209.5491.
- [393] B. Amento, R. Steinwandt, and M. Roetteler, "Efficient quantum circuits for binary elliptic curve arithmetic: reducing t-gate complexity," 2012, arXiv:1209.6348.
- [394] G. Duclos-Cianci and K. M. Svore, "A state distillation protocol to implement arbitrary single-qubit rotations," 2012, arXiv:1210.1980.
- [395] H. J. Garcia, I. L. Markov, and A. W. Cross, "Efficient inner-product algorithm for stabilizer states," 2012, arXiv:1210.6646.
- [396] V. Kliuchnikov, D. Maslov, and M. Mosca, "Practical approximation of single-qubit unitaries by single-qubit quantum clifford and t circuits," 2012, arXiv:1212.6964.
- [397] I. L. Markov and M. Saeedi, "Faster quantum number factoring via circuit synthesis," 2013, arXiv:1301.3210.
- [398] M. Amy, D. Maslov, and M. Mosca, "Polynomial-time t-depth optimization of clifford+t circuits via matroid partitioning," 2013, arXiv:1303.2042.
- [399] M. Saeedi, A. Shafaei, and M. Pedram, "Constant-factor optimization of quantum adders on 2d quantum architectures," 2013, arXiv:1304.0432.
- [400] A. S. Green, P. L. Lumsdaine, N. J. Ross, P. Selinger, and B. Valiron, "Quipper: A scalable quantum programming language," 2013, arXiv:1304.3390.
- [401] M. Saeedi and I. L. Markov, "Quantum circuits for gcd computation with  $o(n \log n)$  depth and  $o(n)$  ancillae," 2013, arXiv:1304.7516.
- [402] M. Roetteler and R. Steinwandt, "A quantum circuit to find discrete logarithms on ordinary binary elliptic curves in depth  $O(\log^2 n)$ ," 2013, arXiv:1306.1161.
- [403] M. Yazdani, M. S. Zamani, and M. Sedighi, "A quantum physical design flow using ilp and graph drawing," 2013, arXiv:1306.2037.
- [404] C.-H. Chien, R. V. Meter, and S.-Y. Kuo, "Fault-tolerant operations for universal blind quantum computation," 2013, arXiv:1306.3664.
- [405] T. D. Nguyen and R. V. Meter, "A space-efficient design for reversible floating point adder in quantum computing," 2013, arXiv:1306.3760.
- [406] L. Liu, "Extracting the trustworthiest way to service provider in complex online social networks," 2013, arXiv:1307.1681.
- [407] V. Kliuchnikov, A. Bocharov, and K. M. Svore, "Asymptotically optimal topological quantum compiling," 2013, arXiv:1310.4150.
- [408] D. Wecker and K. M. Svore, "Liqui— $\lambda$ : A software design architecture and domain-specific language for quantum computing," 2014, arXiv:1402.4467.
- [409] N. J. Ross and P. Selinger, "Optimal ancilla-free clifford+t approximation of z-rotations," 2014, arXiv:1403.2975.
- [410] A. D. King and C. C. McGeoch, "Algorithm engineering for a quantum annealing platform," 2014, arXiv:1410.2628.
- [411] J. M. Smith, N. J. Ross, P. Selinger, and B. Valiron, "Quipper: Concrete resource estimation in quantum algorithms," 2014, arXiv:1412.0625.
- [412] M. J. Dousti and M. Pedram, "Minimizing the latency of quantum circuits during mapping to the ion-trap circuit fabric," 2014, arXiv:1412.8003.
- [413] M. J. Dousti, A. Shafaei, and M. Pedram, "Squash: A scalable quantum mapper considering ancilla sharing," 2014, arXiv:1412.8004.
- [414] M. J. Dousti and M. Pedram, "Leqa: Latency estimation for a quantum algorithm mapped to a quantum circuit fabric," 2015, arXiv:1501.00742.
- [415] H. Goudarzi, M. J. Dousti, A. Shafaei, and M. Pedram, "Design of a universal logic block for fault-tolerant realization of any logic operation in trapped-ion quantum circuits," 2015, arXiv:1501.02524.
- [416] V. Kliuchnikov and J. Yard, "A framework for exact synthesis," 2015, arXiv:1504.04350.
- [417] D. V. Zakablukov, "Application of permutation group theory in reversible logic synthesis," 2015, arXiv:1507.04309.
- [418] G. Rosenberg, M. Vazifeh, B. Woods, and E. Haber, "Building an iterative heuristic solver for a quantum annealer," 2015, arXiv:1507.07605.
- [419] N. K. Misra, M. K. Kushwaha, S. Wairya, and A. Kumar, "Feasible methodology for optimization of a novel reversible binary compressor," 2015, arXiv:1509.04240.
- [420] V. Kliuchnikov, A. Bocharov, M. Roetteler, and J. Yard, "A framework for approximating qubit unitaries," 2015, arXiv:1510.03888.
- [421] M. Grassl, B. Langenberg, M. Roetteler, and R. Steinwandt, "Applying grover's algorithm to aes: quantum resource estimates," 2015, arXiv:1512.04965.
- [422] M. J. Dousti, A. Shafaei, and M. Pedram, "Squash 2: A hierarchical scalable quantum mapper considering ancilla sharing," 2015, arXiv:1512.07402.
- [423] J. L. Ulrich, "Posner computing: a quantum neural network model," 2016, arXiv:1601.07137.
- [424] M. Amy, M. Roetteler, and K. Svore, "Verified compilation of space-efficient reversible circuits," 2016, arXiv:1603.01635.
- [425] D. Maslov, "Basic circuit compilation techniques for an ion-trap quantum machine," 2016, arXiv:1603.07678.
- [426] M. Sarvaghad-Moghaddam, "Multi-objective design of quantum circuits using genetic programming," 2016, arXiv:1604.00642.
- [427] T. Hner, D. S. Steiger, K. Svore, and M. Troyer, "A software methodology for compiling quantum programs," 2016, arXiv:1604.01401.
- [428] E. Nikahd, M. Houshmand, M. S. Zamani, and M. Sedighi, "One-way quantum computer simulation," 2015, arXiv:1604.05659.
- [429] A. Bocharov, M. Roetteler, and K. M. Svore, "Factoring with qutrits: Shor's algorithm on ternary and metaplectic quantum architectures," 2016, arXiv:1605.02756.
- [430] A. Chattopadhyay and S. M. K. Hossain, "Ancilla-free reversible logic synthesis via sorting," 2016, arXiv:1605.05989.
- [431] J. HV, H. Thapliyal, H. R. Arabia, and V. K. Agrawal, "Ancilla-input and garbage-output optimized design of a reversible quantum integer multiplier," 2016, arXiv:1608.01228.
- [432] M. Roetteler, "Quantum algorithms for abelian difference sets and applications to dihedral hidden subgroups," 2016, arXiv:1608.02005.
- [433] R. S. Smith, M. J. Curtis, and W. J. Zeng, "A practical quantum instruction set architecture," 2016, arXiv:1608.03355.
- [434] T. Hner, M. Roetteler, and K. M. Svore, "Factoring using  $2n+2$  qubits with toffoli based modular multiplication," 2016, arXiv:1611.07995.
- [435] M. Soeken, M. Roetteler, N. Wiebe, and G. D. Micheli, "Design automation and design space exploration for quantum computers," 2016, arXiv:1612.00631.
- [436] D. S. Steiger, T. Hner, and M. Troyer, "Projectq: An open source software framework for quantum computing," 2016, arXiv:1612.08091.
- [437] N. M. Linke, D. Maslov, M. Roetteler, S. Debnath, C. Figgatt, K. A. Landsman, K. Wright, and C. Monroe, "Experimental comparison of two quantum computing architectures," 2017, arXiv:1702.01852.
- [438] C. Figgatt, D. Maslov, K. A. Landsman, N. M. Linke, S. Debnath, and C. Monroe, "Complete 3-qubit grover search on a programmable quantum computer," 2017, arXiv:1703.10535.
- [439] J. E. Dorband, "Improving the accuracy of an adiabatic quantum computer," 2017, arXiv:1705.01942.

- [440] D. Venturelli, M. Do, E. Rieffel, and J. Frank, "Compiling quantum circuits to realistic hardware architectures using temporal planners," 2017, arXiv:1705.08927.
- [441] S. Karimi and P. Ronagh, "Practical integer-to-binary mapping for quantum annealers," 2017, arXiv:1706.01945.
- [442] M. Soeken, M. Roetteler, N. Wiebe, and G. D. Micheli, "Logic synthesis for quantum computing," 2017, arXiv:1706.02721.
- [443] A. Parent, M. Roetteler, and M. Mosca, "Improved reversible and quantum circuits for karatsuba-based integer multiplication," 2017, arXiv:1706.03419.
- [444] E. Muoz-Coreas and H. Thapliyal, "Design of quantum circuits for galois field squaring and exponentiation," 2017, arXiv:1706.05114.
- [445] M. Roetteler, M. Naehrig, K. M. Svore, and K. Lauter, "Quantum resource estimates for computing elliptic curve discrete logarithms," 2017, arXiv:1706.06752.
- [446] D. Maslov and Y. Nam, "Use of global interactions in efficient quantum circuit constructions," 2017, arXiv:1707.06356.
- [447] J. R. Burger, "Note on needle in a haystack," 2003, arXiv:cs/0308043.
- [448] G. F. Viamontes, I. L. Markov, and J. P. Hayes, "Checking equivalence of quantum circuits and states," 2007, arXiv:0705.0017.
- [449] S. Yamashita and I. L. Markov, "Fast equivalence-checking for quantum circuits," 2009, arXiv:0909.4119.
- [450] H. J. Garcia and I. L. Markov, "High-performance energy minimization with applications to adiabatic quantum computing," 2009, arXiv:0912.3912.
- [451] M. Arabzadeh, M. Saeedi, and M. S. Zamani, "Rule-based optimization of reversible circuits," 2010, arXiv:1004.1755.
- [452] M. Saeedi, M. S. Zamani, M. Sedighi, and Z. Sasanian, "Reversible circuit synthesis using a cycle-based approach," 2010, arXiv:1004.4320.
- [453] O. Golubitsky and D. Maslov, "A study of optimal 4-bit reversible toffoli circuits and their synthesis," 2011, arXiv:1103.2686.
- [454] P. Heus and R. Gomez, "Qis-xml: An extensible markup language for quantum information science," 2011, arXiv:1106.2684.
- [455] A. A. Abbott, M. B. Bechmann, C. S. Calude, and A. Sebald, "A nuclear magnetic resonance implementation of a classical deutsch-jozsa algorithm," 2011, arXiv:1110.0177.
- [456] Y. Elias, T. Mor, and Y. Weinstein, "Semi-optimal practicable algorithmic cooling," 2011, arXiv:1110.5892.
- [457] A. Chakrabarti, S. Sur-Kolay, and A. Chaudhury, "Linear nearest neighbor synthesis of reversible circuits by graph partitioning," 2011, arXiv:1112.0564.
- [458] I. L. Markov and M. Saeedi, "Constant-optimized quantum circuits for modular multiplication and exponentiation," 2012, arXiv:1202.6614.
- [459] A. S. Tolba, M. Z. Rashad, and M. A. El-Dosuky, "Q#, a quantum computation package for the .net platform," 2013, arXiv:1302.5133.
- [460] M. M. Rahman and G. W. Dueck, "Synthesis of linear nearest neighbor quantum circuits," 2015, arXiv:1508.05430.
- [461] D. Pavlovic, "Geometry of abstraction in quantum computation," 2010, arXiv:1006.1010.
- [462] T. D. Kieu, "Quantum algorithm for hilbert's tenth problem," 2001, arXiv:quant-ph/0110136.
- [463] T. D. Kieu, "Computing the noncomputable," 2002, arXiv:quant-ph/0203034.
- [464] A. Sicard, J. Ospina, and M. Vlez, "Numerical simulations of a possible hypercomputational quantum algorithm," 2005, arXiv:quant-ph/0504021.
- [465] Y. I. Manin, "Renormalization and computation ii: Time cut-off and the halting problem," 2009, arXiv:0908.3430.
- [466] R. Srinivasan and H. P. Raghunandan, "On the existence of truly autonomic computing systems and the link with quantum computing," 2004, arXiv:cs/0411094.
- [467] A. Sicard, M. Vlez, and J. Ospina, "A possible hypercomputational quantum algorithm," 2004, arXiv:quant-ph/0406137.
- [468] B. Long, "Quanta: a language for modeling and manipulating information structures," 2003, arXiv:cs/0306038.
- [469] A. van Tonder, "A lambda calculus for quantum computation," 2003, arXiv:quant-ph/0307150.
- [470] P. Selinger and B. Valiron, "A lambda calculus for quantum computation with classical control," 2004, arXiv:cs/0404056.
- [471] M. Ying, N. Yu, and Y. Feng, "Alternation in quantum programming: From superposition of data to superposition of programs," 2014, arXiv:1402.5172.
- [472] G. Yang, W. N. N. Hung, X. Song, and M. Perkowski, "Exact synthesis of 3-qubit quantum circuits from non-binary quantum gates using multiple-valued logic and group theory," 2007, arXiv:0710.4694.
- [473] S. Perdrix, "Quantum entanglement analysis based on abstract interpretation," 2008, arXiv:0801.4230.
- [474] Y. Li, N. Yu, and M. Ying, "Termination of nondeterministic quantum programs," 2012, arXiv:1201.0891.
- [475] Y. Feng, Y. Deng, and M. Ying, "Symbolic bisimulation for quantum processes," 2012, arXiv:1202.3484.
- [476] Y. Feng, N. Yu, and M. Ying, "Model checking quantum markov chains," 2012, arXiv:1205.2187.
- [477] M. Schul, I. Sinayskiy, and F. Petruccione, "Simulating a perceptron on a quantum computer," 2014, arXiv:1412.3635.
- [478] P. Rajagopal, "The basic kak neural network with complex inputs," 2006, arXiv:cs/0603015.
- [479] M. August and X. Ni, "Using recurrent neural networks to optimize dynamical decoupling for quantum memory," 2016, arXiv:1604.00279.
- [480] M. V. Jankovic, "Probabilistic approach to neural networks computation based on quantum probability model probabilistic principal subspace analysis example," 2010, arXiv:1001.4301.
- [481] A. J. da Silva, W. R. de Oliveira, and T. B. Ludermir, "Weightless neural network parameters and architecture selection in a quantum computer," 2016, arXiv:1601.03277.
- [482] A. J. da Silva, T. B. Ludermir, and W. R. de Oliveira, "Quantum perceptron over a field and neural network architecture selection in a quantum computer," 2016, arXiv:1602.00709.
- [483] A. Daskin, "A quantum implementation model for artificial neural networks," 2016, arXiv:1609.05884.
- [484] V. K. Ojha, A. Abraham, and V. Snel, "Metaheuristic design of feedforward neural networks: A review of two decades of research," 2017, arXiv:1705.05584.
- [485] G. J. Rinkus, "Quantum computation via sparse distributed representation," 2017, arXiv:1707.05660.
- [486] N. Wiebe, A. Kapoor, and K. M. Svore, "Quantum deep learning," 2014, arXiv:1412.3489.
- [487] D. Crawford, A. Levit, N. Ghadermarzy, J. S. Oberoi, and P. Ronagh, "Reinforcement learning using quantum boltzmann machines," 2016, arXiv:1612.05695.
- [488] G. A. Giraldi, R. Portugal, and R. N. Thess, "Genetic algorithms and quantum computation," 2004, arXiv:cs/0403003.
- [489] R. Nowotniak and J. Kucharski, "Building blocks propagation in quantum-inspired genetic algorithm," 2010, arXiv:1007.4221.
- [490] D. A. Sofge, "Prospective algorithms for quantum evolutionary computation," 2008, arXiv:0804.1133.
- [491] S. Koppaka and A. R. Hota, "Superior exploration-exploitation balance with quantum-inspired hadamard walks," 2010, arXiv:1004.0514.
- [492] A. R. Hota and A. Pat, "An adaptive quantum-inspired differential evolution algorithm for 0-1 knapsack problem," 2011, arXiv:1101.0362.
- [493] A. SaiToh, R. Rahimi, and M. Nakahara, "A quantum genetic algorithm with quantum crossover and mutation operations," 2012, arXiv:1202.2026.
- [494] R. B. McDonald and H. G. Katzgraber, "Genetic braid optimization: A heuristic approach to compute quasiparticle braids," 2012, arXiv:1211.7359.
- [495] M. A. Hossain, M. K. Hossain, and M. M. A. Hashem, "A generalized hybrid real-coded quantum evolutionary algorithm based on particle swarm theory with arithmetic crossover," 2013, arXiv:1303.1243.
- [496] H. Kamberaj, "Q-gaussian swarm quantum particle intelligence on predicting global minimum of potential energy function," 2013, arXiv:1311.0598.
- [497] R. Nowotniak and J. Kucharski, "Higher-order quantum-inspired genetic algorithms," 2014, arXiv:1407.0977.
- [498] S. Ullah and M. Wahid, "Topology control of wireless sensor network using quantum inspired genetic algorithm," 2015, arXiv:1508.02521.

- [499] K. Hassani and W.-S. Lee, “Multi-objective design of state feedback controllers using reinforced quantum-behaved particle swarm optimization,” 2016, arXiv:1607.00765.
- [500] D. Dong, X. Xing, H. Ma, C. Chen, Z. Liu, and H. Rabitz, “Differential evolution for quantum robust control: Algorithm, applications and experiments,” 2017, arXiv:1702.03946.
- [501] N. Mani, Gursaran, and A. Mani, “Solving combinatorial optimization problems with quantum inspired evolutionary algorithm tuned using a novel heuristic method,” 2016, arXiv:1612.08109.
- [502] R. Santana, Z. Zhu, and H. G. Katzgraber, “Evolutionary approaches to optimization problems in chimera topologies,” 2016, arXiv:1608.05105.
- [503] O. M. Shir, J. Roslund, Z. Leghtas, and H. Rabitz, “Quantum control experiments as a testbed for evolutionary multi-objective algorithms,” 2011, arXiv:1112.5424.
- [504] O. S. Soliman and A. Rassem, “A network intrusions detection system based on a quantum bio inspired algorithm,” 2014, arXiv:1405.1404.
- [505] D. Dong, C. Chen, R. Long, B. Qi, and I. R. Petersen, “Sampling-based learning control for quantum systems with hamiltonian uncertainties,” 2013, arXiv:1312.4370.
- [506] D. Dong, M. A. Mabrok, I. R. Petersen, B. Qi, C. Chen, and H. Rabitz, “Sampling-based learning control for quantum systems with uncertainties,” 2015, arXiv:1507.07190.
- [507] Y. Wang, Q. Yin, D. Dong, B. Qi, I. R. Petersen, Z. Hou, H. Yonezawa, and G.-Y. Xiang, “Quantum gate identification: error analysis, numerical results and optical experiment,” 2017, arXiv:1707.06039.
- [508] S. Fu, G. Shi, I. R. Petersen, and M. R. James, “The evolution of network entropy in classical and quantum consensus dynamics,” 2015, arXiv:1503.07621.
- [509] H. I. Nurdin, S. Grivopoulos, and I. R. Petersen, “The transfer function of generic linear quantum stochastic systems has a pure cascade realization,” 2015, arXiv:1509.05537.
- [510] A. K. Sichani, I. G. Vladimirov, and I. R. Petersen, “A gradient descent approach to optimal coherent quantum lqg controller design,” 2015, arXiv:1502.00274.
- [511] Z. Shi and H. I. Nurdin, “Optimization of distributed epr entanglement generated between two gaussian fields by the modified steepest descent method,” 2015, arXiv:1502.01070.
- [512] S. Jafarizadeh, “Optimizing the convergence rate of the continuous time quantum consensus,” 2015, arXiv:1509.05823.
- [513] S. Jafarizadeh, “Optimizing the convergence rate of the quantum consensus: A discrete time model,” 2015, arXiv:1510.05178.
- [514] S. Jafarizadeh, “Optimizing the gossip algorithm with non-uniform clock distribution over classical & quantum networks,” 2015, arXiv:1512.03551.
- [515] K. Hassani and W.-S. Lee, “Multi-objective design of state feedback controllers using reinforced quantum-behaved particle swarm optimization,” 2016, arXiv:1607.00765.
- [516] P. Palittapongarnpim, P. Wittek, E. Zahedinejad, S. Vedaie, and B. C. Sanders, “Learning in quantum control: High-dimensional global optimization for noisy quantum dynamics,” 2016, arXiv:1607.03428.
- [517] D. Venturelli, M. Do, E. Rieffel, and J. Frank, “Compiling quantum circuits to realistic hardware architectures using temporal planners,” 2017, arXiv:1705.08927.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK



## **Session Economics**

Chair: Stefan Stefanov and Ina Nikolova-Jahn

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

# Cause and Effects of Fake Reviews – A Literature Review

## Ursachen und Wirkung von Fake-Reviews – Ein Literaturüberblick

Malte Fiedler, Martin Kissling

Institut für Marketing, Technische Universität Braunschweig  
Braunschweig, Deutschland

**Abstract** — Online reviews have shown to be a major source of information in the purchase decision process. The deceptive manipulation of reviews has become a major challenge for both research and e-commerce industry. In this regard, scholars made the first attempts to analyze the motives and causes of these so-called fake reviews. However, there is still a lack of a comprehensive and differentiated overview on this topic. The present article seeks to fill this gap by reviewing the current state of research on user-related and supplier-related causes as well as effects of fake reviews from the perspective of users, suppliers and platforms. Therefore, we contribute by deriving key research gaps.

**Zusammenfassung** — Onlinereviews stellen inzwischen eine bedeutende Informationsquelle im Kaufentscheidungsprozess dar. Die Manipulation solcher Reviews hat sich zunehmend zu einer Herausforderung für Forschung und e-Commerce-Industrie entwickelt. Erste Beiträge liefern Ansätze zur Untersuchung von Ursachen und Wirkungen von Fake Reviews. Dies bezüglich mangelt es jedoch bislang an einer umfassenden und differenzierten Überblick. Der vorliegende Beitrag versucht diese Lücke zu schließen, indem er den gegenwärtigen Stand der Forschung zu nutzer- und anbieterseitigen Ursachen sowie Wirkung von Fake-Reviews aus Perspektive von Nutzern, Anbietern und Plattformen aufarbeitet und daraus zentrale Forschungslücken ableitet.

### I. EINLEITUNG

Das Internet hat die Informationssuche und damit die Art und Weise, wie wir einkaufen verändert [1]. Es stellt nicht mehr nur einen Ort der Information dar, sondern bietet eine interaktive Plattform, individuelle Erfahrungen zu Produkte und Dienstleistungen öffentlich auszutauschen [2]. Folglich stellen im E-Commerce nicht mehr nur Anbieter Informationen bereit, sondern auch Konsumenten [3, 4]. Diese konsumentenseitige Information in Form von Online-Reviews ist wertvoll für potenzielle Konsumenten und stellt eine essentielle Komponente des Kaufentscheidungsprozesses dar [5–7]. Vor diesem Hintergrund wundert ihre wachsender Bedeutung in Forschung und Praxis wenig [8]. Manche Plattformen, wie Yelp.com oder TripAdvisor.com, gründen gar ihr Geschäftsmodell im Wesentlichen auf Online-Bewertungen [8].

Der durch das Internet bedingte Wandel birgt allerdings auch Risiken. Immer wieder finden fingierte und täuschende Rezensionen den Weg ins Netz [9]. Diese als Fake Reviews bezeichneten Bewertungen werden von verschiedenen Akteuren mitunter bewusst eingesetzt. Vereinzelt bieten Unternehmen sogar das Verfassen von Fake Reviews als Dienstleistung an [10]. Die *Times* schätzt, dass beispielsweise auf TripAdvisor jede dritte Bewertung fingiert ist [11].

Aufgrund der Komplexität von Ursachen und Auswirkungen gelten Fake Reviews als Herausforderung für die Forschung [12] und die E-Commerce Industrie. Während die Ursachen und Wirkungen von Onlinereviews bereits umfassend systematisiert wurden [1], fehlt bislang eine differenzierte Betrachtung für Fake Reviews. Dieser Beitrag schließt diese Lücke, indem er systematisch die anbieter- und nutzerseitigen Ursachen von Fake Reviews sowie die hieraus resultierenden nutzer-, anbieter- und plattformbezogenen Auswirkungen betrachtet und daraus Forschungslücken ableitet.

### II. ÜBERBLICK UND EINORDNUNG VON FAKE REVIEWS

Fake Reviews oder auch täuschende (deceptive) bzw. betrügerische (fraudulent) Reviews [8] sind Bewertungen von Produkten oder Dienstleistungen, die in authentischer Art und Weise, bewusst den Leser zu täuschen versuchen [13]. *Choi, Mattila, van Hoof & Quadri-Felitti (2017)* definieren Fake Reviews als Reviews, die von vermeintlichen Konsumenten verfasst wurden, die das Angebot jedoch selbst nicht beansprucht haben. Fake Reviews zielen darauf ab, die Kaufentscheidung der Leser zu beeinflussen [14]. Vor diesem Hintergrund werden sie vereinzelt mit täuschendem oder unwahrem „opinion spam“ umschrieben [3, 9, 13, 15, 16].

Fake Reviews lassen sich elektronischer Word-of-Mouth (e-WOM) unterordnen. eWOM überträgt traditionelles Word-of-Mouth auf das Internet, sodass deren Grenzen durch die Vorteile der IT überwunden und folglich hohe Reichweiten erzielt werden können [4]. Hierdurch kann eWOM das Konsumentenverhalten maßgeblich beeinflussen [7]. Im eWOM gelten Online-Reviews als einflussreichste Informationsquelle für Konsumenten [4, 14]. Unter Umständen gewichten Konsumenten gar Online-Reviews stärker, als die eigene Einschätzung [4, 17]. Fake Reviews zielen darauf ab, dies auszunutzen und so die Kaufentscheidungen der Konsumenten bewusst zu beeinflussen [18].

Fake Reviews treten in verschiedener Valenz auf – sie können negativ, neutral oder positiv sein. Negative Reviews haben einen stärkeren Einfluss auf die Beurteilung und damit auf die Kaufentscheidung [19]. Positive Rezensionen hingegen können den Eindruck erwecken, vom Anbieter selbst verbreitet zu sein und dadurch unglaubwürdig wirken [7]. Fake Reviews positiver Valenz treten häufiger auf [10], da negative Fake Reviews eine hohe Klagegefahr bergen. Die *New York Times* hat aufgedeckt,

dass viele Bücherrezensionen auf amazon.com auf deren Herausgeber und Autoren zurückzuführen sind [20].

Während eWOM und Onlinereviews bereits detailliert untersucht wurden, sind differenzierte Betrachtungen von Fake Reviews bislang rar. Beiträge in diesem Kontext versuchen vor allem, Fake Reviews systematisch zu identifizieren [9]. Dabei stehen häufig linguistische Aspekte des Reviews, wie der Gebrauch bestimmter Wörter im Fokus [18]. Die Forschung zu Ursachen und Auswirkung von Fake Reviews ist hingegen fragmentiert. Daher sollen die vorhandenen Erkenntnisse im Folgenden zusammengefasst und systematisiert werden.

### III. URSACHEN VON FAKE REVIEWS

Verschiedene Faktoren beeinflussen das Auftreten von Fake Reviews. Grundsätzlich lassen sich anbieterseitige und nutzerseitige Ursachen differenzieren. Dabei wird unterschieden, ob Anbieter oder private Nutzer Fake Reviews induzieren.

#### A. Anbieterseitige Ursachen

##### 1) Literaturüberblick

Im Kern basieren die anbieterseitigen Ursachen für Fake Reviews auf der Entwicklung, dass Konsumenten zunehmend auf Onlinereviews zurückgreifen, um Kaufentscheidungen vorzubereiten [3]. Dies erhöht den Druck auf Anbieter, eine gute Gesamtbewertung zu erreichen und aufrechtzuhalten [5]. Hieraus entsteht die primäre Motivation, Fake Reviews zu initiieren. Entscheidend hierfür sind verschiedene Merkmale vorhandener Bewertungen. *Zablocki, Schlegelmilch & Houston (2019)* führen drei Kerncharakteristika an: die Valenz, das Volumen und die Varianz der Reviews [19]. Die Valenz bezieht sich auf die negative, neutrale oder positive Ausrichtung der Bewertung gegenüber dem Angebot. Firmen mit schlechteren Bewertungen zielen mit wohlwollenden Fake Reviews darauf ab, ihre durchschnittliche Gesamtbewertung zu verbessern [21]. Das Volumen beschreibt die Anzahl der Bewertungen [19]. Eine hohe Anzahl an Bewertung verringert den Nutzen zusätzlicher Bewertungen [21]. Im Umkehrschluss fallen einzelne Bewertungen stark ins Gewicht, sofern nur wenige Bewertungen der Angebote vorliegen. Das dritte Merkmal der Varianz beschreibt die Bandbreite von positiven bis negativen Bewertungen. Eine hohe Varianz wirkt sich negativ auf die Kaufentscheidung des Kunden aus [19]. Folglich beeinflussen Valenz, Volumen und Varianz der Reviews, wie stark sich einzelne Reviews auf die Entscheidungen der Konsumenten auswirken. Damit bestimmen diese Merkmale auch den Nutzen von positiv fiktionalen Reviews.

Demgegenüber stehen Motive, die zum Initiieren von negativen Fake Reviews führen. Rivalen profitieren davon, negative Reviews über die Angebote der Konkurrenten zu verfassen [22]. Dies gilt jedoch nur, wenn Konsumenten die Angebote tatsächlich substituieren können.

##### 2) Identifizierte Forschungslücken

Zunächst wäre es interessant zu erforschen, welche Anbieter Fake Reviews verfassen. Die bisherigen Ergebnisse deuten darauf hin, dass Handelsketten weniger Fake Reviews induzieren [21]. Ein Grund hierfür könnte darin liegen, dass deren Umsätze weniger stark vom Rating abhängen [21]. Ebenso könnte die Motivation für Fake Reviews aus finanzieller Not resultieren und damit ein Ergebnis von Verzweiflung darstellen. Demnach wäre zu prüfen, inwiefern der finanzielle Erfolg (oder Misserfolg) einer Firma bestimmt, ob sie Fake Reviews initiiert.

Ein weiteres mögliches Motiv, dass bisher in der Forschung zu Fake Reviews nicht beachtet wurde, ist das Motiv sich selbst darzustellen. Viele Angebote sind eng mit der Identität des Anbieters verknüpft. Negative Rezensionen könnten deshalb als Angriff auf das Selbstbild des Anbieters empfunden werden,

was als Selbstdarstellungsmotivation gilt [23]. Zukünftige Forschung könnte prüfen, ob Selbstdarstellungsmotive die Intention, Fake Reviews zu verfassen, beeinflussen.

In einigen Produktkategorien treten Fake Reviews besonders häufig auf (z. B. Bücher oder Dienstleistungen). Dies spricht dafür, dass sich der Einfluss der Motive zum Verfassen von Fake Reviews nach der Art des Angebots unterscheidet. Angebote lassen sich in Such-, Erfahrungsgüter und Vertrauensgüter klassifizieren [24]. Individuen können Suchgüter bereits vor dem Kauf, Erfahrungsgüter nach dem Kauf und Vertrauensgüter quasi gar nicht selbst beurteilen. Deshalb können vor allem Anbieter von Erfahrungsgüter- und Vertrauensgütern von positiven Fake Reviews profitieren. Eine empirische Studie sollte zunächst belegen, dass Fake Reviews im Bereich von Erfahrungsgüter- und Vertrauensgütern häufiger auftreten und darüber hinaus Unterschiede hinsichtlich der Motive von Fake Reviews im Kontext der verschiedenen Güterarten ergründen.

#### B. Nutzerseitige Ursachen

##### 1) Literaturüberblick

Auch Nutzer induzieren Fake Reviews. Unter nutzerseitigen Ursachen sind vor allem die Motive von Individuen zu verstehen, Fake Reviews zu verfassen. *Blank & Reisdorf (2012)* identifizieren die sogenannten 4Fs als Motivatoren Reviews zu verfassen: Fame, Fortune, Fun und Fullfillment. Individuen schreiben Onlinereviews, um ihre soziale Anerkennung zu erhöhen, persönliche Vorteile zu erlangen, andere vor Schaden zu bewahren und eine gute Qualitätssicherung sicherzustellen [25].

Die Gründe, Fake Reviews zu schreiben, unterscheiden sich in mancher Hinsicht. Im Folgenden sollen Unzufriedenheit und persönliche Vorteile ökonomischer oder persönlicher Natur betrachtet werden. Unzufriedenheit beschreibt eine negative Nutzenerfahrung mit einem Produkt oder einem Unternehmen. Eine hohe Frustration kann zu negativen Bewertungen führen [8]. Die Kunden vergelten also die wahrgenommene Ungerechtigkeit mit einer ebenso unfairen Reaktion und verfassen deshalb Fake Reviews. Es lassen sich aber auch Nutzer identifizieren, die sich als selbsternannte Brand-Manager verstehen. Sie sind durch hohe Markenloyalität gekennzeichnet und versuchen beispielsweise durch Bewertungen nicht erworbener Produkte zum Erfolg des Anbieters beizutragen [8].

Auch persönliche Vorteile verleiten Individuen dazu, Fake Reviews zu verfassen. Diese basieren auf verschiedenen Anreizsystemen der Anbieter. So bieten Firmen mitunter Gutscheine oder Geschenke im Gegenzug für positive Reviews an [3, 26]. Durch diese ökonomischen Vorteile werden Individuen motiviert, Bewertungen zu posten, ohne die Angebote in Anspruch genommen zu haben. Ähnlich verhält es sich, wenn Plattformen einen Extra-Status verleihen, sofern Nutzer besonders viele Reviews verfassen. Dieser Status kann als Quelle sozialer Anerkennung fungieren.

##### 2) Identifizierte Forschungslücken

Die bisherige Forschung zu nutzerseitigen Ursachen betrachtet nur die Treiber des Verfassens von Fake Reviews. Neben diesen Treiber gibt es jedoch auch nutzerseitige Barrieren. Das Verfassen von Fake Reviews stellt ein unmoralisches Verhalten dar. Demnach könnte die individuelle moralische Einstellung Individuen davon abhalten, Reviews zu fälschen.

Darüber hinaus könnten Rahmenbedingungen die nutzerseitigen Treiber abschwächen. Hierbei ließe sich zum Beispiel überprüfen, ob eine starke Bindung zur anbietenden Marke oder eine starke Empathie gegenüber dem Anbieter Individuen davon abhält, Fake Reviews trotz der dargestellten Anreize zu verfassen. Dies gilt es auch für die Beziehung zur Plattform zu untersuchen, da die Verfasser von Fake Reviews die Plattform eventuell weiterhin nutzen und deshalb nicht unterminieren wollen.

## IV. AUSWIRKUNGEN VON FAKE REVIEWS

### A. Nutzerbezogene Auswirkungen

#### 1) Literaturüberblick

Fake Reviews beeinflussen das Verhalten der Nutzer, die sich in passive und aktive Nutzer unterteilen lassen. Während aktive Nutzer selbst Rezensionen schreiben, informieren sich passive Nutzer nur mit Hilfe von Reviews. Fake Reviews reduzieren den Nutzen der Reviews. Deshalb passen passive Nutzer die Schlüsse an, die sie aus den Reviews ziehen. Sie diskontieren die Informationen aus den Reviews in dem Wissen, dass Reviews manipuliert sein können [3].

Auch aktive Nutzer passen ihr Verhalten aufgrund von Fake Reviews an. Diese stellen ein unfaires Verhalten gegenüber den beurteilten Anbietern dar. Sofern Nutzer ein unfaires Verhalten in Reviews wahrnehmen, können daraus positive Reaktionen gegenüber der Marke resultieren. So reagieren sie empathisch und sind bereit, mehr für das Angebot zu zahlen, es besser zu bewerten oder anderen weiterzuempfehlen [27]. Einige aktive Nutzer versuchen gar sich gegen den Missbrauch von Onlinereviews zu stellen und verfassen sogenannte „Watchdog-Kommentare“ [28]. Dies sind Kommentare zu Reviews, in denen die Autoren die Glaubwürdigkeit von Reviews anzweifeln und Behauptungen in den Reviews entkräften. Folglich überprüfen sie die Onlinereviews anderer User und versuchen, passive Nutzer vor Betrug zu bewahren.

#### 2) Identifizierte Forschungslücken

Abgesehen von den dargestellten Erkenntnissen gibt es weitere Einflüsse auf das Verhalten der aktiven und passiven Nutzer. Beispielsweise sollte überprüft werden, wie sich bisherige Erfahrungen mit Fake Reviews auf das Verhalten der Nutzer auswirken. Nutzer könnten Reviews nicht nur diskontieren [3], sondern auch ihr Suchverhalten per se anpassen. Etwa suchen einige Nutzer in Onlineshops nach Produkte anhand von Mindestbewertungen. Fake Reviews können dazu führen, dass bestimmte Ergebnisse – etwa aufgrund einer zu niedrigen Bewertung - herausgefiltert werden. Dies könnte für die optimale Gestaltung von Onlineshops eine Rolle spielen. Zukünftige Forschung sollte deshalb überprüfen, ob Fake Reviews das Suchverhalten der Nutzer beeinträchtigen und deshalb relevante Produkte nicht berücksichtigt werden.

Einige aktive Nutzer kommentieren Rezensionen, die sie als Fake identifizieren [28], um scheinbar zu Unrecht Beschuldigte zu unterstützen [27]. Zum Schutz gegen Fake Reviews wäre es wichtig, die Beweggründe für das Verfassen dieser sogenannten Watchdog-Kommentare zu identifizieren. Möglich wäre, dass eine transparente und offene Kommunikation die Brand Community ermutigt, zu fragwürdigen Reviews Stellung zu nehmen.

### B. Plattformbezogen

#### 1) Literaturüberblick

Das Internet im Allgemeinen und Reviews im Speziellen bieten das Potenzial, Informationsasymmetrien zwischen Käufern und Verkäufern zu reduzieren oder gar zu eliminieren [29]. Dies erhöht die Effizienz des Marktes, die Verteilung von Ressourcen und die Fairness auf dem Markt. Fake Reviews senken den Informationswert und die Glaubwürdigkeit der Review-Plattformen [30]. Die mögliche Existenz von Fake Reviews steigert das Misstrauen der Konsumenten [22] und reduziert den Nutzen echter Reviews [31]. Im Extremfall führt dies gar zur Obsoleszenz der Plattformen; in jedem Fall senken Fake Reviews den Wohlfahrtnutzen von Review-Plattformen [3].

Die zunehmende Sorge vor Fake News in Anbetracht der dargelegten Gefahren führt dazu, dass die Plattformen verschie-

dene Maßnahmen zur Abwehr von Fake Reviews implementieren. Eine der beliebtesten Mechanismen liegt darin, dass nur „verifizierte Käufer“ Reviews verfassen dürfen [10]. Darüber hinaus verwenden Plattformen Algorithmen, die Fake Reviews automatisch herausfiltern [3]. Allerdings verläuft die Grenze zwischen Fake Reviews und echten negativen Reviews oft nicht trennscharf. Aufgrund der Gefahr der fälschlichen Identifikation wird das Löschen von Kommentaren kontrovers diskutiert [3].

#### 2) Identifizierte Forschungslücken

Obwohl verschiedene Maßnahmen in der Praxis implementiert wurden, um auf Fake Reviews zu reagieren, ist unklar, wie das Konsumentenverhalten von diesen Maßnahmen abhängt. Fraglich ist, ob Fake-Review-Filter das Vertrauen der Konsumenten in Reviews steigern oder weiterhin deren Inhalt mit Vorsicht interpretieren. Gleichzeitig ließe sich prüfen, inwieweit derartige Algorithmen die Kundenzufriedenheit oder die Auswahl der Plattform und vorgelagerte Konstrukte beeinflussen. Dabei wäre beispielsweise interessant, ob etwa die Einstellung zur Plattform, die wahrgenommene Kompetenz der Plattform oder auch das Vertrauen in den Service der Plattform insgesamt vom Gebrauch von Fake-Review-Filtern abhängen.

Unklar ist zudem, wie Fake Reviews den Nutzen von Review-Plattformen langfristig beeinflussen. Aufrichtige Reviews können die Qualität und Effizienz innerhalb des Marktes erhöhen [9]. Fake Reviews unterminieren diesen positiven Effekt.

### C. Angebotsbezogene Auswirkungen

#### 1) Literaturüberblick

Die Sichtbarkeit eines Angebots hängt davon ab, wie oft und wie gut die Angebote bewertet wurden [10]. Grund hierfür ist, dass die Plattformen Algorithmen verwenden, die ebendies einbeziehen, um Angebote zu platzieren. Demnach können Fake Reviews beeinflussen, ob Nutzer die Angebote wahrnehmen.

Zudem hängt auch die Qualitätswahrnehmung der Angebote von Fake Reviews ab. Per Definition wollen die Verfasser die Leser der Reviews täuschen und bilden deshalb die Qualität des Angebots unzureichend ab [6]. Positive Fake Reviews sollen die Qualitätswahrnehmung verbessern, negative Fake Reviews die wahrgenommene Qualität von Konkurrenten schmälern. Allerdings können unter Umständen auch negative (Fake) Reviews zu positiven Eindrücken führen. Dies kann der Fall sein, sofern sie etwa mit Blick auf den Preis als kleinlich wahrgenommen werden. Die positiven Aspekte anderer Rezensenten werden in der Gesamtbeurteilung durch die kleinlichen negativen Bewertungen betont und überwiegen mit Hinblick auf das Gesamturteil [29].

In letzter Konsequenz ist vor dem Hintergrund der Einflüsse auf Sichtbarkeit und Qualitätswahrnehmung auch der Absatz der Angebote durch Fake Reviews betroffen. Doch der Einfluss von Fake Reviews auf den Absatz ist umstritten [4]. So wurden verschiedene Ergebnisse hinsichtlich des Einflusses der Gesamtbewertung, der Valenz der Reviews und deren Anzahl auf den Absatz dokumentiert [32]. Im Bereich der Valenz zeigt sich für gewöhnlich, dass positive Fake Reviews den Absatz stimulieren, während negative Fake Reviews ihn beeinträchtigen. Dennoch sei betont, dass Firmen auch darunter leiden können, sofern sie exzessiv positive Fake Reviews verfassen. So folgt der Einfluss von Fake Reviews auf den Absatz einem umgekehrt u-förmigen Zusammenhang [3]. Dies ist darin begründet, dass ein Übermaß an positiven Bewertungen zum Misstrauen der Nutzer führt. Vor allem tritt ein solcher Effekt bei schwachen Marken auf.

## 2) Identifizierte Forschungslücken

Wie die Ursachen könnten auch die Auswirkungen von Fake Reviews davon abhängen, ob Such-, Erfahrungs- oder Vertrauensgüter betrachtet werden [24]. Es lässt sich annehmen, dass Fake Reviews die Wahrnehmung der Angebote stärker beeinflussen, sofern Individuen die Angebote schlechter beurteilen können. Gleichzeitig verstärkt sich hier jedoch auch die Sorge, dass das eigene Vertrauen in die Reviews missbraucht wird. Es ist denkbar, dass sich ein generelles Misstrauen bildet, was nicht nur die Beurteilung der Reviews angeht, sondern auch ein Misstrauen gegenüber dem Angebot an sich hervorruft.

Mit Sicht auf den umstrittenen Einfluss von Fake Reviews auf den Absatz ist fraglich, ob Fake Reviews langfristig gesehen für Firmen finanziell vorteilhaft sind. Indem Firmen ihre Bewertungen aufbessern, schüren sie Erwartungen, die sie nicht befriedigen können. Dies wiederum kann zu unzufriedenen Kunden führen und so die Absätze verringern. Deshalb wäre es interessant zu analysieren, ob langfristig Fake Reviews zur Unzufriedenheit der Konsumenten beitragen und den Erfolg der Firmen schmälern. Auch gilt es zu prüfen, unter welchen Bedingungen langfristige negative Effekte auftreten.

Offen ist weiterhin, inwieweit Firmen den Zorn der Konsumenten auf sich ziehen, wenn sie im Verdacht stehen, Reviews zu manipulieren. Dabei könnte vor allem interessieren, wie sich Fake Reviews auf die Reputation des Anbieters auswirken. Im schlimmsten Fall könnten Individuen die Anbieter boykottieren.

## V. FAZIT

Dieser Beitrag betrachtet die Ursachen und Auswirkungen von Fake Reviews. Die Ursachen wurden hinsichtlich nutzerseitiger und anbieterseitiger Perspektive differenziert, die Auswirkungen in nutzerbezogenen, anbieterseitige und plattformbezogene Effekte unterteilt. Für jedes dieser Felder wurden Forschungslücken identifiziert.

Durch das dargestellte Framework kann die bisher eher fragmentierte Forschung zu Fake Reviews systematisch durchdrungen und jede der Dimensionen explizit angesprochen werden. Dabei ist auf die Besonderheiten der jeweiligen Dimensionen zu achten. Zugleich zeichnet der vorliegende Beitrag ein ganzheitliches Bild der Ursachen und Auswirkungen von Fake Reviews. Hierdurch erleichtert der Beitrag Forschern das Verständnis und den Zugang im Bereich Fake Reviews.

## I. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] R. A. King, P. Racherla und V. D. Bush (2014). "What we know and don't know about online word-of-mouth: A review and synthesis of the literature". *Journal of Interactive Marketing*, 28(3), S. 167–83.
- [2] G. Blank und B. C. Reisdorf (2012). "The participatory web". *Information, Communication & Society*, 15(4), S. 537–54.
- [3] M. Zhuang, G. Cui und L. Peng (2018). "Manufactured opinions: The effect of manipulating online product reviews". *Journal of Business Research*, 87, S. 24–35.
- [4] W. Duan, B. Gu und A. B. Whinston (2008). "Do online reviews matter? — An empirical investigation of panel data". *Decision Support Systems*, 45(4), S. 1007–16.
- [5] D. Proserpio und G. Zervas (2017). "Online reputation management: Estimating the impact of management responses on consumer reviews". *Marketing Science*, 36(5), S. 645–65.
- [6] T. Lappas "Fake reviews: The malicious perspective", 7337, S. 23–34.
- [7] J. A. Chevalier und D. Mayzlin (2006). "The effect of word of mouth on sales: Online book reviews". *Journal of Marketing Research*, 43(3), S. 345–54.
- [8] E. T. Anderson und D. I. Simester (2014). "Reviews without a purchase: Low ratings, loyal customers, and deception". *Journal of Marketing Research*, 51(3), S. 249–69.
- [9] D. Plotkina, A. Munzel und J. Pallud (2018). "Illusions of truth— Experimental insights into human and algorithmic detections of fake online reviews". *Journal of Business Research*, in press.

- [10] T. Lappas, G. Sabnis und G. Valkanas (2016). "The impact of fake reviews on online visibility: A vulnerability assessment of the hotel industry". *Information Systems Research*, 27(4), S. 940–61.
- [11] A. Ellson. "Times Investigation: A third of TripAdvisor reviews are fake as cheats buy five stars". *The Times* 22.09.2018 [Stand: 12.09.2019]. Verfügbar unter: <https://www.thetimes.co.uk/article/hotel-and-caf-cheats-are-caught-trying-to-buy-tripadvisor-stars-027fbcwc8>.
- [12] S. Feng, L. Xing, A. Gogar und Y. Choi (2012). "Distributional footprints of deceptive product reviews". *Proceedings of the Sixth International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*, S. 98–105.
- [13] M. Ott, Y. Choi, C. Cardie und J. T. Hancock (2011). "Finding Deceptive Opinion Spam by Any Stretch of the Imagination". *Proceedings of the 49th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics*, S. 309–19.
- [14] S. Choi, A. S. Mattila, H. B. van Hoof und D. Quadri-Felitti (2017). "The role of power and incentives in inducing fake reviews in the tourism industry". *Journal of Travel Research*, 56(8), S. 975–87.
- [15] N. Jindal und B. Liu (2008). "Opinion spam and analysis". *WSDM*, S. 219–29.
- [16] M. Ott, C. Cardie und J. Hancock (2012). "Estimating the prevalence of deception in online review communities". *Proceedings of the 21st international conference on World Wide Web.*, S. 201–10.
- [17] A. V. Banerjee (1992). "A Simple Model of Herd Behavior". *The Quarterly Journal of Economics*, 107(3), S. 797–817.
- [18] K.-H. Yoo und U. Gretzel "Comparison of deceptive and truthful travel reviews", 15, S. 37–47.
- [19] A. Zablocki, B. Schlegelmilch und M. J. Houston (2019). "How valence, volume and variance of online reviews influence brand attitudes". *AMS Review*, 9(1-2), S. 61–77.
- [20] A. Harmon. "Amazon glitch unmasks war of reviewers". *The New York Times* 14.02.2004 [Stand: 12.09.2019]. Verfügbar unter: <https://www.nytimes.com/2004/02/14/us/amazon-glitch-unmasks-war-of-reviewers.html>.
- [21] M. Luca und G. Zervas (2013). "Fake it Till You Make it: Reputation, Competition, and Yelp Review Fraud". *SSRN Electronic Journal*.
- [22] D. Mayzlin, Y. Dover und J. A. Chevalier (2012). "Promotional Reviews: An Empirical Investigation of Online Review Manipulation". *SSRN Electronic Journal*.
- [23] M. R. Leary und R. M. Kowalski (1990). "Impression management: A literature review and two-component model". *Psychological Bulletin*, 107(1), S. 34–47.
- [24] M. R. Darby und E. Karni (1973). "Free competition and the optimal amount of fraud". *The journal of law & economics*, 16 (1973), S. 67–88.
- [25] H. M. Gonçalves, G. M. Silva und T. G. Martins (2018). "Motivations for posting online reviews in the hotel industry". *Psychology & Marketing*, 35(11), S. 807–17.
- [26] M. Petrescu, K. O'Leary, D. Goldring und S. Ben Mrad (2018). "Incentivized reviews: Promising the moon for a few stars". *Journal of Retailing and Consumer Services*, 41, S. 288–95.
- [27] T. Allard, L. Dunn und K. White (2016). "Customer empathetic responses toward brands being treated unfairly". *Advances in Consumer Research*, 2016(44), S. 376–80.
- [28] L. R. L. Larson und L. T. Denton (2014). "eWOM watchdogs: Ego-threatening product domains and the policing of positive online reviews". *Psychology & Marketing*, 31(9), S. 801–11.
- [29] J. Malbon (2013). "Taking Fake Online Consumer Reviews Seriously". *Journal of Consumer Policy*, 36(2), S. 139–57.
- [30] T. Reimer und M. Benkenstein (2016). "When good WOM hurts and bad WOM gains: The effect of untrustworthy online reviews". *Journal of Business Research*, 69(12), S. 5993–6001.
- [31] Y. Zhao, S. Yang, V. Narayan und Y. Zhao (2013). "Modeling consumer learning from online product reviews". *Marketing Science*, 32(1), S. 153–69.
- [32] A. Mishra und S. M. Satish (2016). "eWOM: Extant Research Review and Future Research Avenues". *Vikalpa: The Journal for Decision Makers*, 41(3), S. 222–33.

# Digitization in Tax Enforcement – a Guns vs. Butter Approach

## Digitalisierung im Steuervollzug – eine 'Guns vs. Butter'-Betrachtung

Tim Sofke

Technische Universität Braunschweig, Carl-Friedrich-Gauss-Faculty, Institute of Economics, Germany.  
e-mail: t.sofke@tu-braunschweig.de

**Abstract** — Digitization shapes overall progress and so it does for tax enforcement in particular as well. Tax payers face better evasion possibilities whereas tax authorities are getting better in disguising them. This paper presents a model framework in which individuals evade and the government decides on the optimal share of expenditures for audits on total revenues. The inclusion of digitization over time changes conditions for both players and drives the optimal allocation up or down depending on who is favored by the progress. Finally, a tangible simulation is provided in order to illustrate theoretical results.

**Zusammenfassung** — Digitalisierung formt den gesamten Fortschritt und damit insbesondere auch den Steuervollzug. Steuerzahler finden bessere Hinterzugsmöglichkeiten, wohingegen Behörden besser darin werden jene aufzudecken. Dieses Papier präsentiert ein Modell, in welchem Individuen hinterziehen und der Staat über den optimalen Anteil der Ausgaben für das Prüfungsverfahren am gesamten Steueraufkommen entscheidet. Das Einbeziehen von Digitalisierung mit der Zeit verändert die Bedingungen für beide Spieler und treibt die optimale Allokation in die Höhe oder Tiefe, abhängig davon wer vom Fortschritt begünstigt wird. Schlussendlich werden die theoretischen Ergebnisse mithilfe einer Simulation verdeutlicht.

### I. INTRODUCTION

Within the past decades, digitization and globalization appeared to be curse and blessing at the same time. New opportunities create new fields, new jobs and simplify existing processes. However, those who do not keep up with the times will get back to the bottom of facts: In 2016 the International Consortium of Investigative Journalists (ICIJ) revealed the Panama Papers, itself providing the information on current offshore tax evasion. Authorities face more sophisticated circumvention measures and tax payers incentives of being dishonest rise with the more and more widening range of possibilities. Alstadsæter et al. (2019) [1] perform an analysis on the extend of Scandinavia's offshore evasion based on several leaked data. At that time, tax authorities were simply not able to trace complicated evasion structures, but digitization also enables more sophisticated audits. Communication between foreign authorities becomes easier and upcoming reporting requirements scotch less elaborated evasion possibilities. Bacchetta and Espinosa (1995) [2] describe the advantages and limitations of information exchange from a model point of view and Keen and Lighthart – see e.g. [3] and [4] – discuss two distinct approaches in that matter.

However, these are just channels, through which digitization influences tax enforcement. The aim of this paper is to provide a model framework which considers digital progress as an explicit influence. Therefore, we adopt the canonical Allingham/Sandmo (1972) tax evasion model [5] to our needs. In a guns vs. butter approach the government could use tax revenues either for the provision of a public good or

for the improvement of the auditing structure. Finally, we introduce digitization for the hunted as well as the hunters and separate the respective effects.

The remainder of this paper is organized as follows: Section II presents the model and Section III illustrates theoretical results in a small simulation application. Section IV concludes.

### II. THE MODEL

First of all, let us introduce the two players: Following the widely admitted Allingham/Sandmo (1972) model on personal tax evasion [5], we consider a risk-averse individual with exogenously given taxable base  $y$  – i.e. income, wealth or capital gains – and utility  $U(y)$  derived from it. A risk-neutral government imposes a specific tax  $\tau$  on each unit of  $y$ . However, the individual is able to hide amount  $s$  of  $y$  from its tax authority, though – different from the original model – it comes with costs  $c$  per hidden unit of  $y$ . In that case, the available net stock displays as

$$y^{na}(s) := y - \tau \cdot (y - s) - cs.$$

The tax authority, in turn, performs random audits and picks the individual with probability  $p \in (0, 1)$ . In case of being audited, the tax officer is able to reveal the real extend of evasion. By this, additional to the taxes on the hidden amount, a penalty payment of order  $f \cdot \tau$  per unit of  $s$  is enforced. In the bad case, the individual faces

$$y^a(s) := (1 - \tau) \cdot y - (c + f\tau) \cdot s.$$

In an expected utility maximization approach the individual chooses  $s^*$  as a solution to

$$\max_s \mathbf{EU}(s) = \max_s (1-p) \cdot U(y^{na}(s)) + p \cdot U(y^a(s)),$$

providing First-Order-Condition (FOC)

$$(1-p) \cdot U'(y^{na}) \cdot (\tau - c) + p \cdot U'(y^a) \cdot (-c - f\tau) = 0. \quad (1)$$

Via implicit differentiation of FOC (1), we are able to deduce the individual's responses in  $s$  depending on marginal changes in the hiding costs  $c$  and the probability of detection  $p$ :

$$\frac{ds}{dp} = -\frac{\frac{\partial \text{FOC}}{\partial p}}{\text{SOC}} < 0 \quad \text{and} \quad \frac{ds}{dc} = -\frac{\frac{\partial \text{FOC}}{\partial c}}{\text{SOC}} < 0,$$

where SOC is the second derivative of  $\mathbf{EU}(s)$ . It is negative in the optimum due to the maximum property of  $s^*$ . Together with

$$\frac{\partial \text{FOC}}{\partial p} = U'(y^a) \cdot (-c - f\tau) - U'(y^{na}) \cdot (\tau - c) < 0,$$

we obtain the first estimation and a quite similar result for the derivative in  $c$ .<sup>1</sup> Therefore, the individuals' hidden amount is decreasing with either hiding costs or the probability of being audited.

The risk-neutral government, in turn, faces the expected tax- and penalty-revenues

$$\mathbf{ER} = (1-p) \cdot \tau \cdot (y-s) + p \cdot (\tau y + f\tau s),$$

which could be spent arbitrarily either on the provision of a public good or service – such as schooling, infrastructure or administration – or on the improvement of the tax auditing process itself. At this point, we incorporate the *guns vs. butter* concept, modelling the state's struggle in maximizing the provision of the public good on the one hand while, on the other hand, using parts of the dedicated revenue for the defence of the revenue itself.

In our model, this translates as follows: the government chooses a share  $\alpha \in [0, 1]$  of the expected revenues  $\mathbf{ER}$  for the maintenance of the detection probability, which is now a function of  $\alpha$  and satisfies

$$\frac{dp(\alpha)}{d\alpha} > 0, \quad p(0) = 0 \quad \text{and} \quad p(1) \in (0, 1).$$

The more of the tax revenues is used for the tax enforcement, the better are the odds of detecting tax evaders. Nevertheless, if no resources are used for the auditing process, individuals do not face any consequences and will be total dishonest, generating no revenue at all.

The remaining share  $(1-\alpha)$  of  $\mathbf{ER}$  is used for public good's supply, being also the target value for the maximization decision of the government:

$$\begin{aligned} & \max_{\alpha} (1-\alpha) \cdot \mathbf{ER}(\alpha) \\ & = \max_{\alpha} (1-\alpha) \cdot \left\{ (1-p(\alpha)) \cdot \tau \cdot (y-s[p(\alpha)]) \right. \\ & \quad \left. + p(\alpha) \cdot (\tau y + f\tau \cdot s[p(\alpha)]) \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

<sup>1</sup>Conditional on a significantly high probability  $p$  of detection and a reasonable choice of  $U(\cdot)$ .

Please note, that with the choice of  $\alpha$ , the individual's evasion behavior is affected as well since it reacts to the change in probability and takes it into account in its own maximization decision. Having a look at the derivative of (2), we obtain

$$-\mathbf{ER} + (1-\alpha) \cdot \frac{d\mathbf{ER}}{d\alpha} \quad (3)$$

For  $\alpha = 0$ , this implies  $p = 0$  as well and suggests  $s^* = y$  and, therefore  $\mathbf{ER} = 0$ . The latter term shrinks to

$$\frac{d\mathbf{ER}}{d\alpha} = (1-0) \cdot \tau \cdot \left( -\frac{f\tau ds}{dp} \right) \cdot \frac{dp}{d\alpha} + \frac{dp}{d\alpha} \cdot \tau \cdot (1+f) \cdot y > 0$$

and  $\alpha = 0$  cannot be a solution, as expected revenues increase with marginal sacrifices of revenues for the collecting effort itself. However,  $\alpha = 1$  is no solution either, because expression (3) simplifies to  $-\mathbf{ER} < 0$  and public good's provision could simply be raised by allowing marginal expenses for the public good itself.<sup>2</sup> Consequently, there exists an inner solution  $\alpha^* \in (0, 1)$  which satisfies expr. (3) = 0 and yields the optimal response of the government. Given that the taxable base  $y$ , the statutory tax rate  $\tau$  and the penalty factor  $f$  are exogenously given parameters, term (3) = 0 provides a closed-form solution for the optimal share  $\alpha^*(c)$  depending on the costs  $c$  of hiding. Thus, the resulting audit probability  $p^* = p(\alpha^*(c))$  can also be understood as a function of the costs.

Now, let digitization find its way into the setting. We grasp progressive digitization via ongoing discrete time  $t \in \mathbb{N}_0$ , which enters the model through two distinct channels:

- (i) Costs of hiding  $(c_t)_{t \in \mathbb{N}_0}$ , non-increasing over time:

$$c_t \geq c_{t+1}.$$

- (ii) Probability of detection  $(p_t(\cdot))_{t \in \mathbb{N}_0}$ , satisfying

$$p_t(0) = 0, \quad \left. \frac{dp_t(\alpha)}{d\alpha} \right|_{\alpha=\bar{\alpha}} > 0 \quad \text{and} \quad p_t(\bar{\alpha}) \leq p_{t+1}(\bar{\alpha}),$$

for all  $t \in \mathbb{N}_0$  and  $\bar{\alpha} \in [0, 1]$ .

Justification for these assumptions comes from the following ideas: On the one hand, costs of hiding shrink as possibilities of tax duties' circumvention rise, e.g. the internet facilitating the movement of wealth and investment and the opening of offshore bank accounts. These costs are assumed to be fixed for every  $t$ . However, they basically fall over time. On the other hand, tax authorities' reach on information rises with technical progress: cash is replaced by more tracable online transactions, international information exchange is negotiated and automatized and tax havens dry out or start cooperating. The incoming flood of information allows more targeted audits and evokes a rise in the likelihood of being detected – all based on keeping up the share  $\bar{\alpha}$  of expected revenues that is used to enforce tax collection.

In the final step of the analysis, we could simply optimize for every point of time  $t \in \mathbb{N}_0$  and trace paths of optimal

<sup>2</sup>Supposed that  $p(1)$  is sufficiently large in order to prevent individuals from being totally dishonest with their tax authority.



evasion amounts  $(s_t^*)_{t \in \mathbb{N}_0}$ , optimal shares  $(\alpha_t^*)_{t \in \mathbb{N}_0}$ , optimal detection probabilities  $(p_t^*)_{t \in \mathbb{N}_0}$  and the corresponding expected supply  $((1 - \alpha_t^*) \cdot \mathbf{ER}_t)_{t \in \mathbb{N}_0}$  of the public good. However, we would like to use a more sophisticated approach and isolate effects:

$$\begin{aligned} \Delta\alpha^* &= \alpha_{t+1}^* - \alpha_t^* \\ &= \underbrace{\alpha_{t+1}^* - \alpha_{t+1}^{(*)}}_{\text{(II)}} + \underbrace{\alpha_{t+1}^{(*)} - \alpha_t^*}_{\text{(I)}}. \end{aligned} \quad (4)$$

Here,  $\alpha_{t+1}^{(*)}$  is the share of expected revenues that would be optimal with digitization in hiding costs – i.e.  $c_{t+1}$  – but without progress on governmental level – i.e.  $p_t(\cdot)$ . Therefore, (I) measures the change in  $\alpha^*$  which is due to the individual’s improved evasion conditions given that the state does not experience progress in the audit detection process (‘*cost shrinkage effect*’ CSE) and (II) quantifies the change in  $\alpha^*$  that results from the updated audit conditions given the progress in the evasion setting already took place (‘*audit improvement effect*’ AIE). If we insert the  $\alpha_{t+1}^{(*)}$  into  $s$ ,  $p$  and  $(1 - \alpha) \cdot \mathbf{ER}$ , respectively, we are able to separate effects and account for the pure reactions that results from the improved framework conditions on the authority side. However, for an overall evaluation of digitization in a  $(c_t, p_t(\cdot))_{t \in \mathbb{N}_0}$  setting, we have to consider aggregated net effects. We will call a digitization step  $t \rightarrow t + 1$  *tax-favoring* if available resources  $(1 - \alpha) \cdot \mathbf{ER}$  for the public good increase, *tax-neutral* if they remain constant and *tax-aggressive* if they decline. The definition manifests a vague intuition of whether progress is stronger on evasion or enforcement side, i.e. the question of digitization favoring rather the hunters or the hunted. Please note that there is not necessarily an inverse 1:1-relation to the share  $\alpha$ . A rise in  $\alpha$  might cause a higher  $\mathbf{ER}$  such that the latter increase overweighs lower public good’s share  $(1 - \alpha)$  on available resources. The exact relation might be subject to further research.

### III. SIMULATION

In the following simulation we visualize the theoretical results of the previous section. Please note that tax evasion, by definition, is not that simple to measure. Alstadsæter et al. (2019) [1] were able to estimate its extend in the Scandinavian case due to Leakage data, which is a rather lucky circumstance. There is literature on the extend of shadow economy (see e.g. Buehn and Schneider (2012) [6]), but real extend of evasion is hard to measure and, therefore, our simulation does not claim any quantitative correctness and is for illustrative purpose only. The calculation was performed in R [7] and is based on the following specification:

We consider an individual with taxable base  $y = 1,000$  and a utility function  $U(x) = \sqrt{x}$ . The state enjoins a statutory tax rate  $\tau = 50\%$  and punishes misconduct with an additional penalty rate of  $f = 1$ . Since the individual cannot lose more than the taxable base itself in the bad case,  $s^*$  must be chosen such that  $y^a(s)$  remains non-negative. Moreover, we limit ourselves to a time horizon of  $T = 100$ , where costs of hiding and probability of detection at time

$t$  shape as

$$\begin{aligned} c_t &= 0.1 \cdot (1 + 0.95^t) \\ \text{and } p_t(\alpha) &= 0.5 \cdot \left(1 - \frac{1}{1+\alpha}\right) \cdot \left(1 + \frac{t}{100}\right). \end{aligned}$$

Since it is not possible to derive results analytically on computational level, we optimize along a grid of parameters with step width 1 for  $s$  and 0.01 for  $\alpha$ . The respective optima are then retrieved by a simple maximum query.

For  $t = 0$  we obtain an optimal share  $\alpha_0^* = 0.302$ , indicating itself an audit probability of  $p_0(\alpha_0^*) = 11.6\%$  and an evasion amount  $s_0^* = 622$ . The expected revenues amount to  $\mathbf{ER} = 261.1$ , whereof public goods worth 182.3 are provided and the remaining 58.8 monetary units are used for the maintenance of tax enforcement. The overall revenues as well as the amount spent for public goods depending on  $\alpha$  are presented in Fig. 1.

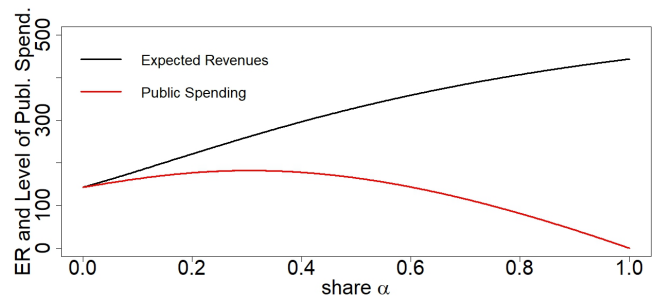


Fig. 1. Expected Revenues and Public Spending depending on  $\alpha$  in case of  $t = 0$ .

Inserting digitization via consideration of the ongoing time component  $t$  now, we can trace the path of amount of public spending  $(1 - \alpha_t) \cdot \mathbf{ER}_t$  over time, which is displayed in Fig. 2.

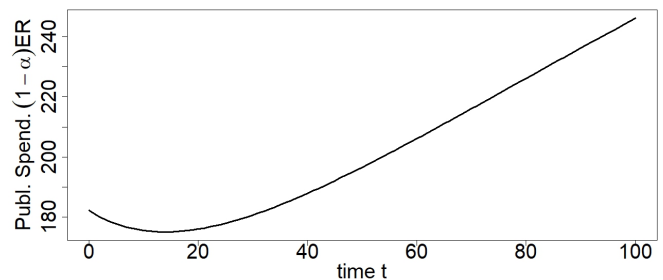


Fig. 2. Public Spending depending on time  $t$ .

Here, it is obvious that up to  $t \approx 15$  digitization works against public spending, which we classified as *tax-aggressive progress*. Costs decline exponentially, whereas the probability of detection potential basically just rises in a linear way. However, beyond around  $t \approx 15$ , technical progress favors rather the governmental side, i.e. digitization is *tax-favoring*, as the detection framework overrules the cost savings on the individual level. The optimal evasion amounts and audit probabilities (not shown here) behave roughly inversely shaped to the public spending and almost linearly increasing, respectively, which also goes in line with the intuition. More interesting in that matter

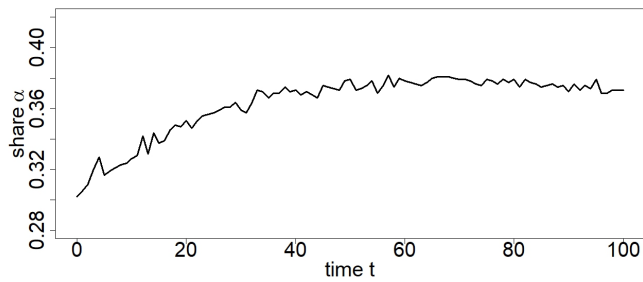


Fig. 3. Share  $\alpha$  depending on time  $t$ .

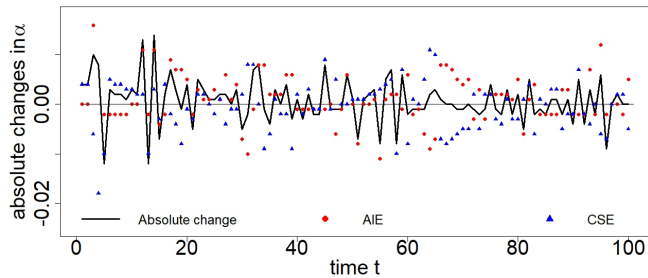


Fig. 4. Time-dependent absolute changes in  $\alpha$ , incl. decomposition into CSE and AIE.

might be the corresponding shares of tax enforcement expenditures: they are portrayed by Fig. 3 and seem to be quite volatile. For a general tendency, they increase from 0.3 to 0.37 in the first half of the observation period and stagnate in the second half.

As for the decomposition into CSE and AIE, Fig. 4 proves that there is quite some variation in the effects. They are not even unambiguous in their sign, which might be due to the deep and intertwined rootedness of the costs and the probability into the target value or the unsmooth computational optimization.<sup>3</sup>

However, this short simulation shall be understood rather as a short application than deep insight into the matter. Therefore, an extended analysis of the interaction of model key figures is needed and will be subject to further research.

#### IV. CONCLUSION

This paper provides a model for the analysis of the optimal share of expenditures for tax enforcement on total tax revenues with consideration of individuals' evasion responses. In a guns vs. butter framework, the government chooses the optimal allocation of resources in order to maximize the provision of public goods and services. Depending

<sup>3</sup>Even other cost and probability functions do not erase ambiguity.

on digitization influences and whom they favor, the optimal share might change over time and, therefore, should not be treated as a static component. From a governmental perspective, digitization can be a curse – as it widens and simplifies the individual's evasion incentives – or a blessing – as it improves the state's monitoring options. However, effects are still ambiguous in their signs and additional investigation of the model is needed in order to provide reliable information on the interaction of the included levers. Some criticism, that often comes along with the Allingham/Sandmo model, is the breaking down of a complex evasion decision to pure economic thinking alone. In practice, evasion amounts are less than the model suggests, which is certainly due to unconsidered moderating factors, such as psychological or social components.

Moreover, computerization and globalization have been treated as exogenously given. Endogenizing progress might provide a more realistic framework, because higher expenditures rise progress itself (as more resources can be dedicated to consultancy or research). Nevertheless, regarding the preceding development of tax enforcement since the beginning of collecting levies, 'digitization' has been working for both sides. People and governments do always react to incentives and all in all, digitization is just another brick in the wall.

#### ACKNOWLEDGMENT

Special thanks to the Institute of Economics at Technische Universität Braunschweig and its staff for revision and mental support. Moreover, thanks to the scientific research staff at the Institute of Marketing, the Institute of Management and the Institute of Finance for helpful ideas and lunch discussions.

#### REFERENCES

- [1] A. Alstadsæter, N. Johannesen, and G. Zucman, "Tax evasion and inequality," *American Economic Review*, vol. 109, no. 6, pp. 2073–2103, 2019.
- [2] P. Bacchetta and M. P. Espinosa, "Information sharing and tax competition among governments," *Journal of International Economics*, vol. 39, no. 1-2, pp. 103–121, 1995.
- [3] M. Keen and J. E. Ligthart, "Incentives and information exchange in international taxation," *International Tax and Public Finance*, vol. 13, no. 2-3, pp. 163–180, 2006.
- [4] —, "Revenue sharing and information exchange under non-discriminatory taxation," *Scandinavian Journal of Economics*, vol. 109, no. 3, pp. 487–504, 2007.
- [5] M. G. Allingham and A. Sandmo, "Income tax evasion: A theoretical analysis," *Journal of public economics*, vol. 1, no. 3-4, pp. 323–338, 1972.
- [6] A. Buehn and F. Schneider, "Shadow economies around the world: novel insights, accepted knowledge, and new estimates," *International tax and public finance*, vol. 19, no. 1, pp. 139–171, 2012.
- [7] R Core Team, *R: A Language and Environment for Statistical Computing*, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2017. [Online]. Available: <https://www.R-project.org/>

# The impact of digitalisation on fiscal systems – An explorative review

## Auswirkungen der Digitalisierung auf das Steuerwesen – Eine explorative Betrachtung

Jutta Henke

Steuerberater Henke, Meine b. Gifhorn, Deutschland

**Abstract** — Advances in digitalisation have led to an increased complexity in the relation between employers and employees. On the one hand, typical workday arrangements have become versatile, like e.g. progress in home office conventions or changes in travelling behaviour. On the other hand, digital triggers of social change implicate a perceptible impact on the design of modern payment models. In the recent past legislative authorities have shown intensified efforts to cope with these modified circumstances by establishing more sophisticated and flexible models of salary accounting. The present study focusses an explorative acclaim concerning the fields that are currently predominant.

**Zusammenfassung** — Die voranschreitende Digitalisierung führt zu einer gestiegenen Komplexität in der Beziehung zwischen Arbeitgebern und Arbeitnehmern. Einerseits verwirklicht sich diese durch eine vielfältigere Ausgestaltung des Arbeitsalltags, etwa durch ein Voranschreiten von Formen der Telearbeit oder ein verändertes Reiseverhalten. Andererseits nimmt der durch die Digitalisierung implizierte gesellschaftliche Wandel auch Einfluss auf die Gestalt moderner Zuwendungsarten und Entlohnungsmodelle. In der jüngeren Vergangenheit sind verstärkt Bestrebungen der öffentlichen Verwaltung erkennbar, diesen neuen Rahmenbedingungen durch flexiblere, stärker differenzierte Abgabenmodelle Rechnung zu tragen. Der vorliegende Beitrag widmet sich einer felderschließenden Würdigung der derzeit dominierenden Wirkungsfelder.

### I. EINLEITUNG

#### A. Motivation und Problemstellung

Das Verhältnis zwischen Arbeitnehmern und Arbeitgebern unterliegt infolge der Digitalisierung des Alltags sich derzeit stark verändernden Voraussetzungen. Hierbei beschränken sich wesentliche Veränderungen nicht auf die ausgeübten Tätigkeiten oder den Ort der Ausübung im Rahmen der alltäglichen Arbeitsabläufe. Vielmehr bewirkt die Etablierung digitaler Technologien in der Gesellschaft auch Änderungen der typischerweise vorgenommenen Formen der Entlohnung und möglicher Zuwendungen (vgl. hierzu z.B. [1], S. 430). In diesem Zusammenhang sind seitens der gesetzgebenden Gewalt zunehmende Bemühungen wahrzunehmen, den betreffenden Entwicklungen durch eine angepasste und deutlicher aufgefächerte Steuerpolitik zu begegnen (vgl. [2], S. 103).

Gegenstand der nachfolgenden Abschnitte ist zunächst die Darstellung der Leitfragen des Vorhabens. Hierauf aufbauend werden eine grundlegende Einordnung sowie eine begriffliche Klärung und eine thematische Abgrenzung vorgenommen. Die anknüpfende Diskussion aktueller Digitalisierungsauswirkungen auf den Lohnsteuersektor bildet den Kern der Studie. In der Folge werden die gewonnenen Erkenntnisse einer kritischen Würdigung unterzogen sowie Handlungsempfehlungen und mögliche künftige Entwicklungen skizziert.

#### B. Forschungsleitfragen

Die formulierten Forschungsleitfragen, die im vorliegenden Kontext explizit beantwortet werden sollen, lauten:

- Welche Maßnahmen eignen sich, Arbeitnehmern über den Barlohn hinaus Vergütungen zu gewähren?

- In welchem zeitlichen Kontext können diese Gestaltungsmöglichkeiten eingeordnet werden?
- Welche Maßnahmen können für eine breite Masse von Beschäftigten von Interesse sein?
- Wie beeinflusst die Inanspruchnahme dieser Vergütungen die einkommensteuerliche Belastung?
- Wie können die betreffenden Maßnahmen arbeitgeberseitig effizient umgesetzt werden?

### II. GRUNDLAGEN

Mit Blick auf ein einheitliches Verständnis werden im Folgenden die zur thematischen Einordnung erforderlichen Definitionen und Begriffe erläutert. Zudem werden die Fragestellung und der untersuchte Bereich von anderen Forschungsfeldern thematisch abgegrenzt.

#### A. Einkommensteuerliche Einordnung

Durch steuerfreie Zuwendungen des Arbeitgebers an den Arbeitnehmer wird dessen Einkommen nicht beeinflusst. Somit hat ein Arbeitnehmer ein niedrigeres Gesamteinkommen, wenn er Teile seines Arbeitslohns von seinem Arbeitgeber steuerfrei erhält, was sich mindernd auf seinen Steuersatz auswirkt. Da der Steuersatz auch für die übrigen Einkünfte eines Arbeitnehmers – wie etwa aus Vermietung und Verpachtung, selbstständiger Tätigkeit oder Gewerbebetrieb – gilt, sind auch die übrigen Einkünfte des Arbeitnehmers geringer zu versteuern, wenn nicht alle Einkünfte aus seiner Angestelltentätigkeit steuerpflichtig sind. Auch auf die Einkünfte eines Ehegatten wirkt sich ein geringerer Steuersatz begünstigend aus, wenn die Eheleute eine gemeinsame Steuererklärung abgeben. Zu beachten ist, dass steuerfreie Zuwendungen für den Arbeitnehmer Auswirkungen auf dessen Werbungskostenabzug haben, da dieser nur solche Aufwendungen in seiner Einkommensteuererklärung als Kosten ansetzen kann, mit denen er tatsächlich belastet

ist. Hierbei ist entscheidend, dass er diese selbst gezahlt oder als Arbeitslohn versteuert hat. Bei steuerfreien Gewährungen seitens des Arbeitgebers an den Arbeitnehmer entfällt der Werbungskostenabzug indes grundsätzlich.

### B. Begriffsklärung

Als Barlohn wird jeglicher Arbeitslohn in Geld bezeichnet, unabhängig davon, ob er bar oder per Überweisung ausgezahlt wird. Davon abzugrenzen ist Sachlohn, der jeglichen Arbeitslohn in Geldeswert darstellt. Vergütung ist die Gegenleistung durch den Arbeitgeber für die Arbeitsleistung des Arbeitnehmers. Eine Gestaltungsmöglichkeit ist dabei immer dann gegeben, wenn der Gesetzgeber einen gewissen Spielraum bei der Versteuerung einer bestimmten Vergütung in seinem Gesetzestext offengelassen hat und der Arbeitgeber diesen für sich nutzen kann.

### C. Thematische Abgrenzung

Im Kontrast zur lohnsteuerlichen Betrachtungsweise sind die körperschaftsteuerlichen, gewerbesteuerlichen und umsatzsteuerlichen Auswirkungen der betreffenden Sachverhalte im Kontext des vorliegenden Beitrags nicht relevant. Zudem haben lohnsteuerfreie und pauschal besteuerte Zuwendungen ebenfalls einen Einfluss auf die Sozialversicherung, da diese gleichzeitig sozialversicherungsfrei sind. Auch eine detaillierte Behandlung des Sozialversicherungsrechts soll in diesem Beitrag jedoch nicht fokussiert werden. So wird mit dem vorliegenden Beitrag auf eine grundlegende Erörterung des Verhältnisses zwischen Arbeitgeber und Arbeitnehmer aus Managementsicht abgestellt, nicht jedoch auf unternehmerische Vergünstigungsmöglichkeiten im steuerlichen Bereich.

## III. GESTALTUNGSOPTIONEN

### A. Sachzuwendungen

Bei der Gewährung steuerfreier Zuwendungen in Form von Sachwerten an Arbeitnehmer ist zu unterscheiden in Aufmerksamkeiten und monatliche Sachzuwendungen. Aufmerksamkeiten sind bis zu einem bestimmten Umfang brutto steuerfrei (vgl. hierzu z.B. [3], S. 46 f.). Bei ihnen handelt es sich um Zuwendungen anlässlich eines besonderen persönlichen Ereignisses vom Arbeitgeber an den Arbeitnehmer. Dies sind beispielsweise Geburtstage, Jubiläen, eine Hochzeit oder die Geburt eines Kindes. Es kann dabei den Arbeitnehmer, aber auch seinen Ehegatten, Verlobten oder andere Verwandte des Arbeitnehmers betreffen. Davon abzugrenzen sind Sachzuwendungen an einen Arbeitnehmer ohne besonderes persönliches Ereignis, wie etwa anlässlich von Feiertagen. Hier greift die geringere monatliche Sachbezugsfreigrenze (vgl. in diesem Zusammenhang z.B. [4], S. 59). Zuwendungen in Form von Sachwerten, wie etwa auch Gutscheine, sind für einen Arbeitnehmer bis zum betreffenden monatlichen Betrag steuerfrei.

### B. Dienstreisen

Die lohnsteuerliche Berücksichtigung von Auswärtstätigkeiten ist in Abbildung 1 dargestellt. Anlässlich von Dienstreisen können dem Arbeitnehmer vom Arbeitgeber Fahrtkosten, Übernachtungskosten oder Verpflegungsmehraufwendungen steuerfrei erstattet werden. Bei den Fahrtkosten können entweder Auslagen für Bahntickets ersetzt werden, oder es können Pauschalen pro gefahrenen Kilometer mit dem privaten PKW des Arbeitnehmers steuerfrei erstattet werden (vgl. [5], S. 16). Bei Übernachtungskosten ist es möglich, die Auslagen des Arbeitnehmers für eine Hotelübernachtung zu erstatten oder auch Pauschalen für Übernachtungskosten zu ersetzen, die für jedes Land unterschiedlich sind und vom Gesetzgeber jährlich fest-

gelegt werden, wenn der Arbeitnehmer statt in einem Hotel etwa bei Verwandten übernachtet.

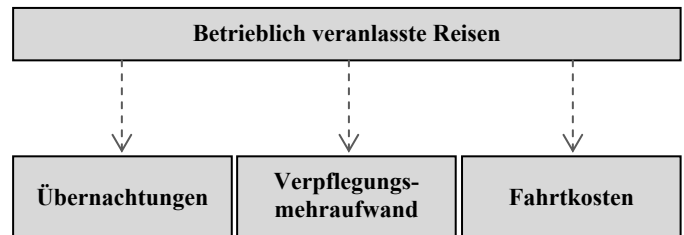


Abb. 1. Lohnsteuerliche Berücksichtigung von Auswärtstätigkeiten

Bei den Verpflegungsmehraufwendungen handelt es sich um Pauschalen, die abhängig von der Dauer der Abwesenheit des Arbeitnehmers von seiner ersten Tätigkeitsstätte sind (vgl. [6], S. 47). Bei einer Abwesenheit von mehr als acht Stunden kann dem Arbeitnehmer in Deutschland ein bestimmter Betrag steuerfrei erstattet werden. Bei mehrtägigen Reisen gilt dieser auch für den An- und Abreisetag. Für Zwischentage ist ein höherer Betrag erstattungsfähig. Bei Reisen ins Ausland gelten abweichende Pauschalen, die wiederum jährlich festgelegt werden. Gewährt der Arbeitgeber dem Arbeitnehmer Mahlzeiten, wie etwa ein in der Hotelübernachtung enthaltenes Frühstück, so sind die Verpflegungsmehraufwendungen je nach Mahlzeit um einen bestimmten Anteil der vollen Tagespauschale zu kürzen.

### C. Dienstwagen

Sofern Arbeitnehmer von ihrem Arbeitgeber einen Dienstwagen zur privaten Nutzung überlassen bekommen, stellt diese Überlassung einen geldwerten Vorteil dar, der vom Arbeitnehmer zu versteuern ist, da die private PKW-Nutzung einen Teil der Bezahlung für die Arbeitsleistung des Arbeitnehmers darstellt. Der Arbeitnehmer hat die Möglichkeit, ein Fahrtenbuch zu führen und mit diesem die privat gefahrenen Kilometer nachzuweisen, die dann prozentual zur Gesamtleistung des PKW zu versteuern sind (vgl. hierzu z.B. [7], S. 52 ff.). Da an die Führung eines Fahrtenbuches vom Gesetzgeber formale Vorschriften geknüpft sind und die Führung eines Fahrtenbuches zeitaufwendig sein kann, verzichten Arbeitnehmer typischerweise auf ein Fahrtenbuch und nehmen eine Pauschalregelung auf Basis des Bruttolistenpreises in Anspruch (vgl. in diesem Zusammenhang z.B. [8], S. 8). Fahrten zwischen Wohnung und erster Tätigkeitsstätte mit dem Dienstwagen müssen vom Arbeitnehmer zusätzlich zur privaten PKW-Nutzung versteuert werden.

### D. Weiterführende Mobilitätsregelungen

Zu Beginn des Jahres 2019 wurde die Möglichkeit geschaffen, dass der Arbeitgeber dem Arbeitnehmer zusätzlich zum ohnehin geschuldeten Arbeitslohn ein Fahrrad oder E-Bike zur privaten Nutzung steuerfrei überlassen kann (vgl. hierzu z.B. [9], S. 102). Auch Aufwendungen für die Nutzung öffentlicher Verkehrsmittel im Linienverkehr können dem Arbeitnehmer steuerfrei ersetzt werden (vgl. [10], S. S. 191 und S. 201). Die Steuerfreiheit gilt im öffentlichen Personennahverkehr auch dann, wenn der Arbeitnehmer die betreffende Monats- oder Jahreskarte auch für private Fahrten nutzen kann. Durch Maßnahmen dieser Art wird angestrebt, die Nutzung von Fahrrädern, E-Bikes und öffentlichen Verkehrsmitteln für Arbeitnehmer attraktiver zu gestalten.

### E. Gesundheitsförderung

Weiterhin gefördert werden erbrachte Leistungen des Arbeitgebers zur Verbesserung des allgemeinen Gesundheitszu-

stands und der betrieblichen Gesundheitsförderung durch den Arbeitgeber für seine Arbeitnehmer. Leistungen wie Rückenkurse, Sportkurse, Massagen oder Vorsorgeuntersuchungen können bis zu einem bestimmten jährlichen Betrag dem Arbeitnehmer steuerfrei ersetzt werden (vgl. in diesem Zusammenhang [11], S. 258). Abzugrenzen sind jedoch solche Maßnahmen, die den Freizeitbereich des Arbeitnehmers berühren und daher nicht begünstigt sind, wie etwa der Eintritt in ein Schwimmbad (vgl. [12], S. 37 f.). Darüber hinaus gibt es die Möglichkeit, Bildschirmarbeitsplatzbrillen oder ergonomische Schreibtische und -stühle ohne Anrechnung auf den Arbeitslohn zur Verfügung zu stellen, da hier ein überwiegend eigenbetriebliches Interesse des Arbeitgebers besteht, die Arbeitsfähigkeit des Arbeitnehmers zu verbessern oder zu erhöhen.

#### F. Betriebsveranstaltungen

Betrieblich organisierte Veranstaltungen, die der Arbeitgeber für seine Arbeitnehmer und deren Begleitpersonen ausrichtet, sind pro Arbeitnehmer und Veranstaltung bis zu einem bestimmten Betrag steuerfrei (vgl. hierzu z.B. [13], S. 46 f.). Zu den Zuwendungen an die Arbeitnehmer zählen dabei alle Aufwendungen für die Veranstaltung mit ihrem Bruttobetrag, unabhängig davon, ob diese dem Arbeitnehmer individuell zuzurechnen sind, oder im Rahmen einer prozentualen Zurechnung im Fall von Gemeinkosten. Es handelt sich hierbei im Gegensatz zu einer Freigrenze um einen Freibetrag, der für zwei Betriebsveranstaltungen pro Jahr gilt. Aufwendungen, die auf Begleitpersonen entfallen, sind dem jeweiligen Arbeitnehmer zuzurechnen. Der den Freibetrag übersteigende Teil kann entweder durch den Arbeitnehmer individuell mit seinem persönlichen Steuersatz oder durch den Arbeitgeber mit einem pauschalen Steuersatz versteuert werden (vgl. [14], S. 61 f.). Hier besteht seitens des Arbeitgebers ein Wahlrecht, welche Besteuerungsmöglichkeit er nutzt.

### IV. ZUSAMMENFASSUNG

#### A. Fazit

Im Rahmen der vorstehenden Ausführungen wurden für Arbeitgeber auf dem Digitalisierungsfortschritt beruhende Vergütungsmöglichkeiten geschildert, Arbeitnehmern über den Barlohn hinaus Zuwendungen zu gewähren. Jegliche Zuwendungen des Arbeitgebers an den Arbeitnehmer anlässlich der Arbeitsleistung des Arbeitnehmers stellen dabei grundsätzlich Arbeitslohn dar. Der Arbeitslohn kann jedoch steuerpflichtig oder steuerfrei sein oder durch den Arbeitgeber pauschal versteuert werden.

#### B. Kritische Würdigung

Problematisch bei der Einordnung der Vergütungen an einen Arbeitnehmer ist, dass teilweise Überschneidungen zwischen den einzelnen Zuwendungen möglich sind. Als Arbeitgeber ist in diesem Fall eine Abgrenzung vorzunehmen, um die richtige Versteuerung sicherzustellen. Zudem ist nicht immer eindeutig, ob eine Vergütung in eine steuerfreie oder steuerpflichtige Kategorie von Arbeitslohn fällt. Hierin kann ein Risiko bestehen, da bei einer nicht korrekten Versteuerung von Arbeitslohn im Rahmen von späteren Prüfungen Nachzahlungen entstehen können, die die Unternehmen in ihrer Liquidität belasten können, da das Management mit der Zahlung der entsprechenden Beträge aufgrund einer anderen Einordnung des Sachverhalts nicht gerechnet hat. Um dieser Problematik entgegenzuwirken, hat der Gesetzgeber im Bereich der Lohnsteuer das Konstrukt einer Lohnsteueranrufungsauskunft geschaffen (vgl. [15], S. 133). Dieses bietet jedem Unternehmen als Arbeitgeber die Möglichkeit einen lohnsteuerlichen Sachverhalt vorab oder auch bereits nach Verwirklichung prüfen zu lassen,

um eine Klärung der vorzunehmenden Versteuerung und damit Rechtssicherheit für sich zu schaffen. Durch diese Auskunft kann das Risiko des späteren Vorwurfs einer Steuerhinterziehung beseitigt werden.

### V. AUSBLICK

#### A. Handlungsempfehlungen

Aus der Perspektive des Gesetzgebers sollten die Beträge für steuerfrei mögliche Zahlungen geringfügig erhöht werden, um einerseits eine Anpassung der teilweise bereits länger unveränderten Beträge an die Inflation zu erreichen und andererseits einen Bürokratieabbau, da eine Prüfung dann nicht bereits bei Kleinstbeträgen erforderlich wäre. Darüber hinaus könnte der Gesetzgeber bei teilweisen Vorschriften die zeitlichen Beschränkungen aufheben, wie zum Beispiel bei der steuerfreien Zurverfügungstellung von Fahrrädern und E-Bikes an die Arbeitnehmer, da hier eine Befristung bis zum Beginn des Jahres 2021 gegeben ist. Diese erscheint nicht zeitgemäß, da der Zweck dieser Vorschrift ist, dass sich mehr Arbeitnehmer mit E-Bikes und Fahrrädern fortbewegen und dies auch nach Ablauf der Befristung noch gegeben sein wird. Zudem könnten Vereinfachungen geschaffen werden, indem etwa eine Abschaffung der unterschiedlichen Beträge für Verpflegungsmehraufwendungen und Übernachtungskostenpauschalen für unterschiedliche Länder aufgehoben und einheitliche Beträge festgesetzt werden.

Aus der Perspektive der Arbeitgeber könnten neue Anreize geschaffen werden, da diese von den steuerfreien Zuwendungen häufig Abstand nehmen. Grund hierfür ist, dass wegen noch offener Verfahren Unklarheiten bestehen können und der Verwaltungsaufwand für den Nachweis der jeweiligen Voraussetzungen der entsprechenden Normen kosten- und zeitintensiv sein kann. Ungeachtet dessen können sich Arbeitgeber durch den Gebrauch der unterschiedlichen steuerfreien Vergütungsmöglichkeiten einen Wettbewerbsvorteil verschaffen, indem sie ihre Position beim Werben von neuen Arbeitnehmern in Zeiten von Fachkräftemangel und digitalisierungsbedingt hohem Konkurrenzdruck im Vergleich zu anderen Unternehmen verbessern. Arbeitgeber können die unterschiedlichen Zuwendungsoptionen zudem individuell auf ihre Arbeitnehmer abstimmen, um einen größtmöglichen Nutzen bei den Arbeitnehmern zu erreichen, da somit das Leistungspotential der Arbeitnehmer bestmöglich ausgeschöpft und auch neue Motivation generiert werden kann.

#### B. Künftige Entwicklungen

Derzeit ist eine Anhebung des Übungsleiterfreibetrages ab dem Jahr 2020 Gegenstand der Diskussion. Gleichzeitig wird über eine Anhebung der Ehrenamtspauschale beraten, wodurch das Engagement für ehrenamtliche Tätigkeiten erhöht werden könnte. Des Weiteren ist momentan eine Erhöhung der Pauschalen für Verpflegungsmehraufwendungen ab Beginn des Jahres 2020 geplant. Für Jobtickets, die den Arbeitnehmern im Rahmen der Gehaltsumwandlung gewährt werden, greift keine Steuerfreiheit, sondern diese sind bisher steuerpflichtig, wenn sie einen bestimmten monatlichen Betrag überschreiten. Hier soll eine pauschale Versteuerungsmöglichkeit durch den Arbeitgeber geschaffen werden.

Zuschüsse für Fort- und Weiterbildungen sind bisher nur dann steuerfrei, wenn sie im ganz überwiegend eigenbetrieblichen Interesse des Arbeitgebers stattfinden, demnach also die Arbeitsfähigkeit des Arbeitnehmers in seinem konkreten Tätigkeitsgebiet verbessern. Geplant ist hier eine Ausweitung der steuerfreien Auslagererstattung an Arbeitnehmer für Weiterbildungen, welche lediglich der Beschäftigungsfähigkeit von Mitarbeitern dienen, so etwa Sprachkurse oder Computerkurse, die

nicht notwendigerweise arbeitsplatzbezogen sind. Langfristig wird für den Erfolg der Gestaltungsoptionen entscheidend sein, ob es gelingt, ihre Integration in derart schlanker Form zu implementieren, dass der Nutzen gegenüber dem arbeitgeberseitig wahrgenommenen Managementaufwand dominiert.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Kollmann, T.: "E-Business-Model-Generator", in: Kaluza, B.; Braun, K. D.; Beschoner, H.; Rolfes, B. (Hrsg.): *Betriebswirtschaftliche Fragen zu Steuern, Finanzierung, Banken und Management*, S. 429-445, Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2017
- [2] Dinkelbach, A.: *Ertragsteuern – Einkommensteuer, Körperschaftsteuer, Gewerbesteuer*, 7. Auflage, Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2017
- [3] Scholz, G.: "Der Teufel steckt im Detail", in: *Der freie Zahnarzt – Praxismanagement*, Vol. 63, No. 7-8, S. 46-47, Verlag Springer Medizin, FVDZ, Hannover, 2019
- [4] Carl, G.: "Steuerbegünstigte Zusatzentlohnung – Gute Arzthelferinnen an die Praxis binden", in: *Pädiatrie*, Vol. 30, No. 6, S. 58-59, Verlag Springer Medizin, Berlin, 2018
- [5] Nickenig, K.: *Reisekostenrecht – Schneller Einstieg in die wesentlichen Grundbegriffe und aktuellen Regelungen*, Schriftenreihe "essentials", Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2019
- [6] Frodl, A.: *Betriebshandbuch für Gesundheitseinrichtungen – Leitfaden für das Regelwerk von Gesundheitsbetrieben*, Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2019
- [7] Weber, M.: "Der Einsatz eines Dienstwagens", in: *Heilberufe – Das Pflegemagazin*, Vol. 69, No. 11, S. 52-54, Verlag Springer Medizin, Berlin, 2017
- [8] Zimmermann, G. W.: "Extras beim Dienstwagen gelten nicht bei 1%-Regelung", in: *MMW – Fortschritte der Medizin*, Vol. 153, No. 16, S. 8, Verlag Springer Medizin, Berlin, 2011
- [9] Pez, P.: "Reisezeitexperimente als Forschungs- und Evaluierungsinstrument – Ergebnisse aus Feldstudien in Lüneburg, Hamburg und Göttingen", in: Wilde, M.; Gather, M.; Neiberger, C.; Scheiner, J. (Hrsg.): *Verkehr und Mobilität zwischen Alltagspraxis und Planungstheorie – Ökologische und soziale Perspektiven*, S. 99-112, Verlag Springer VS, Wiesbaden, 2017
- [10] Fritz, S.; Schneider, H. J.: *Erfolgs- und Kapitalbeteiligung – Vom Mitarbeiter zum Mitunternehmer*, 8. Auflage, Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2018
- [11] Kovatsch, E.: "Gesunde Ernährung – Gesunde Mitarbeiter", in: Hahnzog, S. (Hrsg.): *Betriebliche Gesundheitsförderung – Das Praxishandbuch für den Mittelstand*, S. 255-259, Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2014
- [12] Bentner, A.: *Gesundheitsmanagement für Einsteiger – Wege zur gesunden Organisation – Impulse für kleine und mittlere Unternehmen*, Schriftenreihe "essentials", Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2018
- [13] Nuri, M.: "Feste feiern mit den Mitarbeitern", in: *Der freie Zahnarzt – Praxismanagement*, Vol. 63, No. 9, S. 46-47, Verlag Springer Medizin, FVDZ, Hannover, 2019
- [14] Schewe, P.; Fischer, R.: *Praxishandbuch Betriebsprüfung im Sozialversicherungsrecht – Optimal vorbereiten – Nachzahlungen vermeiden*, 2. Auflage, Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2017
- [15] Butz, W.-D.; Hartmann, R.; Weise, P.-F.: *Rechtsmittel im Steuerrecht – Praxishandbuch Einspruchsverfahren und Finanzgerichtsprozess*, Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2017

# Digitalization and labor market – perspectives and challenges

## Digitalisierung und Arbeitsmarkt – Perspektiven und Herausforderungen

Zwetelina Gankova - Ivanova

Technical University of Gabrovo, Faculty of Economics  
Gabrovo, Bulgaria, e-mail: zwetelina\_gankova\_7@yahoo.de

**Abstract** — The aim of this paper is to analyze the impact of the digitalization of the economy and the introduction of digital technologies on the labor market worldwide, and to show that this digitalization causes new challenges both for the vocational training and qualification, and in terms of mechanisms and functioning of the labor market. It is shown that under these conditions the state and the institutions need to develop adequate frameworks and policies to cope with such effects as income inequality, technological unemployment, employment polarization and others. It is underlined that more than ever it is necessary to devise appropriate policies to ensure coordination between education and labor market needs and, in this sense, entrepreneurship worldwide.

**Zusammenfassung** Das Ziel des vorliegenden Beitrages besteht darin, den Einfluss der Digitalisierung der Wirtschaft und der Einführung digitaler Technologien weltweit auf den Arbeitsmarkt zu analysieren und zu zeigen, dass diese Digitalisierung neue Anforderungen sowohl vor die Berufsausbildung und -qualifizierung, als auch vor die Mechanismen und die Funktionsweise des Arbeitsmarktes stellt. Es wird gezeigt, dass der Staat und die Institutionen unter diesen Bedingungen adäquate Rahmenbedingungen und Politiken erarbeiten müssen, um solche Effekte wie Einkommensungleichheit, technologische Arbeitslosigkeit, Beschäftigungspolarisierung und andere zu bewältigen. Es wird hervorgehoben, dass es mehr denn je notwendig ist, entsprechende Politiken zu konzipieren, um die Abstimmung zwischen Ausbildung und Anforderungen des Arbeitsmarktes und in diesem Sinne der Wirtschaft weltweit zu gewährleisten.

### I. EINFÜHRUNG

Die Digitalisierung wird in der heutigen globalen vernetzten Welt zunehmend zu einem bedeutenden Faktor für den Strukturwandel sowohl der globalen als auch der nationalen Wirtschaft. Unter diesen Umständen werden die traditionellen Geschäftsentwicklungen - Reduzierung der Produktionskosten, Diversifizierung der Interaktionsformen mit Verbrauchern und Lieferanten, Investition in Innovation - größtenteils durch vorwiegend neue Geschäftsmodelle umgesetzt. Die Digitalisierung schafft neue Voraussetzungen für innovative Transformationen und Markterweiterungen. Vor dem Hintergrund von Strukturveränderungen, die hauptsächlich im realen Sektor stattfinden, ist es besonders wichtig, die Auswirkungen der Digitalisierung auf den Arbeitsmarkt zu ermitteln, um sie so weit wie möglich zu steuern.

Im vorliegenden Beitrag soll aufgezeigt werden, dass sich die Digitalisierung der Wirtschaft weltweit auch auf den Arbeitsmarkt auswirkt und dass diese Digitalisierung neue Anforderungen sowohl an die Berufsqualifikation und an die Berufsausbildung von Arbeitsmarktanbietern, als auch an die Funktionsweise des Arbeitsmarktes stellt. Die Rolle des Staates und der Institutionen, die die Rahmenbedingungen dafür schaffen, werden von einem neuen Standpunkt interpretiert. Von besonderem Interesse sind die Auswirkungen der Digitalisierung der Arbeit, die sicherlich zu Ungleichheiten, technologischer Arbeitslosigkeit und Polarisierung der Beschäftigung führen wird. Durch ausreichende Ausbildung und lebenslanges Lernen wird die

Arbeit jedoch kreativer, besser bezahlt und begehrenswerter für die jungen Menschen. All diese Prozesse müssen analysiert werden, um den Herausforderungen, die sich adäquat ergeben haben, gewachsen zu sein.

Die jüngsten Trends, die sich auf den Arbeitsmarkt auswirken, wie die zunehmende Polarisierung zwischen den hochqualifizierten Arbeitsplätzen, die Arbeitslosigkeit und die Unterbeschäftigung, die Gewinnstagnation für einen großen Teil der Unternehmen, die zunehmende Einkommensungleichheit und die politische Situation in vielen Ländern, werden von den Entwicklungen der internationalen Arbeitsprozesse beeinflusst.

Ein besonderes Interesse stellen außerdem die Entwicklung und die Umsetzung der digitalen Wirtschaft in Form einer verbesserten Produktion, die Automatisierung von Arbeitsplätzen durch moderne Technologien, einschließlich Robotik und künstlicher Intelligenz, die Steigerung der Arbeitsproduktivität und die Ersetzung der physischen durch digitale Dienstleistungskanäle dar, und, auch wenn ganze Berufe nicht automatisiert werden, wird die partielle Automatisierung fast den gesamten Weltarbeitsmarkt betreffen.

### II. DIE DIGITALISIERUNG DER WIRTSCHAFT UND DER WELTARBEITSMARKT

Bei der Analyse der Auswirkungen der Digitalisierung auf den globalen Arbeitsmarkt sollte eine besondere Aufmerksamkeit der Rolle von Informationstechnologien und

Innovationen geschenkt werden. Sie treten in den Arbeitsprozess zunehmend ein, indem sie Prozesse automatisieren und Roboter und künstliche Intelligenz einsetzen, um qualitativ neue Arbeitsplätze zu schaffen. Dabei werden andere Arbeitsplätze überflüssig und so entstehen neue Branchen, Produkte und Dienstleistungen. Die Einführung digitaler Technologien trägt zu einer größeren Flexibilität und zu neuen Formen der Beschäftigung und der Arbeitsorganisation bei. Nach Angaben der Europäischen Kommission sind rund 40% der europäischen Arbeitnehmer in den sogenannten Nicht-Standard-Beschäftigungsverhältnissen tätig. Dabei handelt es sich um Arbeit auf Internetplattformen, mehrfache Teilzeitarbeit, gemeinsame Nutzung von Arbeitskräften durch mehrere Arbeitgeber, die Arbeitsplatzteilung, wobei mehrere Arbeitnehmer als Gemeinschaft einen bestimmten Arbeitsplatz unter sich aufteilen, einen Arbeitsvertrag für null Stunden oder auf Antrag des Arbeitgebers. Die neuen Beschäftigungsformen stellen jedoch die Frage nach der Anpassung der Sozialsysteme, um den Arbeitnehmern den erforderlichen sozialen Schutz zu gewährleisten.

Die digitale Transformation stellt neue Anforderungen an das Berufsprofil der Belegschaft in Bezug auf neue digitale Kompetenzen, die für die Verbesserung der Beschäftigungsfähigkeit und die Arbeitssuche von entscheidender Bedeutung sind. Es wird erwartet, dass schon in zwei Jahren 90% der Arbeitsplätze in der Europäischen Union digitale Grundkenntnisse erfordern werden. Die Struktur der Arbeitskräftenachfrage ändert sich ebenfalls rasant. Die Verlagerung von Arbeitskräften von einem Sektor in den anderen geht auf Kosten anderer, wodurch ständig neue Anforderungen an Qualifikationen und Fähigkeiten gestellt werden. Es wird nicht mehr von einem berufsbierten, sondern von einem kompetenzbasierten Arbeitsmarkt gesprochen. Menschen mit einer Ausbildung müssen sich ständig neue Fähigkeiten aneignen, den von ihnen ausgeübten Beruf und ihren Arbeitsplatz wiederholt wechseln. Je effektiver das System diese Karriereübergänge unterstützt, desto erfolgreicher werden die öffentlichen Arbeitsverwaltungen sein, die die Karriereentwicklung zunehmend erleichtern sollen.

Anfang 2019 hat jeder zweite einen Internetzugang, und dies deutet darauf hin, dass die Digitalisierung bald die bestehenden Aktivitäten der Menschheit verändern und einen großen Einfluss auf die Struktur der Volkswirtschaften weltweit haben wird. Laut dem McKinsey Global Institute (MGI) können in den nächsten 20 Jahren bis zu 50% der weltweiten Arbeitsabläufe automatisiert werden [4]. Dies gilt für alle Arten von Arbeiten, die vorhersehbare, sich wiederholende physische Vorgänge sowie Aktivitäten zum Sammeln und Analysieren von Informationen erfordern. Infolgedessen wirkt sich die Automatisierung auf Arbeitsplätze aus, für die eine durchschnittliche Qualifikation erforderlich ist, was zu einer erheblichen Entlassung von Personal, Verringerung der Anzahl von Arbeitsplätzen, zur sekundären Weiter- und Fortbildung und zur Erhöhung der Lohnunterschiede führen wird. Angesichts der Tatsache, dass es 172,5 Millionen Arbeitslose weltweit gibt [10]. Das heißt, dass ungefähr 30-45% der Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter auf der Suche nach Arbeit oder in einer Teilzeitbeschäftigung und fast 75 Millionen junge Menschen offiziell arbeitslos sind. [6].

All diese Trends werden negative Konsequenzen haben. Die Digitalisierung wirkt sich jedoch auch positiv auf den Arbeitsmarkt aus. Beispielsweise schaffen die digitalen Plattformen neue Beschäftigungsmöglichkeiten. Sie tragen dazu bei, zusätzliche Fähigkeiten zu entwickeln und

Qualifikationen zu verbessern, insbesondere für Menschen, die zuvor aufgrund sozialer oder geografischer Einschränkungen keine solchen Möglichkeiten hatten.

Im Zusammenhang mit der Digitalisierung entstehen neue Berufe und hochbezahlte Jobs. Ein anschauliches Beispiel dafür ist der Konzern General Electric, ein traditionelles amerikanisches Maschinenbauunternehmen, das sich zum Ziel gesetzt hat, bis zum Jahr 2020 zu den zehn größten Unternehmen der Welt auf dem Gebiet der Softwareentwicklung zu gehören, und zieht jetzt aktiv hochqualifizierte Spezialisten für digitale Technologien an. Insbesondere plant General Electric, die Zahl der Entwickler auf 20.000 zu erhöhen. Dies ist eine revolutionäre Strategie und ein beispielloses Ziel für ein Unternehmen im Maschinenbausektor. [11]. Nach Prognosen der Vereinten Nationen [6] wird die Bevölkerung im erwerbsfähigen Alter in den nächsten zwei Jahrzehnten zurückgehen. Die Automatisierung wird dazu beitragen, die negativen Auswirkungen dieses Phänomens abzumildern. Unter solchen Bedingungen ist das „digitale“ Personal ein strategisches Menschenkapital. Sein Mangel führt zwangsläufig zu einer Verlangsamung des Wachstums sowohl der digitalen Wirtschaft als auch der Gesamtwirtschaft eines Landes.

### III. AUSSICHTEN FÜR DIE ENTWICKLUNG DES WELTARBEITMARKTES UNTER DEN BEDINGUNGEN DER DIGITALISIERUNG DER WIRTSCHAFT

Die Einführung digitaler Technologien und Dienstleistungen ins tägliche Leben kann die Lebensqualität der Bevölkerung erheblich verbessern und die soziale Ungleichheit aufgrund unterschiedlicher Einkommensniveaus oder Lebensstandards verringern. Durch die Digitalisierung können Bewerber ihre Karrieremöglichkeiten verbessern, indem sie moderne digitale Portale nutzen, um Arbeit zu finden und Zugang zu einer umfangreichen Datenbank relevanter Stellen zu erhalten. Der Einstellungsprozess und die Arbeitssuche werden beschleunigt, wodurch die Arbeitslosigkeit verringert werden kann. In den USA sind mehr als 130 Millionen Menschen auf der LinkedIn-Plattform registriert, was einen erheblichen Anteil der Erwerbsbevölkerung der Vereinigten Staaten darstellt.

Dank moderner digitaler Technologien ist es möglich, aus der Ferne zu arbeiten, wodurch die Beschäftigungseffizienz von Fachkräften aus Regionen gesteigert werden kann, in denen der lokale Bedarf begrenzt ist. In den Industrieländern liegt der Anteil solcher Arbeitnehmer bei mehr als 30% [4].

Die digitalen Plattformen tragen zur Produktivitätssteigerung bei, da sie zu einer besseren Übereinstimmung zwischen dem Jobprofil und dem Berufsprofil des Bewerbers beitragen. Darüber hinaus können sie die Arbeitslosigkeit sowie die Beschäftigung in der Schattenwirtschaft, aber auch die Dauer der Arbeitssuche wesentlich reduzieren. Ein Beispiel dafür sind solche digitale Plattformen wie Uber und You Do, deren Geschäftsmodelle auf einer effektiven Korrelation von Arbeitskräfteangebot und -nachfrage beruhen.

Die Einführung moderner digitaler Tools in allen Lebensbereichen trägt zur Entstehung von Berufen und Arbeitsplätzen bei, die es zuvor noch nicht gab, beispielsweise die Spezialisierung auf die Analyse großer Datenfelder und den Schutz privater Daten, digitales Marketing und Werbung in sozialen Netzwerken, den Beruf eines Bloggers und andere Fachgebiete weltweit.



Die digitalen Technologien helfen den Mitarbeitern, ihre eigenen Qualifikationen zu verbessern oder neue Berufe mithilfe von E-Learning oder Distance Learning zu erwerben. Der weit verbreitete Einsatz von Online-Bildungssystemen ermöglicht es den Mitarbeitern, zusätzliche Kompetenzen zu entwickeln, die für die Karrieregestaltung erforderlich sind. Die digitalen Technologien automatisieren die Arbeitsplätze, schaffen aber auch neue Arbeitsplätze in traditionellen Branchen und neue Wege, um Einkommen zu generieren. Eine Studie aus dem Jahr 2011 hat gezeigt, dass die Entwicklung des Internets in den letzten 15 Jahren zum Abbau von 500.000 Arbeitsplätzen beigetragen, gleichzeitig aber 1,2 Millionen weitere Arbeitsplätze geschaffen hat [6].

Die Nutzung digitaler Technologien ist weltweit sehr ungleichmäßig verteilt - mehr als die Hälfte der Weltbevölkerung ist immer noch in den Möglichkeiten deren Nutzung beschränkt. Die Bedeutung der Vernetzung dieser Menschen ist wesentlich, und wenn es gelingt, sie in die globale digitale Wirtschaft zu integrieren, wird sich die Arbeitswelt grundlegend und in einem beispiellosen Tempo verändern.

Einige Autoren vertreten die Ansicht, dass die Digitalisierung durch Robotik und Automatisierung von Geschäftsprozessen zum Abbau von Arbeitsplätzen und zum Verschwinden einer Vielzahl von Berufen führen könne. Infolgedessen könne die Arbeitslosigkeit die Nachfrage nach Berufen in den Bereichen Finanzen, Rechnungswesen, Recht verringern. Die Analysen zeigen eine Tendenz, dass innerhalb von zwanzig Jahren etwa 47% der Arbeitsplätze in den USA durch die Anwendung von Roboterhardware und -software zu ersetzen sind. Ähnliche Ergebnisse werden für eine Reihe anderer Länder berichtet: 35% für Frankreich, 59% für Deutschland, 45-60% für die EU-Länder insgesamt. Laut dem Beratungsunternehmen McKinsey & Co wird die Implementierung digitaler Technologien die Automatisierung der Arbeitsplätze in Wert von 2 Billionen US-Dollar garantieren, und in den nächsten 5 Jahren werden die Industrieländer durch die Einführung digitaler Technologien etwa 5 Millionen Arbeitsplätze verlieren [2].

Andere Autoren argumentieren, dass die Einführung digitaler Technologien die Arbeitslosigkeit im Allgemeinen und die technologische Arbeitslosigkeit im Besonderen nicht erhöhen würde, gerade umgekehrt, die Beschäftigung werde erhöht und ihre Beschäftigungsstruktur werde verändert. Studien zeigen, dass der Zusammenhang zwischen Innovation und Beschäftigung auf der Ebene einzelner Unternehmen fast immer positiv ist; auf sektoraler Ebene kann diese Abhängigkeit nicht eindeutig bestimmt werden; auf Makroebene wirkt sich der technologische Fortschritt positiv oder neutral aus. Folglich wird die technologische Arbeitslosigkeit als ein langfristiges Phänomen nur als eine theoretische Wahrscheinlichkeit betrachtet. Im Gegenteil, als kurzfristiges Phänomen ist sie durchaus real und auch auf dem Arbeitsmarkt ständig präsent. Befürchtungen, dass der technologische Fortschritt zu einem starken Anstieg der Arbeitslosigkeit führen könnte, sind jedoch unbegründet, da sein Tempo seit Mitte der 2000er Jahre stark zurückgegangen ist, und es keinen Grund dafür gibt, mit einer Beschleunigung zu rechnen. Die Analyse zeigt auch, dass die neuen Technologien einen viel stärkeren Einfluss auf die Beschäftigungsstruktur haben als auf ihr Niveau. Das heißt, unter dem Einfluss neuer Technologien ändern sich die Verteilung der Arbeitnehmer unter den einzelnen Berufsgruppen stärker und der Inhalt der einzelnen Berufe weniger [3].

Zusätzlich zu den oben genannten Trends kann noch erwähnt werden, dass der Anteil der Fernbeschäftigung

zunimmt. Der Spezialist sammelt Aufträge und arbeitet an jedem geografischen Punkt (zu Hause, auf dem Land, am See usw.). Für eine Organisation bedeutet dies eine Kostenersparnis. Dies ist eine Gelegenheit für den Mitarbeiter, seine Arbeitszeit eigenständig zu organisieren und eine Datenbank mit Aufträgen zu erstellen, die auch die Möglichkeit des freien geografischen Verkehrs bietet.

#### IV. MAßNAHMEN ZUR ARBEITSMARKTUNTERSTÜTZUNG UNTER DEN BEDINGUNGEN DER DIGITALISIERUNG DER WIRTSCHAFT

Damit die Arbeitsmarktanpassung an diese radikalen Veränderungen vorteilhaft erfolgt, ist es wichtig, dass die Regierung wirksame Maßnahmen entwickeln, um auf die Herausforderungen des digitalen Zeitalters entsprechend zu reagieren. Einige wesentliche Maßnahmen können aufgezeigt werden, die die Herausforderungen der Digitalisierung für den Arbeitsmarkt positiv beeinflussen können:

1. Entwicklung von Unterstützungssystemen für Arbeitnehmer, die aufgrund der Einführung digitaler Technologien und Automatisierung bestimmter Produktionsprozesse ihren Arbeitsplatz verloren haben.

2. Konzentration auf Schaffung neuer Arbeitsplätze. Beschleunigung der Schaffung von Arbeitsplätzen durch Förderung von Investitionen in den Unternehmenssektor, insbesondere Schaffung von Arbeitsplätzen in der digitalen Wirtschaft und die Möglichkeit, neue Erwerbsmodelle zu schaffen, auch durch neue Formen des Unternehmertums.

3. Förderung von Investitionen des Privatsektors in Humankapital. Mit Steueranreizen und anderen finanziellen Anreizen soll der Staat den Privatsektor motivieren, in Humankapital zu investieren, einschließlich neue Arbeitsplätze zu schaffen, die Arbeitsproduktivität zu steigern und das Lohnwachstum zu sichern.

4. Einführung von Innovationen auf den Arbeitsmarkt. Die Möglichkeit, höhere Kompetenzen zu erwerben, neue technologische Interfaces in Form verschiedener Arten von Investitionen seitens der Unternehmen und der Arbeitnehmer zu schaffen.

5. Beratung und Analyse der Möglichkeiten zur sozialen Unterstützung der Bevölkerung wie das bedingungslose Grundeinkommen, bedingte Beiträge und angepasste Sozialschutzsysteme, insbesondere sollten die Freiberufler in Betracht gezogen werden, da die Automatisierung (ganz oder teilweise) zu einem erheblichen Beschäftigungsabbau führen wird und daher die Löhne beeinträchtigen kann.

6. Zusammenarbeit zwischen Arbeitgeber und Ausbildungs- und Forschungsorganisationen sowie High-Tech-Unternehmen. Die Unternehmen sehen sich mit der Tatsache konfrontiert, dass sie nur in einem geringen Maße geeignete Arbeitskräfte mit den notwendigen Fähigkeiten und Kompetenzen für die Hightech-Fertigung finden können. Als Folge könnten Arbeitgeber, die an der Entwicklung von Bildungsstandards beteiligt sind, vollständige Informationen darüber bereitstellen, welche Fähigkeiten und Fertigkeiten der Arbeitnehmer benötigt werden und wie sie das Bildungssystem verbessern können.

7. Entwicklung von innovativen Ausbildungssystemen, Einführung von STEM-Bildungssysteme (Science, Technology, Engineering, Math) sowie Anwendung der Prinzipien des kontinuierlichen Bildungsprozesses. Um die Wettbewerbsfähigkeit einer nationalen Wirtschaft zu steigern, ist es notwendig, die Ausbildung des technischen Personals zu stärken, was die Einführung der Grundkenntnisse der MINT-Ausbildung (Mathematik, Informatik, Naturwissenschaft und Technik) beinhaltet, das heißt eine umfassende systematische

Ausbildung, die das Studium der Naturwissenschaften zusammen mit Ingenieurwissenschaften, Technologie und Mathematik umfasst. Besonderes Augenmerk sollte auf die Entwicklung von Kreativität sowie auf kritisches und systemisches Denken gelegt werden, um ein adaptives und kontinuierliches Lernen zu fördern. Staaten, die es geschafft haben, ihre Bildungsinfrastruktur an die neuen Bedürfnisse der digitalen Welt anzupassen, können ihre wirtschaftliche Position beim Übergang zu einer digitalen Wirtschaft erheblich stärken.

8. Zusammenarbeit der Regierung mit dem Privatsektor zur Förderung von Investitionen in hochtechnologische und wissensintensive wirtschaftliche Aktivitäten. Das Fehlen einer entwickelten wissenschaftlichen und technischen Infrastruktur behindert die Entwicklung der digitalen Technologien in vielen Schwellen- und Entwicklungsländern.

9. Kontrolle über die Implementierung von High-Technologien. Der Staat muss den Nutzen und die Vorteile der Einführung neuer Technologien messen und ihre Auswirkungen auf den allgemeinen Arbeitsmarkt überwachen.

10. Identifizierung der Leistungsvorteile digitaler Technologien, die zur Förderung des Wirtschaftswachstums eingesetzt werden, und Schaffung eines Raums für kreative Lösungen, die dem Staat zugute kommen.

## V. SCHLUSSFOLGERUNG

Die Analyse der Herausforderungen und der Perspektiven der digitalen Welt für den Arbeitsmarkt hat gezeigt, dass die Digitalisierung der Wirtschaft auf den aktiven Einsatz neuer Technologien in allen Lebensbereichen und in allen Wirtschaftssektoren abzielt, neue Möglichkeiten für das Wirtschaftswachstum schafft, die Arbeitsproduktivität steigern und neue Arbeitsplätze schaffen kann sowie neue innovative Beschäftigungschancen schafft. Gleichzeitig treten jedoch neue Probleme auf, wie z. B. der Abbau von Arbeitsplätzen aufgrund der Produktionsautomatisierung und infolgedessen die Arbeitslosigkeit, was eine rechtzeitige staatliche Unterstützung und Intervention erfordert. Das Zusammenspiel von Staat und Unternehmen bei der Anpassung und Einführung digitaler Technologien und Innovationen auf die Arbeitsmärkte, die den Bedürfnissen und Vorlieben der Verbraucher entsprechen, wird dazu beitragen, die negativen Auswirkungen der Digitalisierung zu verringern.

Eine ausführliche und umfassende Betrachtung der Chancen und Risiken, der Herausforderungen und Perspektiven der digitalen Wirtschaft und der Digitalisierung aller Lebensbereiche heutzutage ist daher die Grundlage für die Konzipierung einer zukunftsorientierten Strategie für die nationale und internationale Entwicklung dieses Wirtschaftssektors, was das Wirtschaftswachstum, die Wettbewerbsfähigkeit und die Effizienz der Wirtschaft gewährleisten wird.

## VI. LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Autor, David, "Why are there still so many jobs? The history and future of workplace automation," *Journal of Economic Perspectives*, Summer 2015.
- [2] Autor, David, David Dorn, and Gordon Hanson, "Untangling trade and technology: Evidence from local labor markets," *The Economic Journal*, May 2015.
- [3] Brynjolfsson, Erik and Andrew McAfee, *The second machine age: Work, progress, and prosperity in a time of brilliant technologies*, WW Norton, 2014.
- [4] Frey K.B., Osborne M.A., "The Future of Employment: How susceptible are jobs to computerisation?" – September 17, 2013. [https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](https://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf)
- [5] Furman, Jason, "Is this time different? The opportunities and challenges of artificial intelligence," remarks at AI conference in New York, July 7, 2016.
- [6] Harford T. "The economic myth of robotics and the robot job-ocalypse" // *Financial Times* on 17 November 2017.
- [7] Milanovic, Branko, *Global inequality: A new approach for the age of globalization*, Harvard University Press, 2016.
- [8] Sundararajan, Arun, *The sharing economy: The end of employment and the rise of crowd-based capitalism*, MIT Press, 2016.
- [9] Velez, G. Ts., A. Foanene, K. M. Ivanov, "Energy and Environment", *Annals of the „Constantin Brancusi” University of Targu Jiu*, Engineering Series, No. 3/2016, Romania, pp. 46–51
- [10] Werner Eichhorst, Holger Hinte, Ulf Rinne, Verena Tobsch, „Digitalisierung und Arbeitsmarkt: Aktuelle Entwicklungen und sozialpolitische Herausforderungen“, *Zeitschrift für Sozialreform, Journal of Social policy research*, Volume 62, Issue 4, 2016
- [11] "World development report 2016. Digital dividends." – *International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank*. [openknowledge.worldbank.org](http://openknowledge.worldbank.org)
- [12] Y. Stefanov, K. Ivanov, P. Petrov, "A study for an optimization of a hybrid renewable energy system as a part of decentralized power supply", *International Journal Smart Grid and Clean Energy*, Vol.6, Nr.3, July 2017, P.141-149

# 3D printing – Commercial effects of digitalisation in industrial manufacturing

## 3D-Druck – Wirtschaftliche Implikationen der Digitalisierung in der industriellen Produktion

Dr. Gero Gunkel

Institut für Marketing, Carl-Friedrich-Gauß-Fakultät, Department Wirtschaftswissenschaften,  
Technische Universität Braunschweig, Deutschland

**Abstract** — Regarding the respective business implications, the variants of Additive Manufacturing differ significantly from commonly known types of industrial manufacturing. Thus the definition of forthcoming management challenges, resulting from increased technological diffusion and availability, is within the scope of the study. In this context, focus will be given to the attributes of customer relations and potential changes in consumer self-perception with direction given to project partnership, as well as the role of experience management in the sense of customer satisfaction. Therefore a systematisation framework for business problems will be established and fundamental coherences will be investigated in the derived categories. The contribution concludes with a critical acclaim on the perspectives in the presented spheres of influence.

**Zusammenfassung** — Die Fertigungsvarianten des Additive Manufacturing unterscheiden sich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten erheblich von klassisch etablierten Formen der industriellen Produktion. Gegenstand der Untersuchung ist daher die Bestimmung der künftig zu erwartenden Managementaufgaben, die sich aus der zunehmenden Verbreitung und Verfügbarkeit der Technologie ergeben können. Dabei liegen die Schwerpunkte auf den Eigenschaften der Kundenbeziehung, dem Wandel des nachfragerseitigen Selbstverständnisses hin zum Projektpartner sowie der Rolle des Erfahrungsmanagements im Zufriedenheitskontext. Hierzu werden ein Systematisierungskonzept B2B-relevanter Fragestellungen konzipiert und die zentralen Zusammenhänge in den daraus abgeleiteten Kategorien vorgestellt. Der Beitrag schließt mit einer kritischen Würdigung zur jeweiligen Perspektive in den aufgezeigten Wirkungsfeldern.

### I. EINLEITUNG

#### A. Motivation und Problemstellung

Als zukunftsfähige Fertigungsformen erfahren die Varianten des 3D-Drucks gegenwärtig ein gesteigertes öffentliches Interesse. Die Diskussion wird dabei sowohl durch die industriell aufgezeigten technischen Möglichkeiten als auch den gesellschaftlich motivierten Bedarf an immer stärker individualisierten Anwendungen und Leistungen beflügelt. Als neuartig im Sinn einer breiten Wahrnehmung stellt sich gegenüber den historischen Grundprinzipien der Technologie eine über die reine Prototypenfertigung hinausgehende Herstellung finaler Bauteile und Komponenten dar. So darf in andauernden Pionieraktivitäten ein kontinuierlicher Beitrag zur Förderung des Verständnisses an der Schnittstelle zwischen dem technischen Fortschritt einerseits und der Realisierung innovativer Produktideen andererseits gesehen werden (vgl. hierzu [1], S. 361 f.).

Darüber hinaus ist auch aus industrieller Sicht eine stark intensivierte Auseinandersetzung mit der Thematik des 3D-Drucks zu konstatieren, deren Ursprung im Wegfall von durch den gewerblichen Rechtsschutz begründeten Restriktionen gesehen werden kann. Die Auswirkungen der hierdurch eröffneten Möglichkeiten werden unter Fachvertretern teilweise als beträchtlich eingestuft, bis hin zur Prognose einer nächsten industriellen Revolution (vgl. hierzu z.B. [2], S. 139). Erklärungsansätze zielen dabei auf einerseits die örtliche und zeitliche Verteilung der Verfügbarkeit und andererseits die Möglichkeiten zur effizienteren Auslastung von Produktionskapazitäten auf Fertigungsanlagen ab, und können somit in Richtung der allgemein als „Industrie 4.0“ bezeichneten grundlegenden Vernetzung des Fabrikbetriebs verstanden werden.

#### B. Forschungsleitfragen

Die zugrundegelegten Forschungsleitfragen, die im vorliegenden Kontext beantwortet werden sollen, lauten:

- Wie lassen sich die Varianten des 3D-Drucks zueinander und gegenüber klassischer Produktion abgrenzen?
- Welche Wirkung haben Marktumfeld und betriebliche Abläufe auf die Geschäftspolitik im 3D-Druck?
- Welche Herausforderungen prägen das anbieterseitige Gesamtbild der zu erwartenden Managementaufgaben?
- Wie kann ein kundenseitiges Selbstverständnis für den industriellen 3D-Druck formuliert werden?
- Welche Rolle spielt die Kundenwahrnehmung bei der Medienwahl in der industriellen Kommunikation?

### II. GRUNDLAGEN

Mit Blick auf ein einheitliches Verständnis werden im Folgenden die zur thematischen Einordnung erforderlichen Definitionen und Begriffe erläutert. Zudem werden die Fragestellung und der untersuchte Bereich von anderen Forschungsfeldern thematisch abgegrenzt.

#### A. Begriffsklärung

Der Begriff des „Drucks“ lässt sich auf die Ähnlichkeit der Eigenschaften gegenüber dem Schriftdruck zurückführen. Unter Verwendung von Papier als Träger ergeben sich innerhalb des Druckbereiches frei realisierbare Inhalte. Analog hierzu können für den „3D-Druck“ sowohl Begrenzungen auf die innerhalb der Bauraumabmessungen erstellbaren Objektgrößen als auch Flexibilität auf die hierin weitgehend frei gestaltbaren geometrischen Formen erweitert werden (vgl. [3], S. 8 f.).

Grundlegend für die Produktion mittels additiver Fertigung ist die Erstellung eines dreidimensionalen Entwurfs, der ein Volumenmodell darstellt, das die gesamte Oberfläche des zu konstruierenden Objektes abbildet. Aufgrund der schichtweisen Bearbeitung durch die Produktionsanlage ist es erforderlich, im Rahmen der Modellierung eine Aufteilung in „Slices“ vorzunehmen, die der kleinsten physikalischen Materialdicke entsprechen, die während des Herstellungsvorgangs aufgetragen werden kann. Grundsätzlich darf angenommen werden, dass sich die Ausdifferenzierung der dem 3D-Druck zuzurechnenden Verfahrensvarianten unverändert in einem frühen Stadium befindet. Als maßgeblich hierfür muss der der technologischen Standardisierung vorgelagerte andauernde Diskurs zu künftig möglichen Einsatzgebieten betrachtet werden (vgl. hierzu z.B. [4], S. 127 ff.).

Der Versuch einer literaturanalytischen Würdigung offenbart unterschiedliche Forschungsströmungen in Form einer hohen Streuung der Angaben zur Anzahl der zu betrachtenden Verfahrensvarianten. Eine Erklärung dieser Heterogenität kann sowohl durch die relative Neuartigkeit jüngerer Verfahrenstypen als auch die schnelle Entwicklung und hohe inhaltliche Dynamik im Bereich des 3D-Drucks sowie eine im technologischen Fortschritt nicht konsistente Begriffsverwendung gegeben werden (vgl. [5], S. 15 ff. und S. 42 ff.). Aus betriebswirtschaftlicher Perspektive kann bei der Klassifikation von Verfahrenstypen zudem ein Zielkonflikt zwischen dem Anspruch, den hiermit jeweils verbundenen kaufmännischen Besonderheiten Rechnung zu tragen, und der Adäquanz der zugleich angestrebten Vereinfachungen bestehen.

Darüber hinaus birgt eine stärker abstrahierte Klassifizierung die Gefahr, zur Ableitung von Ähnlichkeitsbeziehungen primär technisch orientierte Eigenschaften heranzuziehen, wodurch Varianten, zwischen denen aus betriebswirtschaftlicher Sicht zu unterscheiden wäre, zusammengefasst betrachtet würden. Eine sinnvolle Einteilung sollte daher einerseits auf der Umgebung der Produktentstehung sowie andererseits auf der verwendeten Materialform – so etwa Filamente, Granulate oder liquide Werkstoffe – basieren (vgl. [6], S. 25). Hieraus lässt sich eine adäquate Klassifikation ableiten, die zwischen „Freiraumverfahren“, bei denen die Produktentstehung unter Nutzung weitgehend uneingeschränkter Materialformen erfolgen kann, sowie „Pulver-“ und „Flüssigverfahren“, die durch eine vollständige Umgebung des zu erstellenden Objektes mit dem betreffenden Material während des gesamten Fertigungsprozesses gekennzeichnet sind, differenziert.

### *B. Inhaltliche Abgrenzung*

Von den dem 3D-Druck zuzurechnenden Fertigungsverfahren ist abgrenzend die nicht-generative Produktion zu unterscheiden, die nicht durch das schichtweise Auftragen und Verfestigen von verbrauchtem Material gekennzeichnet ist. Obgleich auch diese Technologien regelmäßigen Weiterentwicklungen und somit kontinuierlichen Änderungen unterliegen können, so können sie aufgrund ihrer in der Regel längeren Historie als konventionelle Formen der Herstellung bezeichnet werden (vgl. [7], S. 112).

Im Hinblick auf die Eigenschaft, einen physischen Zusammenhalt durch Materialverbringung zu schaffen, weisen die Fertigungsverfahren des 3D-Drucks grundlegende Parallelen zur bereits konventionell maßgeblichen Hauptgruppe urformender Verfahren auf (vgl. [8], S. 113 ff. und S. 122). Diese bezeichnen die Erstellung von Festkörpern durch solche Handlungen, die eine anhaltende stoffliche Verbindung sicherstellen. Hierbei ist zwischen guss- und sinterbasierten Prozessen zu differenzieren, wobei das Erzeugen der Beständigkeit der gefertigten Bauteile im Fall der Nutzung von Gießverfahren im Wesentlichen durch eine Formgebundenheit der Produktion ge-

kennzeichnet ist. Hinsichtlich der Verwertbarkeit der genutzten Form kann in diesem Zusammenhang eine weitergehende Gliederung nach verlorenen Formen und Dauerformen erfolgen.

Vor dem Hintergrund einer möglichen Einbettung der generativen Fertigung in einen konsekutiven Herstellungsprozess ist mit Blick auf mögliche Schritte der Nachbearbeitung auf die als Trennen bezeichneten Varianten konventioneller Produktionsverfahren einzugehen. Durch äußeres Einwirken wird hierbei auf eine Verminderung bestehender materieller Bindungen und somit des Ganzen abgezielt, wobei Änderungen der Form eines Feststoffrohlings oder -körpers eintreten. Zusammenfassend ist die Gruppe der Trennverfahren damit durch das mechanische Einwirken auf Werkstücke unter dem Einsatz von Werkzeugen gekennzeichnet (vgl. [9], S. 289 ff.).

Die Eigenschaft des 3D-Drucks, konventionell zu verbindende Bauteile integriert fertigen zu können, begründet eine grundlegende Vorstellung der Fügetechnik als Voraussetzung einer vergleichenden Beurteilung. Hierbei wird unter Herbeiführung einer Formänderung auf eine Mehrung des stofflichen Zusammenhalts zwischen bestehenden Werkstückkomponenten oder -fragmenten abgestellt, wobei verfahrensabhängig eine Einbringung formloser Zusatzstoffe erfolgen kann. Neben Löt- und Klebverfahren kann innerhalb der Gruppe der Fügetechnologien als konventionell renommiertes Verfahren das Schweißen hervorgehoben werden, wobei eine Vereinigung von Bauteilen unter isolierter oder kombinierter Einwirkung von Hitze und Druckkraft eintritt (vgl. [10], S. 97 f.). Typischerweise erfolgt bei Fügeverfahren das Herstellen einer stoffschlüssigen unlösbaren Verbindung somit in Form einer örtlichen Behandlung der zu verbindenden Werkstoffe oder Werkstücke.

## III. STUDIENKONZEPTION

Hinsichtlich der Evaluation potenzieller Untersuchungstypen, der Vorgehensweise zur Datengewinnung und der Planung der Informationsbeschaffung kommt im Rahmen der vorliegenden Studie zusammenfassend ein qualitatives Studiendesign zur Anwendung, mittels dessen unter Erhebung primärer Daten auf explorativem Wege grundlegende Erkenntnisse generiert werden sollen. Insofern bietet es sich an, mit Blick auf das Erfassen der Komplexität des Forschungsfeldes wesentliche Gesprächsphasen in empfehlender Form vorzustrukturieren, deren konkrete sachliche Ausgestaltung jedoch flexibel und somit durch den Befragten individuell vorgeben zu lassen. Der weitergehende Planungsprozess für die Durchführung einer leitfadensbasierten Studie soll sich aus operativer Sicht demnach an einer offenen und zugleich problemzentrierten Herangehensweise orientieren (vgl. hierzu z.B. [11], S. 120).

In Bezug auf die zu befragenden Personen steht dabei nicht die Analyse biographisch-sozialer Merkmale, sondern vielmehr die Hervorbringung bereichsspezifischer und objekttheoretischer Erkenntnisse im Fokus. Die Interviews sollen somit Betriebs- und Erfahrungswissen bereitstellen, aus dem schließlich sowohl Funktions- als auch Entscheidungsregeln von den hiermit betrauten Einrichtungen abgeleitet werden können. Dem Erkenntnisanspruch nach sind daher gezielt solche Partner zu akquirieren, die diese Merkmale der verfügbaren Informationslage nach erfüllen. Mittels eines im Zuge des Besuchs von Fachausstellungen durchgeführten Pretests konnte das zu erwartende Kompetenz- und Kenntnisniveau eingeschätzt und Ansatzpunkte aufgedeckt werden, die inhaltliche Steuerungsgenauigkeit der Erhebung zu erhöhen.

## IV. DATENAUSWERTUNG

Kern dieses Kapitels ist die Auseinandersetzung und Ableitung von Kategorien aus dem erhobenen Datensatz sowie die Entwicklung geeigneter Hypothesen.

### A. Thematische Konzeptualisierung

Im Rahmen der Datenerhebung konnten letztlich insgesamt acht Interviews mit Fachvertretern aus der Praxis durchgeführt werden. Anknüpfend an den Schritt der Erstellung von Transkripten unter Verwendung der jeweils gesprächsbeleitenden Dokumentation sind die überführten Textdaten im Folgenden einer adäquaten, sowohl der inhaltlichen Ausrichtung als auch den Erhebungsumständen gerechten Form der Datenauswertung zu unterwerfen. Für den Ablauf der qualitativen Inhaltsanalyse ergeben sich dabei je nach fachlichem Einsatzgebiet unterschiedliche Optionen für die anzuwendende Methodik. Unter Berücksichtigung sowohl der für den industriellen 3D-Druck spezifischen Besonderheiten als auch der Gesprächscharakteristika während der Durchführung der Interviews fällt die Wahl vorliegend auf eine Grounded-Theory-orientierte Methodik (vgl. [12], S. 86).

Hierbei wird das transkribierte Material einer sukzessiven Verdichtung unterzogen. Die Systematisierung erfolgt dabei computergestützt unter Verwendung der Software MaxQDA. Der Definition nach wird hierin unterschieden zwischen Codings und übergeordneten Codes. Das Heranziehen einer Softwareunterstützung bei der Auswertung bietet sich im vorliegenden Fall insbesondere deshalb an, weil bei einer Auseinandersetzung mit dem Datenmaterial, aufsteigend von speziellen hin zu allgemeineren Aspekten, Textgruppen sukzessiv re-arrangiert werden können (vgl. [13], S. 56 f.).

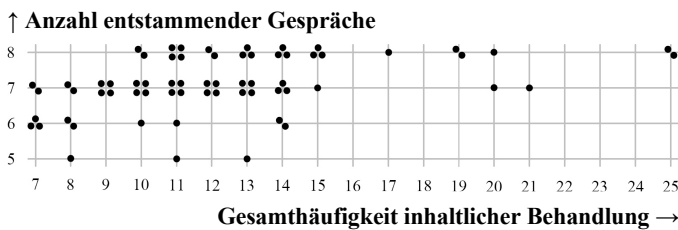


Abb. 1. Erstverdichtung des transkribierten Materials zu Subüberschriften

Insgesamt bezieht sich die Auswertung der geführten Gespräche auf transkribiertes Material, aus dem unter Einsatz des beschriebenen Vorgehens mehrere hundert Textstellen codiert wurden. Diese wiederum wurden durch thematisches Vergleichen zu den in Abbildung 1 als Punkte dargestellten 65 Subüberschriften, und in der Folge weiterführend zu Hauptüberschriften verdichtet, auf deren Grundlage letztlich insgesamt fünf inhaltliche Kategorien abgeleitet wurden.

### B. Theoriebildung

Die im Rahmen der Ableitung theoretischer Zusammenhänge innerhalb verschiedener Kategorien erstellten Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge sind in Abbildung 2 wiedergegeben. Hierbei führt zunächst der Bedarf zur Revision der absatzpolitischen Kerninstrumente zu einer isolierten Behandlung der Belange der operativen wirtschaftlich-technischen Integration. Darunter fallen solche Sachverhalte, bei denen die parallele und wechselseitige Berücksichtigung von markt- und technologie-orientierten Umständen, wie hier einer räumlich wie zeitlich bedarfskonformen Produktion, besonders im Fokus steht (vgl. [14], S. 222).

Darüber hinaus führt eine zunehmend umfeldbezogene Projektbewertung zu einer kategorisch abgegrenzten Einordnung der Erarbeitung von Geschäftsperspektiven. Für den 3D-Druck rücken dabei die Vorteile einer nachhaltigen Ressourcennutzung in der industriellen Produktion in den Vordergrund (vgl. [15], S. 138 ff.). Ebenso lässt sich eine steigende Bedeutung der durch den Nachfrager in die Projektabwicklung eingebrachten inhärenten Fähigkeiten den Wechselwirkungen innerhalb der Kundenbeziehung subsumieren, innerhalb derer zen-

tral auf die Rolle des Erfahrungsmanagements abgestellt wird (vgl. [16], S. 91).

Zudem offenbart die Konzeptualisierung des industriellen 3D-Drucks spezifische Abhängigkeiten von exogenen Entwicklungen, die sich etwa im Kontext von Wissen, Motivation und Qualifikation der beteiligten Akteure zeigen. So führen Unsicherheiten aufgrund fehlender Standards für der Produktion vor- und nachgelagerte Prozesse zum Bedarf einer differenzierten Betrachtung von Problemen der Mitarbeiterqualifikation (vgl. [17], S. 114 f.).

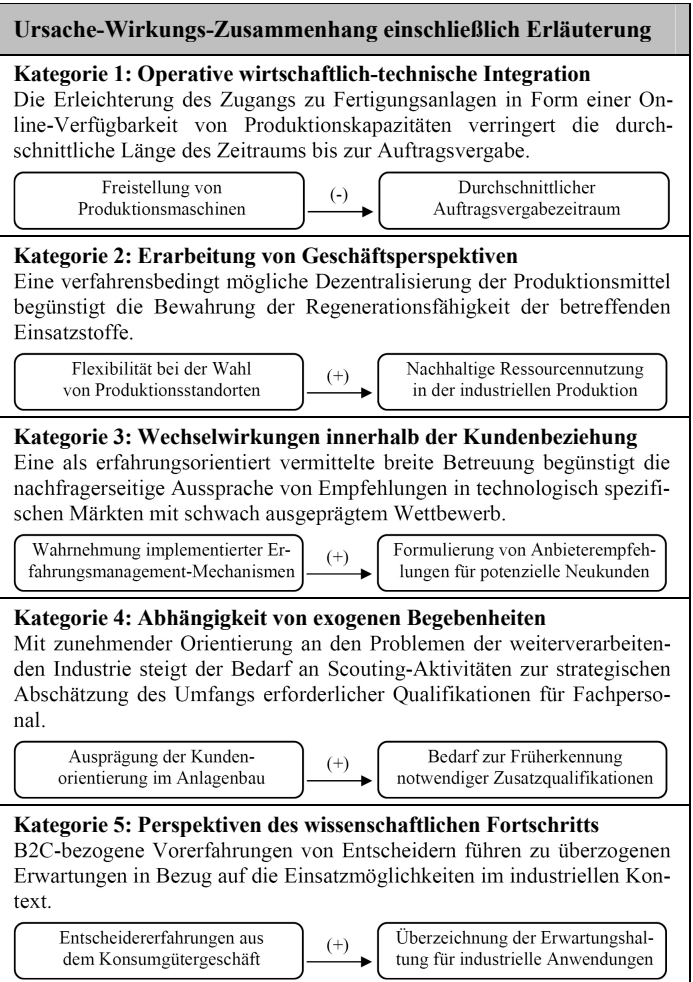


Abb. 2. Hypothesenentwicklung innerhalb des Kategoriensystems

Abschließend ist festzustellen, dass das Forschungsfeld auch mit Blick auf die zahlreichen originär technischen Sachverhalte durch eine hervorzuhebende Nähe zur wissenschaftlichen Auseinandersetzung gekennzeichnet ist. Die Betrachtung konzentriert sich hierbei auf den Einfluss auf Kundenerwartungen und deren Erfüllung, wobei der Schwerpunkt im Bereich einer möglichen Beschleunigung, Verschlinkung oder Verlagerung sowie engen Einbeziehung der Nachfrager in Produktionsprozesse liegt (vgl. [18], S. 85). Zusammenfassend lässt sich somit der Ausgangspunkt einer theoretischen Generalisierung modellieren, innerhalb derer sich die betreffenden Kausalbeziehungen vorschlagen lassen.

## V. KRITISCHE WÜRDIGUNG

Für die Untersuchung wurde zunächst die vereinfachende Annahme getroffen, dass die schnelle Veränderlichkeit der sich weiterentwickelnden Verfahrensvarianten lediglich eine Momentaufnahme mit Orientierungscharakter zulässt. Zudem ist die zugunsten einer technologiespezifischen Beurteilung ausgefallene Lösung des Zielkonfliktes zwischen Komplexität und

Aussagekraft kritisch zu sehen. Auch die in der Designphase getroffene Entscheidung für einen Verzicht auf eine nach Branchen differenzierte Betrachtung stellt einen eingegangenen Kompromiss dar. Hier ist ausschlaggebend, dass die Ausformung spezifischer wirtschaftlicher Gegebenheiten, etwa im Fall von Anwendungen im Leichtbau oder medizinischen Kontext, bislang nicht abgeschlossen erscheint (vgl. [19], S. 44).

Als weitere Beschränkung ergibt sich, dass im Rahmen der Kategorienbildung nicht abschließend zwischen den Herstellern von 3D-Druckern, deren Kunden, die als Ersteller generativ gefertigter Investitionsgüter auftreten, sowie Anbietern von Komplementärleistungen aus dem Bereich CAD-basierter Konstruktion und Konzeption aufgelöst werden kann. Gleiches gilt unter Verweis auf die andauernde Heterogenität wirtschaftlicher Problemstellungen im Hinblick auf die Diskussion des Forschungsstandes.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG

### A. Handlungsempfehlungen

Der Einsatz generativer Technologien im Industriegütersektor erfordert eine hierauf abgestimmte Ausrichtung der betreffenden betriebswirtschaftlichen Funktionen. Handlungsempfehlungen bei der individuellen Beurteilung und Gestaltung des Instrumentariums unterscheiden sich deshalb nach der Art der angebotenen Leistung. Für Unternehmen, deren Fokus im Bereich der ganzheitlichen Betreuung von additiven Fertigungsprojekten liegt, bietet sich eine Verstärkung des Engagements hinsichtlich der Integration von Co-Creation-Ansätzen an. Neben den selbst eingebrachten Kenntnissen gilt es hierbei derart Synergien zu schaffen, dass sowohl für die Modellierung als auch die Fertigung relevantes kundenseitiges Know-how in die Entwicklung eines gemeinsamen Problemverständnisses eingebracht werden kann. Unabhängig von denkbaren fachlichen Spezialisierungen ist die grundlegende Option einer generativen Serienfertigung kontinuierlich zu bewerten. Im Vordergrund sollte dabei die Fertigung geringer Stückzahlen stehen, etwa in Form des Angebotes individualisierbarer Standardkomponenten. Darauf aufbauend ist zudem zu bewerten, ob sich mit bestehenden Anlagen über den Entwurf hinausgehende Einsatzgebiete ergeben, wie etwa die Nutzung flüssigkeitsbasierter Verfahren nicht nur auf die Entwicklung von Prototypen zu beschränken. Auf Basis einer sachlich-technisch motivierten Entscheidungsfindung im Zuge der Projektanbahnung darf dabei angenommen werden, dass die Stellung der eigenen Leistung gegenüber Wettbewerberangeboten wahrnehmbar bleibt.

### B. Ausblick

In diesem Beitrag wurden verschiedene Anhaltspunkte zur Abschätzung künftiger Geschäftsperspektiven für den industriellen 3D-Druck vorgestellt. Dabei verbleiben aus wirtschaftswissenschaftlicher Perspektive anknüpfend zu bearbeitende Forschungsfelder, deren Anhaltspunkte im Zuge der Forschung sich zunächst nach sachlichen Zielgrößen gliedern. Wesentlich ist dabei die Fortsetzung der bedarfsanalytischen Bewertung individueller Fragestellungen von Businesskunden im Hinblick auf die Entwicklung eigener unternehmerischer Problemlösungsfähigkeiten zu sehen. Darüber hinaus legt die zunehmende Verdichtung geeigneter Anwendungsfelder die genauere Abschätzung von Rentabilitäten als Gegenstand eigenständiger Forschung nahe. Unter Kostengesichtspunkten wird schließlich auch die Klärung der Nebenbedingungen für ein mögliches Outsourcing reiner Herstellprozesse durch die Einrichtung verteilter Druckzentren und eine damit verbundene zumindest partielle Ersetzbarkeit konventioneller Produktionsverfahren in den Fokus fachlich-inhaltlicher Betrachtungen rücken. Hervorzuheben ist somit abschließend, dass künftige wirtschaftliche

Problemstellungen disziplinübergreifend zu hinterfragen sind, da die nachhaltige Koordination zwischen möglichen Optionen für neue Anwendungsgebiete am Markt einerseits und technisch innovativen Formen der Materialverarbeitung andererseits langfristig dominierend sein werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Buxmann, P.; Hinz, O.: „Makers“, in: *Business & Information Systems Engineering*, Vol. 55, No. 5, S. 361-364, Verlag Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2013.
- [2] Thiesse, F.; Wirth, M.; Kemper, H.-G.; Moisa, M.; Morar, D.; Lasi, H.; Piller, F.; Buxmann, P.; Mortara, L.; Ford, S.; Minshall, T.: „Economic Implications of Additive Manufacturing and the Contribution of MIS“, in: *Business & Information Systems Engineering*, Vol. 57, No. 2, S. 139-148, Verlag Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2015.
- [3] Wessargues, Y.; Gieseke, M.; Hagemann, R.; Kaieler, S.; Overmeyer, L.: „Entwicklungstrends zum Einsatz des selektiven Laserstrahlschmelzens in Industrie und Biomedizintechnik“, in: Lachmayer, R.; Lippert, R. B. (Hrsg.): *Additive Manufacturing Quantifiziert – Visionäre Anwendungen und Stand der Technik*, S. 7-21, Verlag Springer Vieweg, Berlin, 2017.
- [4] Klocke, F.: *Fertigungsverfahren 5 – Gießen, Pulvermetallurgie, Additive Manufacturing*, 4. Auflage, Verlag Springer Vieweg, Berlin, 2015.
- [5] Hagl, R.: *Das 3D-Druck-Kompendium – Leitfaden für Unternehmer, Berater und Innovationstreiber*, 2. Auflage, Verlag Springer Fachmedien, Wiesbaden, 2015.
- [6] Fastermann, P.: *3D-Drucken – Wie die generative Fertigungstechnik funktioniert*, Verlag Springer Vieweg, Berlin, 2014.
- [7] Gibson, I.; Rosen, D.; Stucker, B.: *Additive Manufacturing Technologies – 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing*, 2. Auflage, Verlag Springer, New York, 2015.
- [8] Wieneke-Toutaoui, B.: „Additive Fertigungsverfahren (Rapid Prototyping)“, in: Fritz, A. H.; Schulze, G. (Hrsg.): *Fertigungstechnik*, 11. Auflage, S. 113-123, Verlag Springer Vieweg, Berlin, 2015.
- [9] Kühn, K.-D.: „Grundlagen zum Spanen und Grundbegriffe der Zerspantechnik“, in: Fritz, A. H.; Schulze, G. (Hrsg.): *Fertigungstechnik*, 11. Auflage, S. 282-310, Verlag Springer Vieweg, Berlin, 2015.
- [10] Bargel, H.-J.: „Einwirkung von Herstellung und Weiterverarbeitung auf die Eigenschaften von Metallen“, in: Bargel, H.-J.; Schulze, G. (Hrsg.): *Werkstoffkunde*, 12. Auflage, S. 81-116, Verlag Springer Vieweg, Berlin, 2018.
- [11] Surma, S.: *Selbstwertmanagement – Psychische Belastung im Umgang mit schwierigen Kunden*, Verlag Gabler, Wiesbaden, 2012.
- [12] Mayring, P.: *Qualitative Inhaltsanalyse – Grundlagen und Techniken*, 12. Auflage, Verlag Beltz, Weinheim, 2015.
- [13] Meuser, M.; Nagel, U.: „Experteninterview und der Wandel der Wissensproduktion“, in: Bogner, A.; Littig, B.; Menz, W. (Hrsg.): *Experteninterviews – Theorien, Methoden, Anwendungsfelder*, 3. Auflage, S. 35-60, VS Verlag, Wiesbaden, 2009.
- [14] Blome, C.: *Öffentliches Beschaffungsmarketing – Ein Kennzahlensystem für das Vergabemanagement*, Verlag Gabler Edition Wissenschaft, Wiesbaden, 2007.
- [15] Charlebois, S.; Juhasz, M.: „Food futures and 3D printing – Strategic market foresight and the case of Structur3D“, in: *International Journal on Food System Dynamics*, Vol. 9, No. 2, S. 138-148, Schriftenreihe des FoodNetCenter der Universität Bonn, Verlag Centmapress, Bonn, 2018.
- [16] Holland, H.; Ramanathan, N.: „Customer Experience Management“, in: Pranke, R. (Hrsg.): *Dialogmarketing – Perspektiven 2015/2016*, Tagungsband 10. wissenschaftlicher interdisziplinärer Kongress für Dialogmarketing, S. 83-101, Verlag Springer Gabler, Wiesbaden, 2016.
- [17] Thomas-Seale, L. E. J.; Kirkman-Brown, J. C.; Attallah, M. M.; Espino, D. M.; Shepherd, D. E. T.: „The barriers to the progression of additive manufacture – Perspectives from UK industry“, in: *International Journal of Production Economics*, Vol. 198, S. 104-118, Elsevier Publishing, Amsterdam, 2018.
- [18] Hofmann, E.; Oettmeier, K.: „3-D-Druck – Wie additive Fertigungsverfahren die Wirtschaft und deren Supply Chains revolutionieren“, in: *Zeitschrift Führung + Organisation*, Vol. 85, No. 2, S. 84-90, Verlag Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 2016.
- [19] Weller, C.; Kleer, R.; Piller, F. T.: „Economic implications of 3D printing – Market structure models in light of additive manufacturing revisited“, in: *International Journal of Production Economics*, Vol. 164, No. C, S. 43-56, Elsevier Publishing, Amsterdam, 2015.

# The Influence of Social Media Use on Social Capital

## Der Einfluss der Social-Media-Nutzung auf das Soziale Kapital

Jens Lamprecht\*, Susanne Robra-Bissantz†

Lehrstuhl für Informationsmanagement, Technische Universität Braunschweig  
Braunschweig, Deutschland, {\*,†}.lamprecht, {\*,†}.robra-bissantz}@tu-braunschweig.de

**Abstract** — The advancing digitalization and the ever-increasing influence of technologies in people's everyday lives brought about a radical change in interpersonal communication and interaction. Twenty years ago it was essential to meet people and spend time with them in order to maintain social contacts. New media means that people no longer necessarily have to leave their homes to communicate with other people or get in touch with them. This influence of digital technologies on individual behaviour and social processes is controversially discussed in research. This article empirically examines the relationship between social media use and social capital, a social resource that describes the value of relationships. It has been shown that there is a positive relationship between social media use and social capital, and in particular that people with high social skills benefit more from social media use.

**Zusammenfassung** — Die fortschreitende Digitalisierung und der stetig steigende Einfluss von Technologien im Alltag des Menschen brachte einen radikalen Umbruch zwischenmenschlicher Kommunikation und Interaktion mit sich. Um soziale Kontakte zu pflegen war es noch vor zwanzig Jahren unumgänglich Menschen zu treffen und mit ihnen Zeit zu verbringen. Durch die neuen Medien muss heute nicht mehr zwangsläufig das Haus verlassen werden, um mit Mitmenschen zu kommunizieren oder mit ihnen in Kontakt zu treten. In der Forschung wird dieser Einfluss digitaler Technologien auf das individuelle Verhalten und gesellschaftliche Prozesse kontrovers diskutiert. Im Rahmen dieses Artikels wurde der Zusammenhang der Social-Media-Nutzung und dem Sozialkapital, einer sozialen Ressource, die den Wert von Beziehungen beschreibt, empirisch untersucht. Es konnte gezeigt werden, dass es einen positiven Zusammenhang zwischen der Social-Media-Nutzung und dem Sozialkapital gibt und insbesondere Menschen mit hohen sozialen Fähigkeiten stärker von der Social-Media-Nutzung profitieren.

### I. EINLEITUNG

Technologische Innovationen verändern schon seit längerem nicht nur die Arbeitswelt, sondern haben auch immer häufiger Einfluss auf das alltägliche Sozialleben. Durch Digitalisierung entstehen Werkzeuge des alltäglichen Gebrauchs, die dem Einzelnen oder auch Gruppen die Möglichkeit bieten, sich mit Hilfe von Textnachrichten, Bildern oder Videos zu jeder Zeit und an jedem Ort mit Menschen rund um den Globus in Verbindung zu setzen, um soziale Kontakte aufzubauen und diese zu pflegen [1]. Inwieweit sich dabei ein „digitales Sozialleben“ von bisherigen Formen der Kontaktpflege unterscheidet wird kontrovers diskutiert z.B. [2]. Zum einen konnte in mehreren Studien gezeigt werden, dass die Nutzung von digitalen Diensten, wie zum Beispiel Social Networks zum Erhalt oder Steigerung sozialer Kontakte beiträgt [3]–[5]. Zum Anderen stehen dem aber auch kritische Stimmen gegenüber, die vor allem die Massenkonsumierung digitaler Dienste kritisieren und eine Vereinsamung der Menschen fürchten [2], [6], [7].

Im Rahmen dieser Diskussionen wird oft das Soziale Kapital betrachtet, eine soziale Ressource, die in zwischenmenschlichen Netzwerken gebunden ist [8], [9]. Dies kann zum Beispiel in Form von Unterstützung geschehen, die jemand aus seinem sozialen Umfeld erfährt, oder konkret Freunde und Bekannte, die bei einem Umzug helfen. Das Soziale Kapital einer Gesellschaft prägt, wie Menschen miteinander umgehen [10]. Menschen in Gesellschaften mit einem hohen Maß an sozialem Kapital haben eine kooperativere Grundeinstellung als Menschen aus einer Gesellschaft mit niedrigem sozialem Kapital [11], [12]. Studien zeigen auch einen Zusammenhang zwischen Gesellschaften mit hohem sozialem Kapital und einem gesteigerten kollektiven Wohlergehen, niedrigeren

Kriminalitätsraten und anderen sozialen Problemen [8], [13], [14].

### II. STAND DER FORSCHUNG

In den Sozialwissenschaften wird Soziales Kapital oft im Zusammenhang mit der sozialen Bindungsstärke betrachtet. Hierbei wird Bindungsstärke unterschieden in starke Bindungen (engl. Strong Ties), die vornehmlich zwischen Familienmitgliedern und engen Freunden auftreten, und schwache Bindungen (engl. Weak Ties), die mit losen Freunden und Bekanntschaften verbunden sind [15]. Schwache Bindungen tragen dabei vor allem für die Reichweite in einem Netzwerk bei, da durch sie verschiedene Netzwerke aus starken Bindungen verbunden werden [16]. Starke bzw. schwache Bindungen werden dabei jeweils mit einer Ausprägung des sozialen Kapitals in Verbindung gebracht. Schwache Bindungen tragen zum überbrückenden Sozialen Kapital (engl. Bridging Social Capital) bei, während starke Bindungen zum bindenden Sozialen Kapital (engl. Bonding Social Capital) beitragen [17].

Das überbrückende Soziale Kapital wird als einbeziehende (engl. Inclusive) Form des Sozialen Kapitals beschrieben. Es steht in offenen Communities, die breit vernetzt sind und aus unterschiedlichsten Akteuren bestehen, zur Verfügung. Die Interaktion in diesen Communities beruht auf Grundlage von Reziprozität [17]. Bindendes Soziales Kapital hingegen wird als abgrenzende (engl. Exclusive) Form des Sozialen Kapitals beschrieben [9]. Akteure ziehen aus diesen, eher geschlossenen Netzwerken, emotionalen Support, mobilisieren Solidarität oder haben Zugriff auf seltene Ressourcen, wie zum Beispiel finanzielle Mittel oder Fachwissen [17].

Im Rahmen des Web 2.0 haben sich digitale Plattformen entwickelt, die soziale Strukturen und Interaktionen der Akteure über das Internet unterstützen. Diese Gruppe von Anwendungen

wird als Social Media bezeichnet [18]. Social Media Plattformen unterstützen dabei ein breites Spektrum an sozialen Aktivitäten und Bedürfnissen. Schmidt [19] hat diese Vielfalt an Aktivitäten bei der Nutzung von Social Media in die drei Handlungskomponenten Identitäts-, Beziehungs- und Informationsmanagement differenziert. Beim Identitätsmanagement steht Selbstdarstellung von Akteuren im Mittelpunkt, das Beziehungsmanagement beschäftigt sich mit der Pflege und dem Knüpfen von Beziehungen, während im Informationsmanagement das Auffinden, Verwalten und Verarbeiten von Informationen fokussiert wird. Im Kontext der Digitalisierung wurden hierbei schon häufig digitale, soziale Netzwerke, wie zum Beispiel Facebook, untersucht. Dabei waren jedoch zumeist nur die Handlungskomponenten Identitätsmanagement und Beziehungsmanagement im Fokus dieser Studien z.B. [3]–[5], eine allgemeine Betrachtung sozialer, digitaler Dienste und eine Betrachtung der Handlungskomponente Informationsmanagement blieb bisher aus.

In bisherigen Studien wurde zudem der Einfluss der sozialen Fähigkeiten auf das Soziale Kapital nur unzureichend betrachtet. Als Annäherung für die sozialen Fähigkeiten wird in Studien oft eine Skala zur Differenzierung zwischen Extrovertiertheit und Introvertiertheit verwendet z.B. [1], diese Annäherung greift jedoch zu kurz. Soziale Fähigkeiten, wie zum Beispiel die Fähigkeit ein Gespräch aufrecht zu erhalten, sind zwar in der Dimension Extrovertiertheit vs. Introvertiertheit enthalten, bilden jedoch nur einen spezifischen Ausschnitt aus dieser Dimension ab, so dass hier ein Bedarf an geeigneteren Skalen besteht.

Anknüpfend an diesen zuvor beschriebenen Defiziten der bisherigen Forschung hat diese Studie zum Ziel den Einfluss der Social-Media-Nutzung, differenziert nach Beziehungs- und Informationsmanagement, zu untersuchen und dabei auch insbesondere den Einfluss sozialer Fähigkeiten mit zu berücksichtigen.

### III. METHODIK UND AUSWERTUNG

Aufbauend auf dem zuvor dargelegten Ziel dieser Studie ergeben sich insgesamt fünf Konstrukte für das weitere Vorgehen. Hierbei wird das soziale Kapital wie von Williams [17] beschrieben, durch die Konstrukte *überbrückendes Soziales Kapital* und *bindendes Soziales Kapital* dargestellt. Dem gegenüber stehen die zwei Handlungskomponenten der Social-Media-Nutzung zum *Beziehungs-* und *Informationsmanagement*. Als fünftes Konstrukt wurde *Soziale Fähigkeiten* ausgewählt, um den Einfluss der sozialen Fähigkeiten auf die übrigen Konstrukte abzubilden. Abbildung 1 stellt die Konstrukte und ihre hypothetischen Zusammenhänge noch einmal grafisch dar.

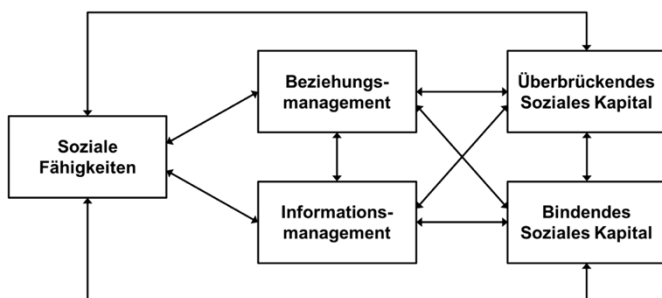


ABBILDUNG 1: UNTERSUCHUNGSMODELL

Zur Operationalisierung der Konstrukte *Überbrückendes Soziales Kapital* und *bindendes Soziales Kapital* wurde die *Internet Social Capital Scale* [17] verwendet. Für die Konstrukte

*Mehrwert für Informationsmanagement* und *Mehrwert für Beziehungsmanagement* stand keine umfassende Skala zur Verfügung, die auf den Kontext und das Ziel dieser Befragung anzuwenden war. Daher wurden thematisch ähnliche Items aus den Studien von Ferguson und Perse [20], Weinreich [21] und Papacharissi und Rubin [22] entlehnt. Für das Konstrukt Social Skills wurden die Items der *Kikuchi's Scale of Social Skills* [23] verwendet. Alle englisch sprachigen Items wurden für den Gebrauch ins Deutsche übersetzt. Anschließend erfolgte eine Akquise der Teilnehmer über eine online Befragung.

Vor dem Beginn der Auswertung wurde der erhobene Datensatz zunächst um unvollständig ausgefüllte Fragebögen bereinigt, so dass die Befragung eine Gesamtmenge von 131 vollständig ausgefüllten Datensätzen ergab. Zur Überprüfung des Modells (vgl. Abbildung 1) wurde eine konfirmatorische Faktoranalyse durchgeführt. Hierbei wurden mehrere Gütekriterien beachtet. Bei der Auswahl der Items je Faktor wurde zunächst ein Wald-Test durchgeführt, um zu überprüfen, ob das Weglassen des Items zu einer Verschlechterung der Gesamtmodellgüte führen würde [24, S. 125]. Anschließend wurde die Faktorladung der Items überprüft und Items ausgeschlossen, die eine geringere Faktorladung als 0,6 aufwiesen [25]. In einem inkrementellen Prozess wurde die Güte der einzelnen Faktoren dann weiter verbessert, indem weitere, in Relation zu den anderen Items, schwache Items ausgeschlossen wurden. Als Gütekriterien für das Gesamtmodell wurden Standardized Root Mean Square Residual (SRMR), Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA), Tucker-Lewis Index (TLI) und Comperative Fit Index (CFI) verwendet [26], [27]. Diese zeigen eine insgesamt akzeptable, bis gute (RMSEA) Modelgüte. Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die Gütekriterien mit den dazu empfohlenen Richt- und Modelwerten im Überblick.

TABELLE 1: GÜTEKRITERIEN DES MODELLS

Statistik	Richtwert	Modell
SRMR [26]	< 0,10	0,086
RMSEA [26]	< 0,10	0,073
TLI [28]	> 0,90	0,905
CFI [28]	> 0,90	0,921

Nachdem entsprechende Gütekriterien für das Modell erreicht wurden, wurden die zweiseitigen Pearson Korrelationskoeffizienten zwischen den Faktoren ermittelt und eine Korrelationsmatrix (Tabelle 2) erstellt.

TABELLE 2: KORRELATIONSMATRIX DER KONSTRUKTE

	1)	2)	3)	4)	5)
1) Bindendes Soziales Kapital	1,000				
2) Überbrückendes Soziales Kapital	0,393 ***	1,000			
3) Soziale Fähigkeiten	0,124	0,140	1,000		
4) Beziehungsmanagement	0,178 *	0,271 **	0,240 **	1,000	
5) Informationsmanagement	0,163 *	0,266 **	0,037	0,422 ***	1,000

Zweiseitige Pearson Korrelationskoeffizienten.  
Signifikanzen: \*  $p < 0,10$ . \*\*  $p < 0,05$ . \*\*\*  $p < 0,01$ .

### IV. ERGEBNISSE

Die Korrelationsmatrix zeigt sowohl einen schwach signifikanten Zusammenhang zwischen dem bindenden Sozialen Kapital und der Nutzung von Social Media für das Beziehungsmanagement, als auch für die Nutzung zum Informationsmanagement. Die beiden Effekte können aufgrund



ihrer geringen Effektstärke von 0,178 bzw. 0,163 als schwach angesehen werden [29]. Der Korrelationskoeffizient zwischen überbrückendem Sozialem Kapital und der Nutzung von Social Media zum Informationsmanagement zeigt einen signifikanten Effekt mittlerer Stärke mit einem Wert von 0,266. Ähnlich verhält sich der Korrelationskoeffizient für überbrückendes Soziales Kapital und der Nutzung für das Beziehungsmanagement, mit einem ebenfalls signifikanten Wert mittlerer Stärke von 0,271. Für das Konstrukt soziale Fähigkeiten konnte nur ein signifikanter Effekt zum Beziehungsmanagement gezeigt werden mit einer mittleren Effektstärke und einem Wert von 0,240. Zudem wurden hochsignifikante mittlere Effekte zwischen überbrückendem Sozialem Kapital und bindendem Sozialem Kapital, sowie zwischen Beziehungs- und Informationsmanagement gemessen. Dieser war aufgrund der ursprungsbedingten Ähnlichkeiten der Konstrukte zu erwarten und fällt mit einem Wert von 0,393 niedriger aus, als der von Williams [17] gemessene Wert von 0,492. Diese Argumentation gilt analog für den Effekt zwischen Beziehungs- und Informationsmanagement. Abbildung 2 zeigt das Modell noch einmal mit den entsprechenden Korrelationskoeffizienten.

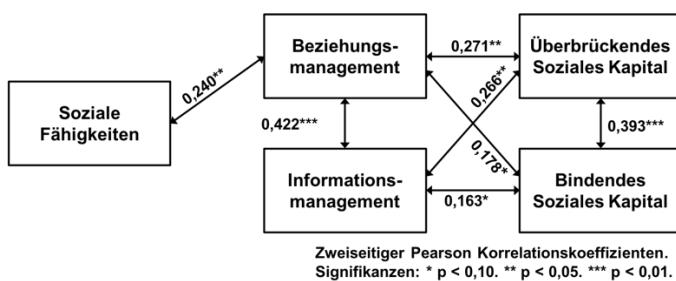


ABBILDUNG 2: MODELL MIT KORRELATIONSKOEFFIZIENTEN

## V. DISKUSSION UND FAZIT

In den Ergebnissen zeigt sich ein insgesamt positiver Zusammenhang, sodass argumentiert werden kann, dass mit einer aktiv-partizipativen Nutzung der sozialen Medien auch ein gesteigertes Sozialkapital zu verzeichnen ist. Dies gilt tendenziell sowohl für die Nutzung im Rahmen des Beziehungs- als auch im Informationsmanagements. Jedoch fällt der Effekt von Beziehungsmanagement und Informationsmanagement deutlich schwächer aus für das bindende Soziale Kapital als für das überbrückende Soziale Kapital. So kann davon ausgegangen werden, dass die von Granovetter [16], [30] formulierte Annahme, dass das überbrückende Soziale Kapital einen größeren Informationsmehrwert bietet als die starken Beziehungen des bindenden Sozialen Kapital, sich auch im Rahmen der neuen Medien fortführt.

Auffallend ist, dass nur ein schwacher Zusammenhang zwischen dem bindenden Sozialen Kapital und dem Beziehungsmanagement verzeichnet werden konnte. Dies geht auch mit der Studie von Ellison et al. [3] einher, die aufgezeigt haben, dass das Social Web vor allem zur Pflege vorhandener Freundschaften und Bekanntschaften geeignet ist und in einem starken positiven Zusammenhang mit dem überbrückenden Sozialen Kapital steht. Ein weiterer Grund dafür kann sein, dass das bindende Soziale Kapital über eine Vielzahl von (Offline-)Kanälen gepflegt wird, sodass soziale Medien eine eher geringe Rolle in der Kommunikation und Interaktion mit der Familie und den engsten Freunden spielen [31]. So zeigen Schenk et al. [31], dass die sozialen Medien als Kommunikationskanal vor allem geeignet sind, um mit entfernten Bekannten in Kontakt zu bleiben. Als Gründe dafür nennen die Autoren den geringeren Aufwand, unter anderem durch die Möglichkeit mehrere

Kontakte zeitgleich adressieren zu können. Beispiele hierfür sind das Kommentieren und Erstellen von Beiträgen in den sozialen Online-Netzwerken.

Insgesamt kann also bestätigt werden, dass das Beziehungs- und Informationsmanagement als wahrgenommener Mehrwert der Online-Mediennutzung einen höheren Einfluss auf das überbrückende Soziale Kapital als auf das bindende Soziale Kapital besitzt. Obwohl die Ergebnisse zeigen, dass die Mediennutzung im Grunde positive Auswirkungen auf das Beziehungs- und Informationsmanagement hat, so scheint dies vor allem für Personen mit starken ausgeprägten sozialen Fähigkeiten zu gelten. Menschen mit geringeren sozialen Fähigkeiten scheinen von den sozialen Medien zur Generierung neuer Kontakte und Informationen eher weniger profitieren können. Dies geht einher mit den Schlussfolgerungen der Studie von Kraut et al. [1], die eine „rich-get-richer“-Hypothese formulierten, dass Akteure, die bereits effektiv soziale Ressourcen nutzen, wahrscheinlich auch effektiver darin sind die Vorteile neuer Medien, wie dem Internet für ihre sozialen Interaktionen zu nutzen.

## REFERENZEN

- [1] R. Kraut, S. Kiesler, B. Boneva, J. Cummings, V. Helgeson, und A. Crawford, „Internet paradox revisited“, *Journal of social issues*, Bd. 58, Nr. 1, S. 49–74, 2002.
- [2] N. H. Nie, „Sociability, interpersonal relations, and the Internet: Reconciling conflicting findings“, *American behavioral scientist*, Bd. 45, Nr. 3, S. 420–435, 2001.
- [3] N. B. Ellison, J. Vitak, R. Gray, und C. Lampe, „Cultivating social resources on social network sites: Facebook relationship maintenance behaviors and their role in social capital processes“, *Journal of Computer-Mediated Communication*, Bd. 19, Nr. 4, S. 855–870, 2014.
- [4] N. B. Ellison, C. Steinfield, und C. Lampe, „The Benefits of Facebook “Friends:” Social Capital and College Students’ Use of Online Social Network Sites“, *Journal of Computer-Mediated Communication*, Bd. 12, Nr. 4, S. 1143–1168, Juli 2007.
- [5] B. Kneidinger, *Facebook und Co.: Eine soziologische Analyse von Interaktionsformen in Online Social Networks*. Springer, 2010.
- [6] R. Kraut, M. Patterson, V. Lundmark, S. Kiesler, T. Mukopadhyay, und W. Scherlis, „Internet paradox: A social technology that reduces social involvement and psychological well-being?“, *American psychologist*, Bd. 53, Nr. 9, S. 1017, 1998.
- [7] N. H. Nie und L. Erbring, „Internet and society“, *Stanford Institute for the quantitative study of society*, Bd. 3, S. 14–19, 2000.
- [8] R. Putnam, „Bowling Alone: America’s Declining Social Capital“, *Journal of Democracy*, S. 1–11, 1995.
- [9] R. Putnam, *Bowling alone: The collapse and revival of American community*. Simon and Schuster, 2001.
- [10] K. Newton, „Social Capital and Democracy“, *American Behavioral Scientist*, Bd. 40, Nr. 05, S. 575–586, 1997.
- [11] J. Brehm und W. Rahn, „Individual-Level Evidence for the Causes and Consequences of Social Capital“, *American Journal of Political Science*, Bd. 41, Nr. 3, S. 999, Juli 1997.
- [12] F. Fukuyama, „Social capital and the modern capitalist economy: Creating a high trust workplace“, *Stern Business Magazine*, Bd. 4, Nr. 1, S. 1–16, 1997.
- [13] F. Fukuyama, *Trust: The social virtues and the creation of prosperity*. Free Press Paperbacks, 1995.
- [14] J. Hagan, H. Merckens, und K. Boehnke, „Delinquency and Disdain: Social Capital and the Control of Right-Wing Extremism Among East and West Berlin Youth“, *American Journal of Sociology*, Bd. 100, Nr. 4, S. 1028–1052, Jan. 1995.
- [15] M. Granovetter, „The Impact of Social Structure on Economic Outcomes“, *Journal of Economic Perspectives*, Bd. 19, Nr. 1, S. 33–50, Feb. 2005.
- [16] M. S. Granovetter, „The Strength of Weak Ties“, in *Social Networks*, S. Leinhardt, Hrsg. Academic Press, 1977, S. 347–367.
- [17] D. Williams, „On and Off the “Net: Scales for Social Capital in an Online Era“, *Journal of Computer-Mediated Communication*, Bd. 11, Nr. 2, S. 593–628, 2006.
- [18] A. Ebersbach, M. Glaser, und R. Heigl, „Social Web. 2., völlig überarbeitete Auflage“, *UVK: Konstanz*, 2011.

- [19] J. Schmidt, C. Lampert, und C. Schwinge, „Nutzungspraktiken im Social Web – Impulse für die medienpädagogische Diskussion“, in *Jahrbuch Medienpädagogik 8: Medienkompetenz und Web 2.0*, B. Herzig, D. M. Meister, H. Moser, und H. Niesyto, Hrsg. Wiesbaden: VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010, S. 255–270.
- [20] D. A. Ferguson und E. M. Perse, „The World Wide Web as a Functional Alternative to Television“, *Journal of Broadcasting & Electronic Media*, Bd. 44, Nr. 2, S. 155–174, Juni 2000.
- [21] F. Weinreich, „Nutzen- und Belohnungsstrukturen computergestützter Kommunikationsformen. Zur Anwendung des Uses and Gratifications Approach in einem neuen Forschungsfeld“, *Publizistik*, Bd. 43, Nr. 2, S. 130–142, 1998.
- [22] Z. Papacharissi und A. M. Rubin, „Predictors of Internet use“, *Journal of broadcasting & electronic media*, Bd. 44, Nr. 2, S. 175–196, 2000.
- [23] D. Katagami, H. Ohmura, und K. Nitta, „Investigation of social adaptive skills by cross-cultural simulation game and KiSS-18“, *2010 IEEE World Congress on Computational Intelligence, WCCI 2010*, 2010.
- [24] T. A. Brown, *Confirmatory Factor Analysis for Applied Research, Second Edition*. Guilford Publications, 2014.
- [25] C. Homburg und A. Giering, „Konzeptualisierung und Operationalisierung komplexer Konstrukte: ein Leitfaden für die Marketingforschung“, 1998.
- [26] S. Cangur und I. Ercan, „Comparison of Model Fit Indices Used in Structural Equation Modeling Under Multivariate Normality“, *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, Bd. 14, Nr. 1, S. 152–167, Mai 2015.
- [27] W. D. Salisbury, W. W. Chin, A. Gopal, und P. R. Newsted, „Better theory through measurement—Developing a scale to capture consensus on appropriation“, *Information Systems Research*, Bd. 13, Nr. 1, S. 91–103, 2002.
- [28] P. M. Bentler und D. G. Bonett, „Significance tests and goodness of fit in the analysis of covariance structures.“, *Psychological bulletin*, Bd. 88, Nr. 3, S. 588, 1980.
- [29] J. Cohen, *Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd. Hillsdale, NJ: erlbaum*, 1988.
- [30] M. Granovetter, *Getting a job: A study of contacts and careers*. Chicago: University of Chicago Press, 1995.
- [31] M. Schenk, C. Jers, und H. Gözl, „Die Nutzung des Web 2.0 in Deutschland“, *Verbreitung, Determinanten und Auswirkungen. Baden-Baden*, 2013.

# Top-Executives And Digitalization – Insights From The Academic Literature

## Top-Manager und Digitalisierung – Einsichten aus der akademischen Literatur

Johannes Brunzel\*, Johannes Schmidt\*, Dietrich von der Oelsnitz\*

Technische Universität Braunschweig, Institut für Unternehmensführung,  
Lehrstuhl für Organisation und Führung, Deutschland

**Abstract** — The article systematically studies whether the literature on top-executives considers the construct of digitalization. Surprisingly, we find a lack of quantity *and* quality in the literature despite more than three decades of academic research and increased interest of practitioners. We provide four competing explanations for this by speculating that 1) research is disentangled from practitioners' needs, 2) digitalization is generally too broad and commonplace to be analyzed, 3) digitalization is a too distal construct to be analyzed as an outcome variable and 4) digitalization suffers from cohort effects.

**Zusammenfassung** — Der Artikel analysiert das Konstrukt Digitalisierung und dessen Verwendung in der akademischen Literatur zu Top-Managern. Trotz der wahrgenommenen Wichtigkeit der Thematik finden wir überraschend wenige wissenschaftliche Artikel. Wir spekulieren über vier mögliche Gründe für diese Ergebnisse, die 1) in der Lücke zwischen Theorie-Praxis, 2) in der Konzeptualisierung von Digitalisierung, 3) in der Eignung von Digitalisierung als Outcome-Variable und 4) an Kohorteneffekte liegen können.

### I. INTRODUCTION

Conventional wisdom suggests that digitalization is a complex process that affects every aspect of human's everyday life whereby one can barely read a magazine or newspaper without reading about the digitalization. However, how does academic research, in particular with relation to the person at the top, covers digitalization? While research has started to uncover the consequences of technological progress on a customer level to strengthen the B2C relationship [1], research on a firm level has mostly been anecdotal and bound to cases in particular industries [2][3]. Consequently, academic studies complain about the unknown antecedents as well consequences of digitalization on a firm level [4].

This is surprising given the fact that practice agrees on the overreaching role of the person at the top, the upper-echelon.

McKinsey reports that digitalization “forces CEOs to rethink how companies execute, with new business processes, management practices, and information systems, as well as everything about the nature of customer relationships” [5]. Beyond key business practices (e.g., production processes) that are affected by digitalization, other practitioners argue that different positions such as Chief Digital Officers (CDO) lack the internal legitimacy to conduct the holistic transformation of an organization and external consultants exhibit heightened information asymmetries to understand external (specific market circumstances) and internal properties (hierarchies, core competencies etc.) of the organization [6].

Moreover, CEOs' function as upper echelon goes beyond his or her core function to detect and select corporate opportunities and to execute them strategically, but by providing a narrative that secures fellowship of key share- and stakeholders [7]. Therefore, this narrative function “to sell”

digitalization efforts is a key function of CEOs to initiate strategic change.

Therefore, giving the far-reaching consequences digitalization has on whole societies, consumers, and firms in particular, we study whether and how the academic literature of the upper-echelon considers the construct of digitalization.

### II. THEORETICAL FOUNDATIONS

#### A. The upper echelon and their skills

At least since Hambrick and Mason's Upper Echelon Theory in 1984, researchers are interested in the observable and non-observable characteristics of top-managers that affect strategic decision making of companies (e.g., M&A-activities) and consequently, firm level outcomes (e.g., performance). Newer research on non-observable characteristics of CEOs considers conducive and detrimental effects of sub traits of CEO personality such as overconfidence and narcissism on firm level outcomes [8][9]. Within this empirical research stream, after the controlling for industry, firm, and personal variables, specific CEO characteristics explain a high share of firm performance variance [10].

The previous evidence on the source of variation in CEO characteristics suggests that it can be found in positive factor loads that appears to reflect overall managerial talent and ability as well as communication and interpersonal abilities such as Respect, Open to Criticism, Listening Skills, and Teamwork; in contrast, lowest factor loadings can be found in execution styles such *Aggressive*, *Persistent*, *Proactive*, *Work Ethic*, and *High Standards* [11]. These results point to the fact that there is little variation in personal attitudes in the execution

(e.g., work ethic, high standards) but in the overall managerial ability and interpersonal abilities.

Overall, this is surprisingly similar to classical management thinkers such as Drucker (1967) who see managers as those who “get the right things done” but with different personalities and ways how to achieve it [12].

### B. Digitalization

The Collins dictionary defines the verb digitize to “transcribe (data) into a digital form so that it can be directly processed by a computer“. This requires information (i.e., data in form of objects, documents, photos) to be stored in machine-readable form (usually in form of bits and bytes). Therefore, the process of digitalization enables to create new business models on a supply and demand side as well as promises efficiency gains. However, the OECD makes the distinction between digitization and digitalization [13]. For the authors, while technical understanding of digitization is clearly a process of encoding analog information, the boundaries of digitalization are far from clear. For instance, to conceptualize digitalization, shall one only include the part of the e-commerce that is directly attributable to the sales of the digital tools that enables e-commerce transactions? Consequently, deriving a working definition is a non-trivial task and perhaps the biggest obstacle to measure digitalization. Therefore, this ambiguity may also affects the upper echelon research.

### III. METHOD

In order to assess the literature, we use the so-called building-blocks-method as central approach to systematically link upper echelon theory and digitalization. We use Elsevier Scopus as a database for the analysis, an important academic database for literature. We search in the “title”, “abstract” and “key words” sections.

Goodman, Gary, & Wood (2014) describe the method as combination of Boolean operators (“and”, “or”), keywords and synonyms to create a systematic search string. We consider both analytical constructs separately and merge them for the analysis [14]. For the analysis, we use the Scopus “peer review” function to select only peer-review articles. Table 1 provides an overview about the search string. The total number of results is 21. We inspect the results qualitatively and exclude four articles without a content fit.

After having received the preliminary results, we then match the results with the Financial Times Top 50 Journal rank, a peer-created list (business schools) with commonly considered top journals in Management (e.g., Academy of Management Journal), Economics (e.g., RAND Journal of Economics), Marketing (e.g., Marketing Science) and other subfields. Finally, using the criteria’s as stated above, we manually searched in a second database (i.e., Google Scholar). Since the search criteria relates to fixed job titles, a clear level of analysis and established academic terms (e.g., CEO, Top-Management-Team), we decide not to extend the search string any further (e.g., leader).

TABLE I. SEARCH STRING WITH BOOLEAN OPERATORS (“AND”, “OR”)

Core aspect 1 „CEO“	Core aspect 2 „digitalization“
<ul style="list-style-type: none"> <li>- CEO</li> <li>- Chief executive officer</li> <li>- Top management</li> <li>- Top executive</li> <li>- Upper echelon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Digital<sup>1</sup></li> <li>- Digitalization</li> <li>- Digitalization</li> <li>- Digital-transformation</li> </ul>

### IV. DISCUSSION

In total, we find 17 articles covering digitalization and the upper echelon directly. The overall little number of articles is surprising, given the academic importance of the upper-echelon-theory and practical need to implement digitalization as stated above. We argue that the given literature is mainly based on conceptual pieces and conference articles. A total of eleven articles can be assigned to journal articles. The results are displayed in Table 2 in the appendix.

Of the given articles, after imposing the Financial Times threshold, no article can be classified as highly relevant to researchers. This is even more surprising, given the importance of the upper-echelon stream in academia. Overall, the results point to a lack of research both in quantity *and* quality of top-management research and digitalization.

We provide mainly four explanations for these surprising results, namely based on 1) a research practice gap, 2) a lack of conceptualization of the construct, 3) problems related to digitalization as an outcome variable and 4) cohort effects.

First, the lack of articles considering digitalization may point to the fact that academic research is mainly disentangled from actual business issues, also known as research practice gap. It is well known that a gap between academic research and practice exists [15].

Second, the lack of conceptualization that is particularly prevalent among practitioners and therefore, its difficult measurement, make digitalization unlikely to be considered for scholarly attention. We are unaware of a generally established definition among practitioners or in academia. Practitioners’ wisdom should clearly state how digitalization is defined, which practices it comprises to enable academic research to develop the tools to assess the construct.

Third, and a related point to the second, is that digitalization must be imbedded in a broader context that states causal relationships and mediating/moderating mechanisms. For instance, digitalization might not be an adequate outcome variable but a context variable that affects organizational outcomes, similar to the idea of Hambrick and Mason that CEOs affect strategic decisions but not organizational performance per se or directly [16]. Herrmann and Nadkarni (2014) show that the construct of “strategic change” can be derived by using five aggregate measures (e.g., formal incentives granted to executives; change in organizational structure etc.) via unobtrusive measures and expert evaluations [17]. To substitute digitalization against established conceptualizations and therefore, measurements, would be one way to cope with the lack of results regarding digitalization. This may also help to explain why certain CEOs may be better suited to initiate strategic change but *not* to implement. This also points to the fact that academic research selectively does consider strategic change but not under the banner of digitalization. It may also point to the fact that this research is

<sup>1</sup> Includes all versions with word stem “digital”

more abstract and technical, a style that might be less likely to be found and processed by practitioners.

Fourth and finally, one aspect may be cohort effects. As digitalization is a relatively recent phenomenon, long peer-review periods make it less likely for research to keep up with these developments. Moreover, previous evidence suggests that there is CEO experience effect whereby CEO education and background directly affects firm decisions [18]. Therefore, any past academic research would necessarily include age affects whereby the majority of included executives have a prototypical background (e.g., experienced or extremely experienced, male, white). As future CEOs grow up in an already digitalized world, we expect to see a higher focus on digitalization in the future.

## REFERENCES

- [1] Davis, M. M., Field, J., and Stavroulakis, E., "Using digital service inventories to create customer value." *Service Science*, 7(2), 2015, pp. 83–99.
- [2] Dougherty, D., and Dunne, D. D., "Digital science and knowledge boundaries in complex innovation." *Organization Science*, 23(5), 2012, pp. 1467–1484.
- [3] Nylén, D., and Holmström, J., "Digital innovation strategy: A framework for diagnosing and improving digital product and service innovation." *Business Horizons*, 58(1), 2012, pp. 57–67.
- [4] Ferreira, J. J.M., Fernandes, C. I., and Ferreira, F. A.F., "To be or not to be digital, that is the question: Firm innovation and performance." *Journal of Business Research*, 2018, advance online publication.
- [5] McKinsey, "Why digital transformation is now on the CEO's shoulders." 2017, retrieved from <https://www.mckinsey.com/business-functions/digital-mckinsey/our-insights/why-digital-transformation-is-now-on-the-ceos-shoulders>.
- [6] Bruch, H., Jochmann, W., München, A.-P., and Stein, F., "Auf digitaler Mission." *Harvard Business Manager*, 4, 2019, pp. 20–27.
- [7] Vaara, E., Sonenshein, S., and Boje, D., "Narratives as sources of stability and change in organizations: Approaches and directions for future research." *The Academy of Management Annals*, 10(1), 2016, pp. 495–560.
- [8] Malmendier, U., and Tate, G., "CEO overconfidence and corporate investment." *The Journal of Finance*, 60(6), 2005, pp. 2661–2700.
- [9] Chatterjee, A., and Hambrick, D. C., "It's all about me: Narcissistic chief executive officers and their effects on company strategy and performance." *Administrative Science Quarterly*, 52(3), 2007, pp. 351–386.
- [10] Hambrick, D. C., and Quigley, T. J., "Toward more accurate contextualization of the CEO effect on firm performance." *Strategic Management Journal*, 35(4), 2014, pp. 473–491.
- [11] Kaplan, S. N., Klebanov, M. M., and Sorensen, M., "Which CEO characteristics and abilities matter?" *The Journal of Finance*, 67(3), 2012, pp. 973–1007.
- [12] Drucker, P. F., *The effective executive*. New York: Harper & Row, 1967.
- [13] OECD, "Measuring the Digital Transformation", 2019.
- [14] Goodman, J. S., Gary, M. S., and Wood, R. E., "Bibliographic search training for evidence-based management education: A review of relevant literatures." *Academy of Management Learning & Education*, 13(3), 2014, pp. 322–353.
- [15] Rynes, S. L., Bartunek, J. M., and Daft, R. L., "Across the great divide: knowledge creation and transfer between practitioners and academics." *Academy of Management Journal*, 44(2), 2001, pp. 340–355.
- [16] Hambrick, D. C., and Mason, P. A., "Upper echelons: The organization as a reflection of its top managers." *Academy of Management Review*, 9(2), 1984, pp. 193–206.
- [17] Herrmann, P., and Nadkarni, S., "Managing strategic change: The duality of CEO personality." *Strategic Management Journal*, 35(9), 2014, pp. 1318–1342.
- [18] Custodio, C., and Metzger, D., "Financial expert CEOs: CEO's work experience and firm's financial policies." *Journal of Financial Economics*, 114(1), 2014, pp. 125–154.

TABLE II. OVERVIEW ABOUT PUBLICATION RESULTS OF JOURNAL ARTICLES

Author(s)	Document Title	Year	Source Title	Document Type
Melander L., Pazirandeh A.	“Collaboration beyond the supply network for green innovation: insight from 11 cases”	2019	<i>Supply Chain Management</i>	Journal Article
Cooke F.L., Liu M., Liu L.A., Chen C.C.	“Human resource management and industrial relations in multinational corporations in and from China: Challenges and new insights”	2019	<i>Human Resource Management</i>	Journal Article
Ruiz-Alba J.L., Guesalaga R., Ayestarán R., Morales Mediano J.	“Interfunctional coordination: The role of digitalization”	2019	<i>Journal of Business and Industrial Marketing</i>	Journal Article
Auvinen T., Sajasalo P., Sintonen T., Pekkala K., Takala T., Luoma-aho V.	“Evolution of strategy narration and leadership work in the digital era”	2019	<i>Leadership</i>	Journal Article
Manfreda A., Indihar Štemberger M.	“Establishing a partnership between top and IT managers: A necessity in an era of digital transformation”	2018	<i>Information Technology and People</i>	Journal Article
Holmlund M., Strandvik T., Lähteenmäki I.	“Digitalization challenging institutional logics: Top executive sensemaking of service business change”	2017	<i>Journal of Service Theory and Practice</i>	Journal Article
Tay H.L., Low S.W.K.	“Digitalization of learning resources in a HEI – a lean management perspective”	2017	<i>International Journal of Productivity and Performance Management</i>	Journal Article
Dasi A., Elter F., Gooderham P.N., Pedersen T.	“New business models in-the-making in extant MNCs: Digital transformation in a telco”	2017	<i>Advances in International Management</i>	Journal Article
Tay H.L., Low S.W.K.	“Digitalization of learning resources in a HEI – a lean management perspective”	2017	<i>International Journal of Productivity and Performance Management</i>	Journal Article
Hung S.-Y., Chen C., Wang K.-H.	“Critical success factors for the implementation of integrated healthcare information systems projects: An organizational fit perspective”	2014	<i>Communications of the Association for Information Systems</i>	Journal Article
Buccoliero L., Calciolari S., Marsilio M.	“A methodological and operative framework for the evaluation of an e-health project”	2008	<i>International Journal of Health Planning and Management</i>	Journal Article

# Digitalization of the Economy as an Incentive for Innovative Development

## Die Digitalisierung als Anreiz für innovative Wirtschaftsentwicklung

Tomislava Grozdanova

GEFCO Bulgaria, Credit Management  
Sofia, Bulgaria, e-mail: tomlava.g@hotmail.com

**Abstract** — This paper highlights the general approaches to defining the digital economy, examines the impact of digital technology mechanisms on innovation processes in the economy, the financial and banking sector, business, society and structures of public administration, as well as identifies risks and problems associated with the use of information and telecommunication technologies. Some proposals were made concerning digital transformation in connection with the qualitative changes in the economy and society.

**Zusammenfassung** — Dieser Beitrag beleuchtet die allgemeinen Ansätze zur Definition der digitalen Wirtschaft, untersucht die Auswirkungen digitaler Technologiemechanismen auf die Innovationsprozesse in der Wirtschaft, im Finanz- und Bankensektor, in der Wirtschaft im Allgemeinen, in der Gesellschaft und in den Strukturen der öffentlichen Verwaltung sowie auf die damit verbundenen Risiken und Probleme und auf diese, die auch im Zusammenhang mit dem Einsatz von Informations- und Telekommunikationstechnologien entstehen können. Ferner werden einige Vorschläge zur digitalen Transformation in Bezug auf die qualitativen Veränderungen in der Wirtschaft und Gesellschaft gemacht.

### I. EINFÜHRUNG

Die Digitalisierung der Wirtschaft beruht auf einer qualitativ neuen Art von Informations- und Telekommunikationstechnologien und umfasst alle Bereiche des gegenwärtigen wirtschaftlichen und sozial-politischen Lebens. Sie wird zu einem entscheidenden Faktor für eine nachhaltige wirtschaftliche Entwicklung und dadurch für einen radikalen Wandel in der Wirtschaft und Gesellschaft.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit besteht darin, einige Auswirkungen digitaler Technologiemechanismen auf die Innovationsprozesse in der Wirtschaft im allgemeinen, und insbesondere im Finanz- und Bankensektor, in der Gesellschaft und in den Strukturen der öffentlichen Verwaltung sowie auf die damit verbundenen Risiken und Probleme zu analysieren, die im Zusammenhang mit dem Einsatz von Informations- und Telekommunikationstechnologien entstehen können [17]. Darüber hinaus werden auch einige Vorschläge zur digitalen Transformation im Zusammenhang mit den qualitativen Veränderungen in unterschiedlichen wirtschaftlichen Bereichen und in der Gesellschaft als Ganzes gemacht.

### II. WESEN UND BESONDERHEITEN DER DIGITALISIERUNG DER WIRTSCHAFT

Die Besonderheiten der Digitalisierung der Wirtschaft lassen sich aus verschiedenen Perspektiven untersuchen. Die digitale Wirtschaft kann als eine Art von Wirtschaft definiert werden, die durch den aktiven Einsatz und die praktische Nutzung digitaler Technologien für das Sammeln, Speichern, Verarbeiten, Umwandeln und Übermitteln von Informationen in allen Bereichen der menschlichen Tätigkeit gekennzeichnet wird. Sie stellt ein System sozioökonomischer und organisatorisch-technischer Beziehungen dar, das auf dem Einsatz von Informations- und Telekommunikationstechnologien beruht. Es handelt sich um ein komplexes organisatorisches und technisches System, das eine Reihe verschiedener Elemente (technische, infrastrukturelle,

organisatorische, programmatische, regulatorische, legislative usw.) mit verteilter Interaktion und gegenseitiger Nutzung von Wirtschaftsakteuren für den Austausch von Wissen und Kompetenzen umfasst, sofern diese kontinuierlich weiterentwickelt werden. Die Digitalisierung der Wirtschaft ist auch als ein Innovationsstadium in der wirtschaftlichen Entwicklung anzusehen, in dessen Mittelpunkt die Integration physischer und digitaler Ressourcen im Produktions- und Konsumbereich in der Wirtschaft und in der Gesellschaft als Ganzes steht [2].

Die Digitalisierung der Wirtschaft vergrößert mehrfach den Informationsraum und schafft Informationsprodukte, wobei die Informationskosten gesenkt werden. Dies beschleunigt und vereinfacht die Informationssuche und -analyse erheblich und trägt zur Verbesserung des Arbeitsumfelds bei [3], [4].

Die Hauptbedingung für den Ausbau des digitalen Segments der Wirtschaft ist der Ausbau des öffentlichen Sektors, einschließlich der Strukturen der öffentlichen Verwaltung, des Informationsdienstleistungssektors, des Finanzsektors und des Dienstleistungssektors. Die globale Erfahrung zeigt, dass Geschäftsbanken, die ein Schlüsselsegment in der Wirtschaft jedes Wirtschaftssystems darstellen, täglich mit digitalen Technologien konfrontiert werden. Die Digitalisierung ermöglicht den Ausbau des Bankgeschäfts sowie einen engeren Kontakt mit den Kunden und eine klarere Vorstellung ihrer Präferenzen, senkt die Betriebskosten und erhöht die Wettbewerbsfähigkeit zugunsten moderner digitaler Dienstleistungen [19].

Die rasche Verbreitung digitaler Technologien in der Wirtschaft bedeutet, dass deren Vorteile im großen Umfang genutzt werden, ihre indirekten Auswirkungen auf das Wirtschaftswachstum jedoch kaum abgeschätzt werden können. Das Problem besteht darin, dass trotz der Statistiken, die eine zunehmende Rolle der Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) in der Wirtschaftstätigkeit belegen, ihre tatsächlichen Auswirkungen auf die Arbeit der Handelsvertreter nicht ausreichend untersucht

wurden. Eine solche Zunahme der positiven Auswirkungen kommerzieller und nichtkommerzieller Art wird als Vorteil der Digitalisierung angesehen und kann mit den herkömmlichen Technologien nicht erzielt werden. Beispielsweise befasst sich eine IT-Abteilung eines Handelsunternehmens mit Informationsaktivitäten, aber die Frage, wie ihr Beitrag zu den vom gesamten Unternehmen angebotenen Dienstleistungen für analytische Zwecke isoliert werden kann, bleibt offen. Um die Auswirkungen der Effizienz der Digitalisierung auf die Wirtschaft genau zu bestimmen, ist es sinnvoll, ein System von Indikatoren zur Bewertung des IKT-Einsatzes zu entwickeln [1].

In diesem Zusammenhang erweist es sich als erforderlich, die charakteristischen Merkmale der digitalen Wirtschaft zu betrachten:

- ) Die Haupttätigkeit der Geschäftseinheiten konzentriert sich auf digitale Plattformen und vereint diese in einer einzigen Informationsumgebung, die es ermöglicht, auf die Bankdienstleistungen unabhängig von der territorialen Zugehörigkeit der Kunden rund um die Uhr zuzugreifen.
- ) Der wesentliche Beitrag der einzelnen Wirtschaftsakteure mit IKT-Kompetenzen und einzigartigen Datenverarbeitungs- und -analysemechanismen zur innovativen Entwicklung der volkswirtschaftlichen Tätigkeit in Verbindung mit der digitalen Technologien und der Genauigkeit der Prognosen;
- ) Die Standardisierung und die Vereinheitlichung der angebotenen Waren und Dienstleistungen tragen zur Bildung personalisierter Dienstleistungsmodelle bei, die es ermöglichen, die Zielgruppe zu identifizieren und bestimmte Nutzergruppen, einzelne Freiberufler und Einsteiger (Startups) anzulocken.
- ) Die direkte Interaktion zwischen den Erzeugern und den Verbrauchern verkürzt die Aktionen der Händler beim Waren- und Dienstleistungsverkehr, wodurch die Herangehensweise des Managements verändert wird. Einen bemerkenswerten Beitrag zur Entwicklung der digitalen Wirtschaft leisten die einzelnen Outsourcing-Teilnehmer;
- ) Die Herausforderungen und Risiken der digitalen Transformation und Gewährleistung der Sicherheit beim Einsatz digitaler IKT für Staat, Wirtschaft und Öffentlichkeit [5].

Die neuen Technologien und die digitalen Plattformen ermöglichen es den Unternehmen und den Bürgern, die Transaktionskosten für die Interoperabilität zu senken und enger mit den Wirtschaftsakteuren und den Institutionen der öffentlichen Verwaltung zusammenzuarbeiten. Das Konzept der „Digitalisierung“ selbst zeugt von einer neuen Phase im Produktionsmanagement und in der Produktion selbst, wobei der Einsatz moderner IKT in allen Bereichen - vom Internethandel bis hin zu E-Government-Dienstleistungen - berücksichtigt wird. Daher funktioniert die digitale Wirtschaft am auf Märkten mit einer großen Anzahl von Wirtschaftsakteuren und einer hohen Implementierung von IKT am effektivsten. In diesem Zusammenhang sollte besondere Aufmerksamkeit den Auswirkungen digitaler Technologien auf das Unternehmertum, auf die Bevölkerung und auf die Institutionen geschenkt werden. Ein wichtiger Beweis für deren erfolgreiche Leistung ist die erleichterte Arbeit des Geschäftssektors und die erleichterte Interaktion von Bevölkerung und Unternehmen mit den Verwaltungsstrukturen [10].

### III. DIE EFFEKTE DER DIGITALISIERUNG AUF DIE INNOVATIONEN

Die Auswirkungen der Digitalisierung können hinsichtlich zwei Gesichtspunkte betrachtet werden. Erstens: Die stark gesunkenen Preise für digitale Technologien werden zu einem Anreiz für Unternehmen und Verwaltungen, die traditionellen Produktionsfaktoren wie Arbeitskräfte und Kapital durch IKT-bezogenes Kapital zu ersetzen und mehrere Aktivitäten zu automatisieren. Beispielsweise nutzen die Fluggesellschaften und die Eisenbahnen Online-Ticket-reservierungssysteme. Die Supermärkte ersetzen Kassierer, die gekauften Produkte kennzeichnen, durch automatische Kennzeichnungsgeräte. Die Hersteller verwenden Managementsysteme mit digitalem Instrumentarium. Die öffentlichen Verwaltungsstrukturen investieren in E-Government auf verschiedenen Ebenen und bieten Online-Dienstleistungen für die Bürger und für die Unternehmen an [7].

Zweitens: die digitalen Technologien steigern die Produktivität der einzelnen Produktionsfaktoren. Sie unterstützen die Manager, den Einsatz deren Mitarbeiter effektiver zu kontrollieren, die Entscheidungsträger - die Arbeit von Informationsdienstleistern zu überwachen, und die Mitarbeiter - die digitalen Technologien zu nutzen, damit die Produktivität gesteigert wird, was wiederum die Effizienz der Investitionen in Humankapital steigert [19].

Durch die Vereinfachung der Aufgaben und die Steigerung der Produktivität bestehender Produktionsfaktoren können die digitalen Informations- und Kommunikationstechnologien die wirtschaftliche Effizienz von Unternehmen, Mitarbeitern und Verwaltungen erheblich erhöhen.

Die maximale Effizienz des Einsatzes digitaler Technologien wird dann erreicht, wenn die Transaktionen automatisch und ohne menschliches Eingreifen durchgeführt werden und die Transaktionskosten auf nahezu Null gesenkt werden. Dies ist die Essenz der digitalen Wirtschaft, und Beispiele dafür sind die Suchmaschinen und die E-Commerce-Plattformen, die digitalen Zahlungssysteme, die E-Books und die sozialen Netzwerke. Die Fixkosten für die Einrichtung einer elektronischen Plattform können sehr hoch sein, aber die Grenzkosten für die Durchführung einer zusätzlichen Transaktion oder für den Zugang zu einem anderen Nutzer lassen sich vernachlässigen. Das führt zu steigenden Skalenerträgen, was die Bildung neuer Geschäftsmodelle fördert und den Internetunternehmen erhebliche Vorteile im Wettbewerb mit ähnlichen, offline agierenden Unternehmen verschafft. Die Grenzkosten von Null locken neue Verkäufer und Käufer, Bankkunden und Fintech-Unternehmen auf die Plattform des Unternehmens und erzeugen einen "Netzwerknutzen"-Effekt, wenn der Nutzen für die Käufer und die Kunden mit dem Auftreten neuer Verkäufer zunimmt und umgekehrt. Je mehr Nutzer sich auf dem Auktionshomepage registrieren, desto mehr Händler werden von der Auktion angezogen, und je mehr Suchanfragen in die Suchmaschine eingegeben werden, desto mehr Informationen werden gesammelt und desto nützlicher werden sie. Der Maßstab und die geringen Grenzkosten erklären auch, weswegen viele soziale Netzwerke zu einem wichtigen Mechanismus für die soziale Mobilisierung und die Kommunikation sowie für die politische Diskussion werden [19].

Durch die nahezu kontinuierliche Kommunikation und Zusammenarbeit kann das Internet neue Angebotsmodelle unterstützen, kollektives Handeln fördern und die Innovationen beschleunigen. In der digitalen Wirtschaft arbeiten diese drei Mechanismen oft zusammen. Viele Online-Unternehmen oder -dienste nutzen die Plattform oder das Modell "Bilateraler Markt". Das bedeutet, dass Plattformen Käufer mit Verkäufern oder Leistungsempfängern mit ihren



Lieferanten verbinden und der Digitalisierung einen personalisierten Charakter verleihen [1].

Die positiven Auswirkungen der digitalen Technologien sind in der gesamten Wirtschaft spürbar. Was den Privatsektor anbelangt, trägt Internet dazu bei, dass die einzelnen Unternehmen durch die Ausweitung des Handels, durch die Steigerung der Kapitalproduktivität und durch den zunehmenden Wettbewerb in die globale Wirtschaft einbezogen werden, was die Innovationen wiederum fördert. Internet erweitert die Möglichkeiten der privaten Haushalte, indem es das Humankapital aktiviert und neue Arbeitsplätze und zusätzliche Vorteile für die Verbraucher schafft, den Zugang der Bevölkerung zu den Dienstleistungen im Finanz- und Bankensektor sowie zu den Dienstleistungen des öffentlichen Sektors ermöglicht bzw. erleichtert und die Kapazität der öffentlichen Verwaltungen erhöht [6].

Die beschleunigte Entwicklung und die dramatische Ausweitung des Einsatzes digitaler Technologien im Finanz- und Bankensektor, die mit bestimmten Risiken verbunden sind, ist ein komplexer Prozess, der auf zwei Hauptprioritäten beruht: Ausweitung des Angebots finanzieller Dienstleistungen und Gewährleistung der Finanzstabilität. Dieser Prozess entwickelt sich in folgenden Bereichen: Entwicklung des Zahlungs- und Settlementsraums; Fernidentifikation; Künstliche Intelligenz; Cybersicherheit [16].

Das Internet trägt am meisten zum Wirtschaftswachstum bei, indem es die Produktionskosten senkt und so die Arbeitseffizienz und die Produktivität in praktisch allen Wirtschaftssektoren steigert. Durch den Erhalt qualitativ hochwertiger Informationen können die Unternehmen ihr vorhandenes Potenzial effektiver nutzen, das Management von Material- und technischen Ressourcen sowie die Lieferkette optimieren, Ausfallzeiten von Produktionsanlagen verringern und das Risiko mindern. Wichtig ist es ebenfalls, dass viele Einzelhändler ihre Lieferanten in ein Echtzeitmodus-Lieferkettenmanagementsystem integrieren können, um die Lagerbestände niedrig zu halten [15].

Die Internetunternehmen haben reale Möglichkeiten, ihre Geschäftstätigkeit schnell und mit relativ geringen Personal- und Kapitalinvestitionen auszubauen. Die Cloud-Services, die Möglichkeiten für Datenverarbeitung und -speicherung bereitstellen, senken die mit der Unternehmensgründung verbundenen Produktionskosten und ermöglichen es den Unternehmen, bei Bedarf die Kapazität zu erhöhen, wodurch auch das Anlegerrisiko verringert wird. Viele Internetfirmen operieren auf separaten Märkten, aber die meisten konkurrieren mit "traditionellen" Unternehmen [19]. So konkurrieren Instant Messaging-Dienste mit Telekommunikationsdiensten und Suchmaschinen, und die sozialen Netzwerke konkurrieren mit den traditionellen Werbemedien. Die E-Commerce-Unternehmen stehen im Wettbewerb mit traditionellen Geschäften. Die Innovationen, die aus einem solchen oder ähnlichen Wettbewerb zwischen Online- und Offline-Unternehmen resultieren, sind in der Regel für die Verbraucher von Vorteil, insbesondere wenn Asymmetrien auf den traditionellen Märkten bestehen [14], [20].

Der Zugang zu den digitalen Technologien garantiert zweifellos das persönliche Wohlbefinden, aber die Quantifizierung dieses wirtschaftlichen Nutzens ist schwierig. Die Fähigkeit der Informationstechnologie, Transaktionskosten zu senken, erweitert die Möglichkeiten für Menschen, die Probleme haben, einen Job zu finden oder auf Ressourcen zugreifen wollen. Obwohl relativ wenige Arbeitsplätze direkt im digitalen Bereich geschaffen werden, nehmen die neuen Möglichkeiten für Entrepreneurship und Selbstständigkeit rasant zu.

Fakt ist, dass das Internet zur Steigerung der Arbeitsproduktivität führt. Bei der Automatisierung von routinemäßigen und monotonen Aufgaben haben die Mitarbeiter die Möglichkeit, sich auf die Tätigkeiten mit höherem Mehrwert zu konzentrieren. Der kompetente Einsatz offener Online-Massenkurse oder Online-Schulungsmechanismen ermöglicht es den Trainern, mehr Zeit für methodische Unterstützung zu verwenden, Diskussionen zu organisieren und mit einer bestimmten Kategorie von Lernenden zu arbeiten [4], [18].

Ein wesentlicher Motivator für die Entwicklung der digitalen Wirtschaft ist das Erfordernis der Verwaltungsstrukturen, Dienstleistungen für Bürger und Unternehmen bereitzustellen und sie zu einem Hauptkunden und -nutzer ihrer Produkte zu machen. Die digitalen Technologien tragen im Kontext der Globalisierung zum Aufbau von Verwaltungskapazitäten und -fähigkeiten bei [8].

Die öffentliche Verwaltung erbringt Dienstleistungen, die in der Regel nicht zum Verkauf angeboten werden und keinem Marktwettbewerb unterliegen. In dieser Hinsicht ist das Problem der Steigerung der Effizienz des öffentlichen Sektors der Wirtschaft sehr akut. Man kann davon ausgehen, dass die digitalen Technologien die Effizienz öffentlicher Dienstleistungen steigern können. Die mehrfache Zunahme von Informationsquellen verringert das Risiko einer voreingenommenen Berichterstattung über Ereignisse in den Medien und ermöglicht den öffentlichen Institutionen, auf die aktuelle Situation sofort zu reagieren [6].

Es muss hervorgehoben werden, dass die Digitalisierung die Effizienz und die Produktivität dieser öffentlichen Dienstleistungen erhöht, die durch Automatisierung und Informationsmanagement bereitgestellt werden. Die Einreichung elektronischer Steuererklärungen senkt beispielsweise die Kosten für die Einhaltung von Steuergesetzen, und E-Government-Strukturen, die One-Stop-Shop- und Online-Portale verwenden, erhöhen die Effizienz der Dienstleistung. Mit E-Government können die Bürger schnell ihre Meinung zu bestimmten Themen äußern, was in vielen Fällen die Qualität und die Funktionsweise der Verwaltung verbessert. Als Reaktion darauf haben die Behörden die Möglichkeit, über die ergriffenen Maßnahmen Bericht zu erstatten, um sicherzustellen, dass das Feedback erhalten bleibt. Diese Vorteile finden nicht automatisch statt und sind nicht garantiert, aber in vielen Fällen können digitale Technologien erhebliche Vorzüge bringen [5], [7], [8].

Um die positiven Auswirkungen der Digitalisierung zu maximieren, müssen die Regierungen einen Markt für relevante Hightech-Produkte unter Beibehaltung der Kontrolle über die wichtigsten Plattformen der digitalen Wirtschaft aufrechterhalten und sich darauf konzentrieren, ihre eigenen Entwicklungen für die Verwaltungsstrukturen, für die Industriebranchen und für die Unternehmen zu entwickeln. Der wichtigste Bereich in diesem Zusammenhang ist die Aus- und Weiterbildung von Fachkräften für die Arbeit mit komplexen digitalen Informationssystemen in der öffentlichen Verwaltung [11].

Die digitale Wirtschaft verfügt über ein enormes Potenzial zur Stimulierung der wirtschaftlichen Entwicklung, zur Aktivierung der bestehenden Waren-, Dienstleistungs- und Arbeitsmärkte sowie zur Verbesserung der Funktionsweise des öffentlichen Sektors. Das spiegelt sich in folgenden Richtungen wider: höhere Geschwindigkeit der Innovationsimplementierung; Reduzierung der Netzwerkkomplexität durch Automatisierung; Erhöhung der Zuverlässigkeit und Sicherheit des Netzwerkes; Punktnetzwerk-Management; Gewährleistung der Kohärenz zwischen Richtlinien für Zugangskontrolle, Verkehrstechnik und Verkehrsengineering,

Dienstleistungsparameter, Sicherheit usw.; zentrale Verwaltung in einer Umgebung mit mehreren Anbietern; Verbesserung der Wahrnehmung der Servicequalität; Möglichkeit Netzwerklösungen für verschiedene Hersteller zu entwickeln; Reduzierung der Stromkosten; Einkommenssteigerung; Beschleunigung der Kapitalrendite durch Verbesserung der Effizienz der Netz- und Gerätenutzung [13].

Die digitale Transformation, die sich auf die innovative Entwicklung der Wirtschaft und die Steigerung ihrer Wettbewerbsfähigkeit konzentriert, ist sowohl ein Vorteil als auch eine Herausforderung für die Gesellschaft. Anders gesagt: zusammen mit den unbestreitbaren Vorteilen und positiven Effekten birgt die digitale Wirtschaft Risiken und Probleme im Zusammenhang mit der Einführung von Digital- und Informationstechnologien, und zwar: eine Herausforderung für die wirtschaftliche Unabhängigkeit von Ländern in der grenzüberschreitenden Welt der digitalen Gesellschaft; Verstoß gegen die Grundsätze der Vertraulichkeit und der Privatsphäre der Bürger; Verletzbarkeit und Manipulation von Informationsdaten; Störungen auf dem Arbeitsmarkt und steigende Arbeitslosigkeit bei gering- und mittelqualifizierten Fachkräften; die Notwendigkeit, die Verwaltungs- und Steuergesetzgebung des Staates zu ändern; Umstrukturierung der Geschäftsmodelle und Interaktionsschemata der Wirtschaftsakteure [12]. Daher sollten die möglichen negativen Auswirkungen der Digitalisierung der Wirtschaft vorhergesehen, die zuständigen Entscheidungsträger darauf vorbereitet und die negativen Auswirkungen minimiert und nach Möglichkeit vermieden werden.

#### SCHLUSSFOLGERUNG

Durch die Überwindung von Informationsbarrieren, die Erhöhung der Produktionskapazität und die Veränderung der Produktenart können die digitalen Technologien die wirtschaftliche Entwicklung integrativer, effizienter und innovativer gestalten. Gleichzeitig muss berücksichtigt werden, dass die Informationen eine Ware darstellen und dass das Wohlergehen und der Lebensstandard der Bevölkerung in direktem Zusammenhang mit dem spezifischen Energieverbrauch stehen und dass der soziale Status durch soziales Prestige und Autorität ersetzt wird.

Der derzeitige Digitalisierungsgrad der Wirtschaft ermöglicht die Schaffung von Mechanismen für die Erfassung, Verarbeitung und Bereitstellung von grundlegenden und produktiven (primären und sekundären) Informationen vor Ort bei minimalem Arbeits-, Material- und Finanzaufwand für die Wahrnehmung dieser Aufgaben. Relevante Informationen zu haben, ist ein einzigartiger Wettbewerbsvorteil für Unternehmen, der es ihnen ermöglicht, ihre Prognosegenauigkeit zu verbessern und damit ihre finanzielle Stabilität zu gewährleisten.

Es lässt sich feststellen, dass die digitale Wirtschaft ein enormes Potenzial für innovative Entwicklungen, für eine grundlegend neue Organisation von Warenmärkten, Dienstleistungs- und Arbeitsmärkten, Finanzanlagen und Zahlungssystemen anbietet. Die Digitalisierung wird einen wesentlichen Beitrag zum nachhaltigen Wirtschaftswachstum, zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit der wichtigsten Industrie- und Innovationssektoren und zur Verbesserung der Lebensqualität der Bürger leisten.

In diesem Beitrag sind nur einige Perspektiven allgemein erwähnt. Die einzelnen Sektoren lassen sich genauer analysieren und vertiefen. Freilich sind auch die Nachteile und Gefahren der Digitalisierung zu nennen, jedoch erlaubt das vorgegebene Format diese Ausführlichkeit nicht und daher könnten sich weitere Beiträge mit den Details beschäftigen.

#### Literaturverzeichnis

- [1] Bauernhansl, T., ten Hompel M., Vogel-Heuser, B. (2014) *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik: Anwendung, Technologien, Migration*. Springer Vieweg, Wiesbaden, Germany
- [2] Bharadwaj, A., El Sawy, OA, Pavlou, PA, Venkatraman, N. (2013) „Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights“ in *MIS Quarterly* 37:471 - 482.
- [3] Buhl, HU, Röglinger, M., Moser, F., Heidemann, J. (2013) „Big Data Ein (ir)relevanter Modebegriff für Wissenschaft und Praxis?“ *Wirtschaftsinformatik* 55:63 - 68.
- [4] Gankova-Ivanova, Zwetelina, „Hochschulbildung, Innovationen und Beschäftigung“, *Internationale wissenschaftliche Konferenz „25 Jahre FDIBA - German Engineering: Made in Bulgaria“ am 27. November 2015*, Sofia, S.101-110.
- [5] Gankova-Ivanova, Zwetelina, „Open Government, Modernization of Public Administration and e-Government in Bulgaria“. *Journal of Technical University of Gabrovo*, Vol. 50, 2014, P. 60-89
- [6] Gankova-Ivanova, Zwetelina, „The challenges of Bulgaria's Higher Education System“. *Journal of Technical University of Gabrovo*, Vol. 46, 2013, P. 109-112
- [7] Gankova-Ivanova, Zwetelina, „Modernization of Public Administration and e-Government in Bulgaria“. *Environment, technology, resources, Proceedings of the 9th International Scientific and Practical Conference*, Resekne, June 20-22, 2013, Vol.3, p. 11-15.
- [8] Gankova-Ivanova, Zwetelina. „Schattenwirtschaft, transparente E-Verwaltung. Die Digitale Transformation – Herausforderungen im technologischen, wirtschaftlichen und sozialen Wandel“. *FDIBA Conference Proceedings*, vol. 1, 2017, p. 117-120.
- [9] Gankova-Ivanova, Zwetelina, „The European Service Directive and its Implementation in Bulgaria“. *Journal of the Technical University of Gabrovo*, Volume 37, 2009, p.94-98 (auf Bulgarisch)
- [10] Gankova-Ivanova, Zwetelina, „Economic Stability and Progress of Bulgaria in Relation to the Preparation for the Introduction of the common European Currency – the Euro“. *Journal of the Technical University of Gabrovo*, Volume 37, 2009, p.104-112 (auf Bulgarisch)
- [11] Gankova, Zwetelina, „Arbeitsmarktpolitik und Sozialpolitik in der Europäischen Union“. *Wirtschaftsdenken*, Jg. XLIV , 3/1999, S. 90-108 (auf Bulgarisch) („Politika na pazara na truda i socialna politika v Evropejskija syjus“, sp. *Ikonomicheska misyl*, g. XLIV, kn. 3/1999 ., str. 90 – 108
- [12] Gankova-Ivanova, Zwetelina, „Die Arbeit in der Schattenwirtschaft“ (auf Bulgarisch), *Proceedings*, Vol. , UNITECH'05, Gabrovo, 24-25 November 2005 ., S.85-90
- [13] Gankova-Ivanova, Zwetelina, „Der Zustand der Beschäftigung und das Grundeinkommen. Wesen, Modelle und Auswirkungen (auf Bulgarisch), sp. *Wirtschaft*, Juli 1994, S. 22 – 35.
- [14] Heinemann, G., Haug, K., Gehrckens, M., (2013) *Digitalisierung des Handels mit ePace. Innovative E-Commerce-Geschäftsmodelle und digitale Zeitvorteile*. Springer Gabler, Wiesbaden, 2013
- [15] Hilbrecht, H., Kempkens, O. (2013) *Design Thinking im Unternehmen - Herausforderung mit Mehrwert. Digitalisierung und Innovation*. Springer Gabler, Wiesbaden, Germany
- [16] Kagermann, H., Osterle, H., Jordan, JM (2011) *IT-Driven Business Models: Global Case Studies in Transformation*. Wiley, Hoboken, New Jersey, USA
- [17] Keuper, Fr., Hamidian, K., Verwaayen, E., Kalinowski, T., Kraijo, Chr. (Hrsg.) (2013) *Digitalisierung und Innovation. Planung, Entstehung, Entwicklungsperspektiven*, Springer Gabler, Düsseldorf, Deutschland
- [18] Wittpahl, V. (Hrsg.) (2016) *Digitalisierung. Bildung, Technik, Innovation*. Springer Vieweg, Berlin, Deutschland
- [19] Zarnekow, R. (2007) *Produktionsmanagement von IT-Dienstleistungen*. Springer, Heidelberg, Germany
- [20] Zarnekow, R., Brenner, W., Pilgram, U. (2005) *Integriertes Informationsmanagement - Strategien und Lösungen für das Management von IT-Dienstleistungen*, 1st Edn. Springer, Heidelberg, Germany

# The rights of the purchaser in case of lack of work performances (§ 634 BGB) and obligations to notify if there are doubts in the employment contract

## Die Rechte des Bestellers bei Mängeln von Werkleistungen (§ 634 BGB) und Hinweispflichten von Bedenken im Werkvertragsrecht

Prof. Dr. jur. Peter Greulich

Akad. Dir. i. R. Leibniz Universität Hannover  
Hannover, Germany, email: Greulich@jura.uni-hannover.de

**Abstract** — Especially in the economic relations between Bulgaria and Germany, the economic relations between the two countries are of great importance. They are the basis for the lives of the people of both countries. The basis for industry and commerce are the legal relationships between the business partners. Here the purchase and the work contracts form the essential bases. The purchase contract is characterized by the keyword "goods against money". The contract for work can be described by the words: provision of an agreed "work performance (profit reference) against payment". The lecture deals with the question of what the contracting parties should pay attention to when they agree on a "performance-related benefit" (the production of a work) in exchange for a remuneration. The article aims to clarify what the business partners should be aware of in order to avoid as imprecise definitions as possible in the negotiations and to openly address and clarify open issues.

**Zusammenfassung** — Gerade in den Wirtschaftsbeziehungen zwischen Bulgarien und Deutschland sind die Wirtschaftsbeziehungen zwischen beiden Ländern von großer Bedeutung. Sie sind die Grundlage für das Leben der Menschen beider Länder. Basis für die Industrie und den Handel sind die Rechtsbeziehungen zwischen den Geschäftspartnern. Hierbei bilden die Kauf- und die Werkverträge die wesentlichen Grundlagen. Der Kaufvertrag wird durch das Stichwort „Ware gegen Geld“ charakterisiert. Den Werkvertrag kann man mit den Worten umschreiben: Erbringung einer vereinbarten „Werkleistung (Erfolgsbezug) gegen Entgelt“. Der Vortrag behandelt die Frage, worauf die Vertragspartner achten sollen, wenn sie eine „erfolgsbezogene Leistung“ (die Herstellung eines Werkes) gegen eine Vergütung vereinbaren. In dem Beitrag soll geklärt werden, was die Geschäftspartner beachten sollten, damit bei den Verhandlungen möglichst unpräzise Festlegungen vermieden werden und offene Punkte offen angesprochen und geklärt werden.

### I. EINFÜHRUNG

Nach der europaweit verbindlichen: „RICHTLINIE 1999/44/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTES UND DES RATES vom 25. Mai 1999 zu bestimmten Aspekten des Verbrauchsgüterkaufs und der Garantien für Verbrauchsgüter“ [1] gelten zum Kauf- und Werkvertragsrecht im Wirtschaftsraum der EU einheitliche verbindliche Leitlinien.

Der deutsche Gesetzgeber hat im Werkvertragsrecht (Stichwort: Herstellung einer Werkleistung gegen Vergütung) in § 634 BGB unter der Überschrift: „Rechte des Bestellers bei Mängeln“ die Ansprüche des Bestellers gegen den Werkunternehmer auf eine vertragsmäßige Leistung normiert und das Kaufrecht entsprechend neu konzipiert und beide Vorschriften aneinander angehängen [2]. Er folgt damit den Vorgaben der „EG-Verbrauchsgüterkauf-Richtlinie“ in Art 1 ff. der Europäischen Gemeinschaft.

Mit dieser gesetzgeberischen Methode sind die Grundregeln im Kauf- und Werkvertragsrecht im Bürgerlichen Gesetzbuch (BGB) aufeinander abgestimmt; sie sind nunmehr nahezu identisch. Bei den Formulierungen erscheint es wenig überzeugend, dass der deutsche Gesetzgeber in § 633 BGB nach der Überschrift: „Sach- und Rechtsmängel“ in Absatz II fortfährt: „Das Werk ist **frei** von Sachmängeln“ Damit

wechselt er seine Sichtweise: man erwartet nach der Überschrift, wie der Gesetzgeber den Begriff „Sachmängel“ näher beschreibt; stattdessen schwenkt er in seiner Formulierung um und beschreibt, was unter *Sachmängelfreiheit* zu verstehen ist.

Es wäre nach der hier vertretenen Auffassung sinnvoll und für den Laien verständlicher, wenn der deutsche Gesetzgeber im Kauf- und Werkvertragsrecht nicht von der Vertragsmäßigkeit ausgegangen wäre, sondern vom *Mangelbegriff*. Auch ist es irreführend, eigentlich falsch, wenn der deutsche Gesetzgeber im Werkvertragsrecht von „Sachmängeln“ spricht. Zutreffender wäre der Begriff „*Mangel der Werkleistung*“, weil Werkleistungen sich nicht nur auf Sachen beschränken [3].

Eine Werkleistung ist also mangelhaft:

- wenn sie die vereinbarte Beschaffenheit nicht hat; andernfalls, wenn sie die nach dem Verträge vorausgesetzte Verwendung nicht erfüllt; andernfalls,
- wenn sie sich für die gewöhnliche Verwendung nicht eignet und eine Beschaffenheit aufweist, die bei Werken dieser Art nicht üblich ist (*objektive Gebrauchs-erwartung*),
- oder wenn sie nicht den anerkannten Regeln der

Technik entspricht (*Stand der Technik*).

Man unterscheidet bei den aufgeführten Voraussetzungen zwischen „Spezifikation“ (Nr. 1.) und vertraglichen Gebrauchserwartungen (Nr. 2. bis 4.)

All the required formatting is stored as Styles. Please do not modify any of the styles that come with this template. The style examples given here are expanded with the style name given in brackets. For instance the paper title should be formatted with the *paper title* style.

Margins, column widths, line spacing, and type styles are built-in; examples of the type styles are provided throughout this document and are identified in italic type, within parentheses, following the example. Some components, such as multi-leveled equations, graphics, and tables are not prescribed, although the various table text styles are provided. The formatter will need to create these components, incorporating the applicable criteria that follow.

## II. PRAKTISCHE FOLGEN

Für die Praxis folgt aus dieser „Pyramide“, dass ein Kunde bei seinem Geschäftspartner (dem Werkunternehmer) bei seiner Bestellung (Anfrage, Vertragsverhandlungen bis zur Auftragsvergabe) seine Anforderungen an die Werkleistung möglichst präzise formuliert und schriftlich niederlegt (dokumentiert). Entsprechend der Auflistung in § 633 Abs. II Nr. 1 bis 3 sieht der Gesetzgeber (aufgrund der *EG-Richtlinie - europaweit!*) in dieser Vorschrift folgende Stufungen vor:

- es sollen die Parteien die Beschaffenheit genau vereinbart *und* dokumentiert haben;
- andernfalls muss der Besteller präzise angeben, welche Eigenschaften er von der Werkleistung erwartet, möglichst in Bezug auf seine Gebrauchserwartung in Bezug auf die Werkleistung;
- haben die Vertragsparteien keine spezifischen Eigenschaften vereinbart, ist der Maßstab die gewöhnliche Gebrauchserwartung, die die Werkleistung nach der Verkehrsanschauung erbringen muss;
- bei den „anerkannten Regeln der Technik kann man in Deutschland z. B. auf die Regelungen der DIN-Normen (Deutsche Industrie-Normen) oder im Bauvertragsrecht auf die VOB/C (Vergabe- und Vertragsordnung für das Bauwesen - Teil C: Technische Vorschriften) [5] zurückgreifen.

## III. ABNAHME DER WERKLEISTUNG

Das wichtigste weitere Element im Werkvertragsrecht ist die „*Abnahme der Werkleistung*“.

Bei der Abnahme sind zwei Grundelemente zu beachten:

- Die *körperliche Entgegennahme* der vollendeten Leistung (des „*Werkes*“) - sie ist in der Praxis in der Regel problemlos.
- Die *rechtsgeschäftliche Anerkennung* der vertragsgerechten Werkleistung (in der Praxis ist dieses Tatbestandsmerkmal von großer Bedeutung). Hierbei geht es um die Prüfung, ob die Werkleistung „im Wesentlichen“ den vertraglichen Vorgaben und Vereinbarungen entspricht.
  - Die Abnahme kann verweigert werden, wenn es sich um „wesentliche“ Mängel handelt. Hier sind für die Prüfung die Aspekte in § 633 Absatz II (s. oben) maßgebend.
  - Handelt es sich um „unwesentliche“ Mängel, so besteht für den Besteller kein Recht, die Abnahme zu verweigern. Die Abnahmereife ist hierbei davon abhängig, ob die Werkleistung unter

Abwägung der beiderseitigen Interessen nach Art und Umfang und ihren Auswirkungen für den Besteller, den Kunden, zumutbar ist; dann kann er die Abnahme nicht verweigern.

- Für beide Vertragspartner ist es entscheidend, ob es zur förmlichen Abnahme kommt.
  - Bis zur Abnahme trägt der Werkunternehmer die „*Leistungsgefahr*“ und die „*Vergütungsgefahr*“: er muss bei einer Verschlechterung seiner Leistung oder bei einem Untergang noch einmal leisten, kann aber nur einmal die Vergütung verlangen.
  - Erst *mit der Abnahme* (gerade auch bei unwesentlichen Mängeln) trägt der Besteller (der Kunde) das volle Risiko und muss die Vergütung leisten.
  - Dem Abnehmer ist daher zu raten, bei Mängeln die Abnahme zu verweigern, zumal der Werkunternehmer die Beweislast dafür trägt, dass er seine Leistung vertragsgerecht präsentiert.
- Die Rechtsfolgen der Abnahme sind insbesondere die Fälligkeit der Vergütung, die Neuordnung der Gefahrensphären vom Unternehmer auf den Besteller, der Übergang der Beweislast vom Unternehmer auf den Besteller und der Beginn des Laufes der Verjährungsfristen der Mängelansprüche.

Wenn die Werkleistung nicht die im Vertrag bestimmten Voraussetzungen erfüllt, stehen dem Besteller verschiedene Rechte zu:

- Er kann von dem Unternehmer als „Primäranspruch“ die kostenlose Herstellung der Werkleistung verlangen (Anspruch auf Nacherfüllung).
- Nach zwei misslungenen Nachbesserungsversuchen stehen dem Besteller folgende „Sekundärrechte“ zu:
  - das Recht auf Selbstvornahme der Nachbesserung (gegen Kostenerstattung) und,
  - wenn und soweit die Nacherfüllung nicht zum Erfolg geführt hat, als weitere Sekundärrechte:
    - Rücktritt vom Verträge oder Minderung der Vergütung und (zusätzlich)
    - Schadensersatz oder Ersatz vergeblicher Auswendungen zu.

## IV. GELTENDMACHUNG VON BEDENKEN

Ein wesentlicher Punkt, der die erforderliche Aufmerksamkeit in Theorie und Praxis nicht findet, ist die „*Geltendmachung von Bedenken*“, und zwar vor, bei Vertragsschluss und während der Vertragserfüllung. Diese Pflicht trifft vornehmlich den Werkunternehmer, ist aber auch vom Besteller zu beachten.

In Auswertung insbesondere der Baurechtsprechung zu § 4 Nr. 3 VOB/B (Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen) [4] sollen in einer systematischen Auflistung folgende Aspekte herausgehoben werden:

- Ziel ist es, dass der jeweilige Vertragspartner - extern wie intern - also der Werkhersteller gegenüber seinem Kunden (Besteller) sowie die Mitarbeiterin / der Mitarbeiter im Verhältnis zum Vorgesetzten - aufgrund der eigenen Fach- und Sachkenntnisse den Vertragspartner möglichst frühzeitig vor Problemen warnen. Das gilt, wenn die ihnen aufgegebenen „*Vorgaben*“ (Ausführungspläne, Spezifikationen, Anordnungen), aber auch Materialien (wie gelieferte und vorgegebene Stoffe, Vorleistungen anderer Unternehmer) zu Mängeln jeglicher Art (von

Produktmängeln, Mängeln in der Ausführung bis zu Risiken durch das Produkt) führen können.

- Der *Zweck der Hinweispflichten* liegt:
  - in der Bewahrung des Vertragspartners bzw. Arbeitgebers vor Schadensrisiken jeglicher Art.
  - im Eigeninteresse:
    - bei ordnungsmäßiger Erfüllung wird die Gefahr von Regressen minimiert,
    - im Rahmen der vertraglichen Mängelhaftung in Verhältnis zum Kunden kann sich der Unternehmer auf seine geäußerten Bedenken berufen.
    - Bei der *gesetzlichen „Produkthaftung“* kann sich der Bedenkenträger nicht auf seine vorgetragenen Bedenken berufen; es handelt sich hierbei um eine zwingende gesetzliche Haftung gegenüber Dritten, die nicht vertraglich ausgeschlossen werden kann.
- Bei der *Form* der Hinweise und Bedenkenäußerungen ist Folgendes zu beachten:
  - Grundsätzlich ist keine besondere Form vorgeschrieben, so dass auch mündliche Hinweise beziehungsweise Mitteilungen über Telefon oder Handy, E-Mails ausreichend sind (aber: wichtiges Problem des Beweises!).
  - Gerade zu Zwecken der Beweissicherung werden dringend schriftliche Mitteilungen empfohlen, bei gravierenden Bedenken mit Gegenzeichnung des Vertragspartners, oder - in Deutschland – sollte man mit Einschreiben und Rückschein arbeiten.
- Der Inhalt des Bedenkenschreibens sollte *zwei Komponenten* haben:
  - Die Bedenken sollen konkret dargelegt und begründet werden - und
  - zusätzlich soll auf die negativen Folgen bei Nichtberücksichtigung der Bedenken hingewiesen werden.
- In Bezug auf die *Adressaten* (Empfänger) sind die Bedenken zu richten:
  - beim Kunden: an die entscheidungsbefugten Personen,
  - beim Unternehmer: an die entscheidungsbefugte, vorgesetzte Person.
- Beim *Zeitpunkt* der Bedenkenäußerungen ist Folgendes zu beachten:
  - Sie sollen möglichst frühzeitig erfolgen, z. B. im Rahmen der Vertragsverhandlungen („Pflichtenheft“, schriftliche Sondervereinbarungen).
  - Insbesondere bei Veränderungen der Spezifikationen während der Vertragsdurchführung sollte Protokolle angefertigt werden, die möglichst von beiden Seiten unterschrieben werden.
  - Hinweise an den Kunden haben bei Auftreten neuer Erkenntnisse grds. zu erfolgen (> Produktüberwachung!)
- Ein weiterer wichtiger Punkt ist die *Tragung der Beweislast*:
  - Bei der Berufung auf seine Hinweise an den Kunden hat der Bedenkenträger den Beweis zu erbringen, dass er seine Bedenken vorgebracht und der Kunde sie entgegengenommen (erhalten) hat.
  - Hinsichtlich der Verletzung der „Rügepflicht“ trägt der Anspruchsteller die Beweislast, dass

Hinweise des Bedenkenträgers nicht erfolgt sind beziehungsweise sie nicht ausreichend waren.

- Hinsichtlich der eingetretenen Schäden obliegt dem Anspruchsteller die Beweislast.

## V. HINWEIS- UND BEDENKENPFLICHTEN - KONSEQUENZEN

Wenn der Bedenkenträger seine *Hinweis- und Bedenkenpflichten beachtet* hat:

- bestehen für ihn insoweit grundsätzlich keine „Mängelhaftungsrisiken“.
- eine persönliche strafrechtliche Verantwortung kann nahezu ausgeschlossen werden.
- weiterhin besteht für den Bedenkenträger das Risiko, bei Schädigung Dritter aus der gesetzlichen Produkthaftung auf Schadensersatz in Anspruch genommen zu werden.

Bei den *Konsequenzen bei Nichtbeachtung* der Hinweis- und Bedenkenpflichten ist zu differenzieren:

- der Bedenkenträger, der seinen Pflichten nicht nachgekommen ist, kann im Hinblick auf die nicht verhinderten Mängel und Schäden im Rahmen der Vertragshaftung auf Schadensersatz belangt werden.
- bei erheblichen Schadensfolgen (Körperverletzungen, Todesfolgen) besteht für den Bedenkenträger das Risiko, strafrechtlich verfolgt zu werden.

## VI. FRAGEN DER VERJÄHRUNG VON ANSPRÜCHEN

Zu dem Problembereich der Pflichtverletzungen gehört die wichtige Frage, wie lange der Besteller seine Rechte gegen den Werkunternehmer, der mangelhaft geleistet hat, geltend machen kann. Im deutschen Recht ist im Rahmen der *Umsetzung der EU - Verbrauchsgüterkaufrichtlinie* auch das Verjährungsrecht neu geregelt worden, das nunmehr in seinen Grundzügen in der ganzen EU gilt:

Mit der „*Einrede der Verjährung*“ besteht für den aus einem Anspruch Verpflichteten die Möglichkeit, die von ihm geforderte Leistung zu verweigern. *Nur* wenn er die Einrede der Verjährung geltend macht, führt diese seine „Abwehrmaßnahme“ zu einem dauernden Leistungsverweigerungsrecht, nicht etwa zu einem Erlöschen des Anspruchs (§ 222 Abs. 1 BGB).

- Die Verjährungsfristen bestimmen einen abgegrenzten Zeitraum, innerhalb dessen eine Person einen - bestehenden - Anspruch mit Erfolg (gerichtlich) durchsetzen kann; trotz Eintritts der Verjährung lebt der Anspruch fort. Die Frist beträgt grundsätzlich drei Jahre (§ 195 BGB).
- Der Schuldner muss sich also durch seine „Einrede der Verjährung“ gegen den Anspruch „wehren“.
- Bei der regelmäßigen Verjährungsfrist sind der allgemeine *Fristbeginn* und die *Dauer* neu geregelt. Grundsätzliche Voraussetzungen sind:
  - Entstehung des Anspruchs,
  - Kenntnis des Gläubigers und der den Anspruch begründenden Umstände und
  - Kenntnis der Person des Schuldners.
- Der Lauf der Frist beginnt am Ende des Jahres, in dem die Frist zu laufen begonnen hat.
- *Etwas Anderes gilt im Werkvertragsrecht*:
  - der *Beginn* der Verjährungsfrist tritt *mit der Abnahme* des Werkes ein, wird also „spitz“ (ab dem Tag der Abnahme) gerechnet;

- Die Verjährungsfrist läuft grundsätzlich über zwei Jahre; bei Bauwerken und Bauleistungen über fünf Jahre (§ 635a Abs. I und II BGB).
- Es wird im Verjährungsrecht weiter unterschieden zwischen:
  - *Hemmung* der Verjährung - bildlich gesprochen: die „Verjährungsuhr“ wird für die Zeitspanne, in der der Besteller mit dem Werkunternehmer verhandelt, angehalten und läuft nach Abbruch der Verhandlungen zu Ende. Mit Klageerhebung oder Einleitung eines gerichtlichen Mahnverfahrens oder eines selbständigen gerichtlichen Beweisverfahrens tritt ebenfalls die Hemmung der Verjährung ein.
  - Bei der *Unterbrechung* der Verjährung wird - bildlich gesprochen - die Verjährungsuhr „auf Null“ zurückgestellt und beginnt von Neuem zu laufen; sie gilt pauschal z. B. bei der Anerkennung oder der gerichtlichen Geltendmachung eines Anspruchs

## VII. ZUSAMMENFASSUNG

Zu beachten ist: die Juristen verwenden der Begriff „grundsätzlich“ nicht wie einen unumstößlichen Grundsatz; er bedeutet so viel wie „in aller Regel“, so dass Ausnahmen durchaus möglich und denkbar sind.

1. Bei einer Überarbeitung des BGB sollte der deutsche Gesetzgeber im Werkvertragsrecht den Begriff „Unternehmer“ durch „Werkunternehmer“ ersetzen. Begründung: der Unternehmer ist im Gesetz im „Allgemeinen“ Teil in § 14 BGB als selbständig handelnder Gewerbetreibender normiert und dem des „Verbrauchers“ gegenübergestellt.

Eine Übernahme des Begriffs „Unternehmer“ in das Werkvertragsrecht ist nicht nur missverständlich, sondern gibt die wesentliche Charakteristik des „Werkunternehmers“ nicht korrekt wieder. Begründung: der „Unternehmer“ in § 14 BGB ist allgemein ein selbständiger Gewerbetreibender, während der „Werkunternehmer“ eine Leistung zu erbringen hat. Es handelt sich also um völlig unterschiedliche Ansätze.

2. Außerdem sollte der viel zu enge, im Übrigen falsche Begriff des „Sachmangels“ durch den Begriff „Mangel der Werkleistung“ ersetzt werden. Der Begriff „Sachmangel“ verengt im Sprachlichen den Mangel nur auf Mängel an

Sachen, während die sonstigen mangelhaften Werkleistungen von diesem engen Begriff nicht erfasst werden.

3. Im 1. Buch des BGB „Allgemeiner Teil“ sollte eine Rechtsnorm „Hinweise und Bedenken“ eingeführt werden. Es könnte in der Formulierung aus § 4 Nr. 4 der VOB/B [4] folgende Regelung übernommen werden: „Hält der Werkunternehmer die Vorgaben (Anweisungen) des Bestellers für unberechtigt oder unzumutbar, so hat er seine Bedenken und ihre negativen Folgen geltend zu machen, die Anordnungen jedoch auf Verlangen auszuführen, wenn nicht gesetzliche oder behördliche Bestimmungen entgegenstehen. Wenn dadurch eine ungerechtfertigte Erschwerung verursacht wird, hat der Besteller die Mehrkosten zu tragen“.

4. In der Praxis sollte der Besteller, der Ansprüche gegen seinen Werkunternehmer erheben will, darauf achten, dass er sie innerhalb der ersten beiden Jahre nach Abnahme geltend macht.

Sobald der Unternehmer sich bereit erklärt, die ihm mitgeteilten Mängel zu prüfen, tritt die Hemmung der Verjährung ein. In diesem Fall sollte der Besteller präzise dokumentieren, wann er dem Unternehmer den Mangel mitgeteilt hat und wie lange die Verhandlungen mit ihm gedauert haben. In dieser „Stillstandszeit“ ist die Verjährungsuhr angehalten.

Wenn sich der Partner die Verantwortung der ihm mitgeteilten Mängel ablehnt oder sich weigert, in Verhandlungen einzutreten, tritt keine Hemmung ein; die Verjährungsuhr läuft trotz der Mitteilung des Bestellers weiter.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] *Richtlinie 1999/44/EG des Europäischen Parlaments und des Rates zu bestimmten Aspekten des Verbrauchsgüterkaufs und der Garantien für Verbrauchsgüter*, (1999), Online: [https://rsw.beck.de/rsw/upload/Beck\\_Aktuell/13\\_VerbrGKRL.pdf](https://rsw.beck.de/rsw/upload/Beck_Aktuell/13_VerbrGKRL.pdf). Zugriff am: 17.10.2019
- [2] *Bürgerliches Gesetzbuch § 634*, (2019) Online: [https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/\\_634.html](https://www.gesetze-im-internet.de/bgb/_634.html), Zugriff am: 17.10.2019
- [3] O. Palandt und H. Sprau, „Beck'sche Kurzkommentare - Bürgerliches Gesetzbuch § 634 Randnummer 4“, vol. 19, C.H.BECK. ISBN 978-3-406-73800-5, 2019, pp. 356-472
- [4] *VOB/B Allgemeine Vertragsbedingungen für die Ausführung von Bauleistungen*, (2019), Online: <https://dejure.org/gesetze/VOB-B>, Zugriff am: 17.10.2019
- [5] *VOB/C Allgemeine Vorschriften für technischen Vertragsbedingungen für Bauleistungen*, (2019), Online: [https://de.wikipedia.org/wiki/Vergabe\\_und\\_Vertragsordnung\\_für\\_Bauleistungen](https://de.wikipedia.org/wiki/Vergabe_und_Vertragsordnung_für_Bauleistungen), Zugriff am: 17.10.2019

## **Session Mechatronics**

Chair: Vassil Galabov

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK



# Smart Factory of the Future -More efficient, more flexible, faster and more sustainable

## Smart Factory der Zukunft – Effizienter, flexibler, schneller und nachhaltiger

Dr.-Ing. Hashem Badra\*, Prof. Dr. Dr.-Ing. Dr. h. c. Jivka Ovtcharova<sup>‡</sup> Eng. Alaa Alshubbak<sup>†</sup>

\*Institute for Information Management in Engineering, Karlsruhe Institute of Technology  
Karlsruhe, Germany, [hashem.badra@kit.edu](mailto:hashem.badra@kit.edu)

<sup>‡</sup>Institute for Information Management in Engineering, Karlsruhe Institute of Technology  
Karlsruhe, Germany, [Jivka.ovcharova@kit.edu](mailto:Jivka.ovcharova@kit.edu)

<sup>†</sup>Mechatronics Engineering Department, German Jordanian University  
Amman, Jordan, [alaa.alshubbak@jgu.edu.jo](mailto:alaa.alshubbak@jgu.edu.jo)

**Abstract** — Smart Factory achieves an increase in flexibility, speed, efficiency and sustainability. In addition, a Smart Factory is generally roughly the optimization of the customer order process. In this article, the Smart Factory is examined in more detail with regard to its significance, requirements and components. The article deals in particular with the digital twin and virtual commissioning. The challenges facing the Smart Factory will also be briefly discussed. Furthermore, the advantages and effects of introducing the Smart Factory are explained.

**Zusammenfassung** — Smart Factory erzielt eine Steigerung der Flexibilität, Schnelligkeit, Effizienz und Nachhaltigkeit. Des Weiteren handelt es sich bei einer Smart Factory generell und im Groben um die Optimierung des Kundenauftragsprozesses. In diesem Beitrag wird die Smart Factory u. a. bzgl. ihrer Bedeutung, und Anforderung sowie auch ihrer Bestandteile näher betrachtet. Der Beitrag geht besonders auf den digitalen Zwilling Grundvoraussetzung für die Smart Factory und die virtuelle Inbetriebnahme ein. Ebenfalls werden die Herausforderungen der Smart Factory kurz erörtert. Weiterhin werden die Vorteile und die Auswirkung bei der Einführung der Smart Factory erläutert.

### I. EINLEITUNG

Die Smart Factory „die Fabrik der Zukunft, also die intelligente Fabrik“ muss flexibler, schneller, effizienter und nachhaltiger als heutige Produktionsstätten sein. In der Smart Factory ist die industrielle Produktion in jeder Hinsicht so smart, dass selbst die intelligenten Werkstücke ihren Bearbeitungsstand kommunizieren können. Dabei lassen alle Prozesse sich nicht nur digital abbilden, sondern auch in Echtzeit analysieren und verbessern. Außerdem wird das Gebäude selbst, aus dem die Smart Factory besteht, intelligent sein und führt maßgeblich zum Erfolg eines Unternehmens [1]. Dies basiert auf der Vision einer weitgehend vollautomatischen Fertigung. Somit wird die Fertigung sich enorm durch die Einführung der Smart Factory verändern. Dabei können intelligente Fabriken selbst für rechtzeitige Wartung „Predictive Maintenance“ sorgen und Ausfälle reduzieren. Dazu können Waren und Ersatzteile automatisch angefordert werden.



Abb. 1: Smart Factory „die Fabrik der Zukunft“

Diese Smart Factory kann nur mithilfe von Digitalisierung und Vernetzung aller Bestandteile der Fabrik realisiert werden [2]. Dabei handelt es sich generell um die Optimierung des Kundenauftragsprozesses (KAP). Im Vergleich zu den smarten Produkten liegt der Fokus hier bei der Optimierung des Produktentstehungsprozesses und deren Produkte. Bei den Smart Services geht es um neue Geschäftsmodelle [3]. Im Folgenden werden die Deutung, Anforderungen, Herausforderungen, Bestandteile usw. der Smart Factory näher beleuchtet.

### II. DEUTUNG DER SMART FACTORY

Eine Smart Factory beginnt im Produktentstehungsprozess und zwar mit der Planung und Konzeption einer neuen Fabrik in Form einer digitalen Fabrik. Somit entsteht ein digitales Abbild der späteren realen Fabrik, welches der digitale Zwilling der Fabrik genannt wird. Somit ist diese Smart Factory eine Produktionsstätte, die das Prinzip von Industrie 4.0 umsetzt und in der intelligente, vernetzte Maschinen mit intelligenten Produkten interagieren. Die Basis solcher Smart Factory sind sogenannte Cyber Physical Systems (CPS) und die intelligente Vernetzung von Maschinen und Produkten. Dabei teilt das Produkt selbst die für die Fertigung benötigten Informationen der Smart Factory mit. Im Ganzen ist die Smart Factory in der Lage selbst Entscheidungen zu treffen und sich organisieren zu können. Hierbei ist die Smart Factory aber vielmehr je nach Branche und Unternehmen unterschiedlich ausgeprägt [3], [4], [5]

### III. HERAUSFORDERUNGEN DER SMART FACTORY

Bei der Smart Factory müssen die geplanten und eingesetzten Technologien wegen des immer schnelleren Wandels und der rasanten Entwicklung von Kombinationstechnologien austauschbar sein. Durch diese Technologie kann der Kundenauftragsprozess aller Aktivitäten vom Eingang einer Bestellung bis zur Auslieferung des oder der Produkte an den Kunden optimiert werden. Eine der Basistechnologien für eine Smart Factory ist die Technologie: "Radio Frequency Identification" – RFID zur Identifizierung der bspw. in der Smart Factory befindlichen Teile [3]. Außerdem stellen die großen Datenmengen – Big Data, die von den Maschinen und anderen Bestandteilen der Smart Factory verarbeitet werden, im Rahmen der Smart Factory eine große Herausforderung dar [5]. Eine weitere Herausforderung ist die Industrial Security, da die Smart Factory auf Vernetzung durch das Internet aller am Produkt und an der Produktionsanlagen Beteiligten setzt. Dabei ist nicht nur der Zugang zum System zu verschaffen, sondern auch der Zugriff, mit einem hohen Risiko verbunden, auf die Kernkomponenten der Produktionsumgebung zu ermöglichen. Somit ist der Bedarf an entsprechenden Sicherheitsmaßnahmen sehr groß [6].

### IV. ANFORDERUNG DER SMART FACTORY

Die zentrale Anforderung der Smart Factory ist die eigene Wandlungsfähigkeit. Darüber hinaus existiert eine Reihe von Anforderungen an eine Smart Factory, wie der Mensch, die Maschinen, das Fabrikgebäude, die Digitalisierung, die Produkte, die Logistik sowie das digitale Produktions- und Werteschöpfungssystem [2], [3].

### V. MENSCHEN IN DER SMART FACTORY

Obwohl die Smart Factory sich selbst organisiert und komplette Fertigungsprozesse automatisiert zur Verfügung stellt, besitzt der Mensch weiterhin eine zentrale Rolle in diesem Netzwerk. Im eigentlichen Fertigungsprozess muss er zwar nicht mehr eingreifen, hat aber Funktionen in der Kontrolle und Optimierung der Abläufe. Der Mensch leistet zu dem Fertigungsprozess das grundlegende Design der Smart Factory und stimmt Schnittstellen zu externen Systemen oder anderen smarten Fabriken ab. Die Technologie der virtuellen Realität (VR) ist ein wichtiges Arbeitsmittel für den Menschen in der Smart Factory. Diese Technologie VR gestattet dem Menschen, virtuell auf alle Systeme einzuwirken und ohne direkten physischen Kontakt zu den Anlagen zu existieren [5].



Abb. 2: Rolle des Menschen in der Smart Factory

### VI. BESTANDTEILE DER SMART FACTORY

In der Smart Factory sollten alle benötigten physischen Objekte durch entsprechende digitale Abbilder repräsentiert und mit smarten Bausteinen ausgestattet sein. Somit ist der digitale Zwilling als Grundvoraussetzung für die Smart Factory zu bezeichnen. Dies bedeutet, dass jede Maschine, jedes Werkzeug, jedes Teil und zu produzierende Produkt, jeder Roboter und autonome Transporteinheiten, aber auch jedes Fabrikgebäude durch digitale Abbilder präsentiert wird [2], [3]. Im Folgenden werden digitale Zwillinge und Komponenten der Smart Factory näher erörtert.

Der **digitale Zwilling** lässt sich als virtuelles Abbild oder auch als Modell definieren (vgl. Abb. 3). Das virtuelle Abbild enthält die 3D-Geometrie der physischen Umgebung in Verbindung mit deren physikalischen Eigenschaften. Somit ist die Validierung operationaler Konzepte der Produktionsanlagen in Echtzeit möglich und außerdem könnten mittels einer Simulation Zukunftsprognosen auf der Basis von Echtzeitdaten aus der Produktion erstellt werden [7].



Abb. 3: Digitaler Zwilling einer nichtexistierenden Anlage [9]

Weiterhin repräsentiert und verkörpert der digitale Zwilling virtuell einen Vermögenswert jeglicher materiellen oder immateriellen Art, von der Leistungsturbine bis hin zu Dienstleistungen, Prozesse und Wartung. Hierbei wird der digitale Zwilling durch das Verhalten und die Struktur der verbundenen Komponenten eines Produkts oder Systems, die Echtzeitdaten erzeugen, beschrieben. Des Weiteren werden der Status und die Geschichte eines Produkts den Benutzern aus verschiedenen Perspektiven und in verschiedenen Rollen mittels des Digitalen Zwillings präsentiert [8]. Dabei verwenden digitale Zwillinge reale und von den installierten Sensoren erzeugte Daten, die u. a. die Arbeitsbedingungen oder Positionen von Maschinen oder auch von Dingen repräsentieren. Somit entsteht eine Kopplung der virtuellen und realen Welten, welche die Analyse von Daten und die Überwachung von Systemen ermöglicht, um Probleme verstehen und bearbeiten zu können, bevor sie überhaupt auftreten [9]. Das Konzept von digitalen Zwillingen wurde 2002 entwickelt und besteht aus den Hauptteilen: dem physischen Produkt, dem digitalen /visuellen Produkt und den Datenflüssen zwischen den beiden Produkten. Der digitale Zwilling ist in allen Phasen des Lebenszyklus eines Objektes sinnvoll, z. B. in der gesamten Prozesskette produzierender Unternehmen, zu nutzen (vgl. Abb. 4).

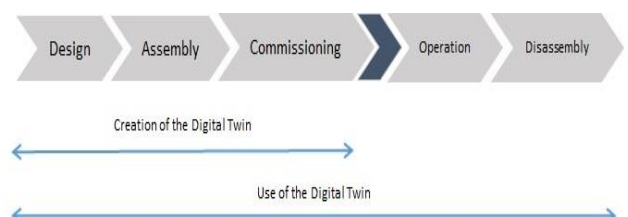


Abb. 4: Einsatzphasen des digitalen Zwillings [9]

Besonders in der Phase vor dem ersten Produktionsschritt hilft der digitale Zwilling sicherzustellen, ob die im Unternehmen bereits vorhandenen Produktionsanlagen das neue Produkt auch fertigen können. Dabei können neue oder veränderte Anlagen vorab virtuell in Betrieb genommen werden (vgl. Abbildung 3) und somit werden die Ausfallzeiten bei der realen Inbetriebnahme und Rekonfiguration möglichst gering gehalten. Somit sorgen digitale Zwillinge mittels sog. Virtuelle Inbetriebnahme (VIN) für eine effiziente Inbetriebnahme sowohl für bereits vorhandene als auch für in die Zukunft zu bauenden Anlagen, Maschinen und Zellen.

Für die bereits vorhandenen Anlagen, Maschinen und Zellen werden anhand ihrer 3D- und Verhaltensmodellen in ihrem Aufbau nachgebildet. Daraus entstehen digitale Zwillinge, die mit den realen Anlagen bidirektional vernetzt sind und sie lebenslang begleiten sollen. Dabei ermöglicht die zur Erstellung des digitalen Zwillinges eingesetzte Software durch Szenarien bzw. Echtzeitsimulation die Funktionen einzelner Maschinen sowie die Schnittstellen zwischen den Anlagenkomponenten in vollem Umfang zu testen (vgl. Abbildung 5). Alle Komponente der in die Zukunft geplanten Maschinen und Anlagen werden vor dem realen Bau in 3D modelliert und in einem virtuellen Umfeld in Echtzeit simuliert (vgl. Abbildung 6).

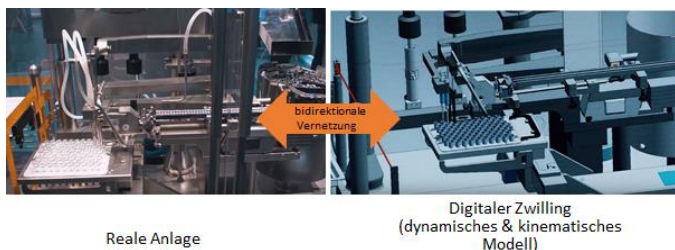


Abb. 5: Virtuelle Inbetriebnahme einer realen Anlage [9]

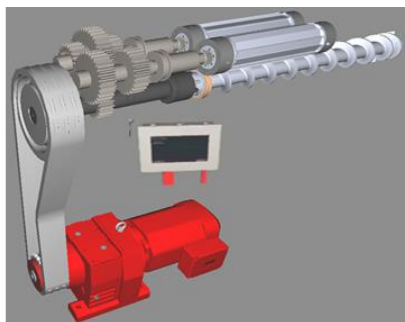


Abb. 6: Virtuelle Inbetriebnahme einer nicht-existierenden Maschine [9]

Die Smarte Komponente der Smart Factory sind u. a. smarte Maschinen, Produkte, Sensoren und Fabrikgebäuden.

### Smarte Maschinen:

In der Smarten Fabrik sollen alle Maschinen und Anlagen selbststeuernd und somit selbstlernend und selbstoptimierend agieren. Außerdem sollen diese Maschinen bedarfsgerecht Daten untereinander austauschen und miteinander kommunizieren. Somit verfügen sie auch über Kommunikationseinheiten, welche als Cyber physikalische Systems (CPS) betrachtet werden [3], [2]. Die CPS bestehen aus mechanischen Komponenten, Software und moderner Informationstechnik und zu deren Bestandteile gehören sowohl mobile Einrichtungen als auch stationäre Maschinen, Anlagen und Roboter, die über Netzwerke wie das Internet vernetzt sind. Der Austausch von Informationen der miteinander vernetzten

Gegenstände und Systeme kann in Echtzeit drahtlos oder kabelgebunden erfolgen. Dabei handelt es sich um vernetzte Komponenten, die ihre physischen Aktionen untereinander abstimmen und können autonom agieren sowie tauschen die für den Betrieb und die Steuerung benötigten Daten untereinander aus [10].



Abb. 7: Smarte Komponente der Smart Factory

### Smarte Produkte

Ebenfalls sollen die zu produzierenden Produkte immer smarter, also intelligenter parallel zu den Maschinen und Werkzeugen sein. Smarte Produkte verfügen über Informationen bezüglich des eigenen Herstellungsprozesses wie die Art und Weise der Produktion. Außerdem sind diese smarte Produkte in der Lage Daten während der Fertigungs- und Nutzungsphase zu sammeln und zu kommunizieren. Intelligenz bekommen sie über den digitalen Zwilling. Dies bedeutet, dass diese Produkte Wissen über Ihren Zustand bekommen, also die Art und Weise ihrer Produktion, um sich selbstzusteuern. Somit wären z. B. die Autos in der Lage sein, sich selber über die Funktionalität des autonomen oder teilautonomen Fahrens durch die Endmontage zu steuern. Letztendlich sollen smarte Produkte für die auf individuelle Kundenwünsche zugeschnittene Produktion eingesetzt werden [2], [3], [10].

### Smarte Sensoren

Zur Realisierung der Smart Factory spielen die Sensoren eine Hauptrolle, weil sie sich selbst überwachen. Die mit Sensoren und Aktoren ausgerüsteten Arbeitsstationen koordinieren selbst ihre Abläufe und Funktionen untereinander. Durch die smarten Sensoren könnte eine smarte Logistik mit autonomen Transporteinheiten entstehen, die zu einer deutlichen Reduzierung der Aufwände bei gleichzeitiger Steigerung der Flexibilität führt [2], [3], [5].

### Smartes Fabrikgebäude

Bei der Planung und Realisierung des smarten Fabrikgebäudes kommen smarte Sensoren zum Einsatz, um die Fabrik der Zukunft effizienter und ressourcen-schonend zu nutzen. Somit werden z. B. menschenleere Räume oder Gänge im Fabrikgebäude der Smart Factory nicht beleuchtet. Aber, sobald ein Sensor jedoch Bewegung registriert, schaltet das Licht automatisch an. Durch eine am Gebäude installierte Wettermessstation und das intelligente und lernende System werden die optimale Raumtemperatur und Luftfeuchtigkeit in Abhängigkeit von der Wetterentwicklung und den geplanten Schichten eingestellt [1], [3].

## VII. VORTEILE DER SMART FACTORY

Die intelligenten Fabriken sind in der Lage, Produktionsprozesse und die gesamte Lieferkette zu optimieren, dezentral und transparent zu gestalten. Zu den konkreten Vorteilen der intelligenten Fabriken zählen Effizienzsteigerung, Qualität und Nachhaltigkeit der Produktion, welche hier kurz erläutert werden [12]:

### Effizienz

Die Smart Factory hat jederzeit Zugriff auf einen sich ständig ändernden Datenstrom, wenn sie voll funktionsfähig ist. Somit analysiert die intelligente Fabrik die Daten und korrigiert sich selbst, um den Produktionsprozess und die Produktion so effizient wie möglich zu gestalten.

### Qualität

Die intelligente Fabrik hat die Fähigkeit Produktionsprobleme zu erkennen und zu beheben, bevor sie auftreten. Daher erhält die Qualität des Endprodukts einer bestimmten intelligenten Fabrik einen höheren Wert als die Qualität der nicht automatisierten Produkten, die manchmal fehlerhafte Waren liefern.

### Nachhaltige Produktion

Mit intelligenten Fabriken wird die Möglichkeit des menschlichen Versagens ausgeschlossen und somit treten keine Störungen wie bei den traditionellen Fabriken und Produktionsräumen aufgrund von Arbeits-, Umwelt- und Unfallfaktoren auf. Daher führen die intelligenten Fabriken zu mehr Sicherheit und nachhaltiger Produktion.

## VIII. AUSWIRKUNG DER SMARTEN FACTORY

Die Auswirkung der intelligenten Fabriken werden u. a. in der Personaländerung, Anpassung der Lieferkette und der Sicherheit deutlich sein. Die Rolle der Arbeitskräfte verändert sich von der körperlichen Arbeit zur technologischen Unterstützung, welche eine eher technische Qualifikation erfordert. Die Lieferkette von der Fertigung über die Qualitätskontrolle bis hin zum Lagermanagement weist ein gleiches Maß an Flexibilität auf. Für die intelligenten Fabriken sollten auch Datenschutz geleistet werden, da die Informationen im

digitalen Zeitalter wie nie zuvor zugänglich geworden sind, allerdings auf Kosten der Sicherheit [12].

## LITERATUR

- [1] M. Tiedemann: Die Fabrik der Zukunft: Die Smart Factory als Zentrum der Industrie 4.0  
<https://www.alexanderthamm.com/de/artikel/die-fabrik-der-zukunft-die-smart-factory-als-zentrum-der-industrie-4-0/>
- [2] W. Huber: Smart Factory 2025, So sieht die Fabrik der Zukunft aus? <https://www.maschinenmarkt.vogel.de/so-sieht-die-fabrik-der-zukunft-aus-a-822085/>, 17.04.2019
- [3] W. Huber: Smart Factory, Wie sieht die Produktion von morgen aus? <https://www.computerwoche.de/a/wie-sieht-die-produktion-von-morgen-aus.3544863>, 08.05.2018
- [4] M. Ruskowski: Smart Factory –Begriffe <https://smartfactory.de/i40-begriffe/> -15.11.2019
- [5] REFA: Smart Factory <https://refa.de/service/refa-lexikon/smart-factory> – 19.11.2019
- [6] M. Rosche: Smart Factory: Herausforderungen im Rahmen Industrie 4.0 <https://www.computerweekly.com/de/meinung/Smart-Factory-Herausforderungen-im-Rahmen-der-Industrie-4-0>, 25.09.2019
- [7] J. Ovtcharova: Virtuelles Abbild - neue Ingenieurmethoden für Ind. 4.0 In: 3. Fachkonferenz zu VR/AR-Technologien in Anwendung und Forschung, TU Chemnitz, 2015
- [8] J. Ovtcharova, M. Grethler: Beyond the digital Twin – Marking – Analytics Come, In: *visIT Industrial IoT – Digital Twin, Fraunhofer IOSB, Karlsruhe 2018*
- [9] H. Badra; J. Ovtcharova: Digitaler Zwilling - Effiziente Inbetriebnahme & Optimierung der Produktionsprozesse, *Fachtagung VPP2019 – Vernetzt planen und produzieren, TU Chemnitz*
- [10] S. Luber: Was ist ein Cyber-physisches System (CPS)? <https://www.bigdata-insider.de/was-ist-ein-cyber-physisches-system-cps-a-668494/> - 18.11.2019
- [11] N.N.: Smarte Sensoren für die smarte Fabrik <https://www.etz.de/6315-0-Smarte+Sensoren+fuer+die+smarte+Fabrik.html> 30.09.2019
- [12] G. Finch: Smart Factories & INdustry 4.0 - The Next Industrial Frontier, <https://www.viewsonic.com/us/library/business/smart-factories> December 6, 2018
- [13] REFA: Smart Products <https://refa.de/service/refa-lexikon/smart-products> -18.11.2019

# Investigation of conductive structures printed using Inkjet technology

## Untersuchung von leitfähigen Strukturen gedruckt mit Inkjet-Technologie

Elitsa Gieva<sup>\*</sup>, Georgi Nikolov<sup>\*\*</sup>, Boyanka Nikolova<sup>‡</sup>, Marin Marinov<sup>\*\*</sup>

<sup>\*</sup>Microelectronics, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, e-mail: gieva@ecad.tu-sofia.bg

<sup>\*\*</sup> Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering and Technologies, Department of Electronics,  
8, Kliment Ohridski Blvd., BG-1756 Sofia, Bulgaria, gnikolov@tu-sofia.bg; mbm@tu-sofia.bg

<sup>‡</sup>Technology and Management of Communication Systems, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, e-mail: bnikol@tu-sofia.bg

**Abstract** — In this article, the results of study of sensor structures printed by inkjet technology are systematized and presented. Examined are various types of conductive inks, the influence of printing plates on the properties of structures, the number of printed layers, the change in sheet resistance and the influence of the sintering temperature on the parameters of structures.

**Zusammenfassung** — In diesem Artikel sind die Ergebnisse von Untersuchung von Sensorstrukturen, die mit der InkJet-Technologie gedruckt wurden, systematisiert und vorgestellt. Untersucht sind verschiedenen Arten von leitfähigen Tinten, der Einfluss von Druckformen auf die Eigenschaften von Strukturen, die Anzahl der gedruckten Schichten, die Änderung des Schichtwiderstands und der Einfluss der Sintertemperatur auf die Parameter von Strukturen.

### I. EINFÜHRUNG

Die kontinuierliche Verbesserung der mikro- und nanoelektronischen Technologien führt zwangsläufig zu neuen Anforderungen an Sensorelemente und deren Materialien. Einige zusätzliche Anforderungen beziehen sich auf den verstärkten Einsatz von Sensorkomponenten in den Bereichen Prozessmanagement, Umweltüberwachung und Gesundheit. Trotz der Tatsache, dass traditionelle Siliziumtechnologien bei der Herstellung von Sensorelementen nach wie vor eine dominierende Rolle spielen, waren Designer und Forscher in den letzten zehn Jahren mehr daran interessiert, die einzigartigen Eigenschaften verschiedener innovativer Materialien auf die Anforderungen von Sensortechnologien anzuwenden. Ein weiterer Impuls für die Entwicklung dieser Technologie ist die Tatsache, dass Forschungs- und Entwicklungsunternehmen Nanokompositintinten anbieten, die mit herkömmlichen Tintenstrahl Druckern verwendet werden. Dies ermöglicht Designern und Forschern die Entwicklung eines Prototypensensors in gemeinsamen Forschungslabors, ohne dass teure und hochtechnologische Geräte erforderlich sind. Auf diese Weise können verschiedene innovative Ideen für kurze Zeiträume auf die Zusammensetzung und Form der gedruckten Sensorelemente angewendet und die Übertragungs-, statischen und dynamischen Eigenschaften analysiert werden.

Die geruckte Elektronik kann in verschiedenen Bereichen eingesetzt werden, wie z.B. bei der Produktion von Solarzellen, elektromagnetischen Abschirmungen, Displays, Leiterplatten, Leuchten, chemischen, Biosensoren und viele andere. Allen Drucktechnologien ist gemeinsam, dass die Druckmaterialien Lösungen auf Tintenbasis sein sollen, die aus funktionellen Materialien wie Metallnanopartikeln (Al, Ag, Au, Cu usw.), einwandigen und mehrwandigen Kohlenstoffnanoröhren, Graphen, Keramikpartikel, leitfähige Polymere (PEDOT, PPS, PANI usw.), Biomaterialien und Moleküle bestehen. Um die gewünschte Viskosität und Oberflächenspannung zu erhalten, benötigt die Tintenzusammensetzung möglicherweise

zusätzliche Materialien wie Lösungsmittel, Grundierungen und Isolatoren [1].

Ein Hauptproblem bei der Konstruktion von gedruckten Sensorelementen besteht darin, dass keine Informationen zu den elektrischen Parametern der verwendeten Tinten und Substrate sowie zur Anzahl der gedruckten Schichten und zum Sintern bei unterschiedlichen Temperaturen vorliegen. In unseren Veröffentlichungen wurden bereits die Auswirkungen verschiedener Arten von Tinten [1] und die unterschiedlichen Eigenschaften von flexiblen Pads [2] vorgestellt. Es ist zu beachten, dass die elektrischen Eigenschaften der fertigen gedruckten Strukturen auch von der Art und Weise abhängen, in der sie hergestellt werden. Dieser Artikel konzentriert sich auf die Untersuchung des Einflusses von Temperatur und Sinterzeit auf den Widerstand von Strukturen und darauf, wie sich der Schichtwiderstand in Abhängigkeit von der Form der Strukturen und der Art des Substrats ändert.

### II. UNTERSUCHUNG UNTERSCHIEDLICHER ARTEN VON LEITFÄHIGEN TINTEN

#### A. Grundparameter von leitfähigen Tinten

Die verwendeten Tinten sind für die Qualität des Tintenstrahl Drucks von entscheidender Bedeutung und dies ist der Grund, warum sie eine Reihe von Anforderungen erfüllen müssen, wie z.B.:

- Hohe Stabilität und Langzeitlagerung;
- Niedertemperatursintern (unter 100 ° C);
- Option für schnelles Trocknen;
- ökologische Verträglichkeit;
- Hohe Haftung u.a.

Es existieren viele physikalische Eigenschaften, die die Tintenstrahlverarbeitung von Tinten für gedruckte Elektronik beschreiben, von denen die dynamische Viskosität ( $\eta$ ), die Oberflächenspannung ( $\gamma$ ), die Dichte ( $\rho$ ), der Siedepunkt und der pH-Wert wichtiger sind. Für einen erfolgreichen Druck von

Funktionstinten, damit sie von Standard-Office-Tintenstrahldruckern verwendet werden können, sollen diese Parameter in bestimmten Bereichen liegen:  $\eta$  zwischen 3 und 10 mPa · s;  $\gamma$  im Bereich von 25 bis 45 mN/m;  $\rho$  größer als 1 g/cm<sup>3</sup>; Siedepunkt über 100 °C und pH-Wert zwischen 4 und 9.

Um die gewünschte Viskosität und Oberflächenspannung zu erhalten, benötigt die Tintenzusammensetzung zusätzliche Materialien wie Lösungsmittel und Grundierungen.

Die Kontrolle der Form und der Dicke der einzelnen Schichten während des Druckens hängt davon ab, wie die Tinte auf den Pads getrocknet wird. Tinten zeichnen sich durch zwei Trocknungsarten aus: teilweise und vollständige Trocknung. Andererseits sind die Benetzungseigenschaften des auf dem Substrat abgelagerten Tintenstrahls entscheidend für die Bildung dünner Schichten. Um die Benetzungseigenschaften zu ändern, wird üblicherweise eine Oberflächenbehandlung des Pads verwendet, um den Kontaktwinkel mit dem Tröpfchen zu ändern.

Ein weiteres wichtiges Merkmal der Tinte ist der sogenannte Kaffeeing-Effekt. Es entsteht, wenn die Tinte in größeren Mengen vorhanden ist und das Pad vollständig benetzt ist, was zu mehr Tintenmaterial an den Rändern führt. Dieser Effekt wirkt sich nachteilig auf die Bildung homogener Schichten aus, da sich auf der Außenseite der gedruckten Form eine dickere Schicht befindet.

Zwei sind die meist verwendeten Vorgehensweisen für die Reduzierung des Effekts:

- Änderung der Temperatur des Pads. Somit verringert sich die Temperaturdifferenz zwischen Tinte und Substrat, wodurch die Bildung einer gleichmäßigen Schicht ermöglicht wird.
- Die Verwendung eines Systems mit Lösungsmitteln mit hohem Siedepunkt und niedriger Oberflächenspannung, was zu dem sogenannten Marangoni-Flusseffekt führt, der durch die niedrigere Oberflächenspannung der Tinte diese auf die Mitte des Tropfens überträgt, und nicht nach außen.

Die am häufigsten verwendeten leitfähigen anorganischen Tinten basieren auf der Nanopartikel-Technologie. Sie werden durch einen Versiegelungsprozess in Metallnanokristalle (5-100 nm) eingekapselt. Diese Teilchen werden dann in einer einfachen Tintenstrahlösung gelöst.

Tinten auf der Basis von Metallen (Gold, Kupfer, Nickel und Silber) und Kohlenstoffnanopartikel sind seit kurzem im Handel erhältlich. Obwohl Tinten mit Silber- und Goldnanopartikeln viel teurer sind als solche mit Kupferpartikeln, werden sie viel häufiger verwendet. Der Grund ist, dass Kupfer in der Luft oxidiert und verliert ihre Leitfähigkeit. Die Entwicklung dieser Tintenart zielt hauptsächlich auf eine bessere Druckqualität von elektronischen Bauteilen (passiv und aktiv) und verschiedenen Sensoren. Grundlegende physikalisch-chemische und elektrische Parameter von im Handel erhältlichen Tinten, die für Desktop-Tintenstrahldrucker geeignet sind, sind in den Tabellen 1 und 2 zusammengefasst.

### B. Sintern

Nach dem Bedrucken des Substrats sollte ein Sinterprozess ausgeführt werden. Zuerst wird das Lösungsmittel entfernt, gefolgt vom Auflösen des einkapselnden organischen Materials. Die Nanopartikel werden somit freigesetzt und verschmolzen, um die gewünschte dünne leitende Schicht zu bilden.

In der Praxis werden mehrere Sinterverfahren angewendet. Das chemische Sintern ist leicht mit Additiven in leitfähiger

Tinte zu bewerkstelligen, die zwischen einem Metallnanopartikel und einem Destabilisierungsmittel reagieren und eine Fusion zwischen Metallnanopartikeln erzeugen. Andere Sinterverfahren basieren auf Temperatur, elektrischen Impulsen, Plasma, Infrarot- und Ultraviolettstrahlung, Laser- und Mikrowellenbehandlungen und mehr.

In dem vorliegenden Projekt wurde im Hinblick auf die verwendeten Substrate ein Sintern (bis zu 120 ° C) verwendet. Die erforderliche Sintertertemperatur der Nanopartikel wird durch die Partikelgröße und das Einkapselungsmittel bestimmt.

TABELLE I. GRUNDPARAMETER VON LEITENDEN TINTEN, GEEIGNET FÜR DESKTOP-TINTENSTRAHLDRUCKER

Inkjet Tinte	Funktionelle Nanopartikel	Substrate	Partikelgröße, $\mu\text{m}$	Minimale Temperatur für Aushärtung, °C
JS-B25P (NovaCentrix)	Silver	Photo paper	0.075	25
ICI-003 (NovaCentrix)	Copper oxide	Photo paper	85 - 115	N/A
JR-700LV (NovaCentrix)	Carbon	Plastics, glass, metals	N/A	100
9102 (Methode Electronics)	Silver	Paper, plastics	N/A	25
TEC-II-030 (InkTec)	Silver	Glass	0.015	100
3800 (Methode Electronics)	Carbon	Plastics, glass, paper	N/A	25

TABELLE II. GRUNDMERKMALE VON LEITENDEN TINTEN, GEEIGNET FÜR DESKTOP-TINTENSTRAHLDRUCKER

Inkjet Tinte	Flächenwiderstand, $\Omega/\square$	Volumenwiderstand, $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	Viskosität, mPa · s	Oberflächenspannung mN/m
JS-B25P (NovaCentrix)	0.060 - 0.070	N/A	3.0 - 5.0	28 - 32
ICI-003 (NovaCentrix)	0.14	4.3	1.0 - 6.5	N/A
JR-700LV (NovaCentrix)	Varies	Varies	N/A	Varie
9102 (Methode Electronics)	0.025	N/A	3.5	32
TEC-II-030 (InkTec)	0.019	2.88	3 - 15	27 - 32
3800 (Methode Electronics)	5k-20k	Varies	6 - 12	25 - 55

### III. EINFLUSS DER SINTERTEMPERATUR AUF DEN WIDERSTAND DER STRUKTUREN

In der vorliegenden Arbeit werden nur die Ergebnisse für die leitfähige Silber-Nanopartikel-Tinte von NovaCentrix [6] vorgestellt. Die Hauptparameter der Tinte sind: Silbernanopartikel mit einem Durchmesser von 75 nm, einer Konzentration von Ag 25% -Nanopartikeln, beschichtet mit Ethylenglykol, Schmelzpunkt bis 100 ° C, eingetaucht in Polyethylenglykol 4 (tert-Octylphenyl). Die Dicke einer Schicht dieser Tinte liegt zwischen 1 und 1,5  $\mu\text{m}$ .

Die Strukturen werden mit einem Epson C88+ Desktopdrucker auf zwei verschiedenen Arten von flexiblen Pads gedruckt. Es werden NovaCentrix PET-Folie und Normalpapier verwendet. Dieser Artikel präsentiert eine Studie über die Auswirkung der Sintertertemperatur auf den Widerstand der Beständigkeit verschiedener gedruckter Strukturen. Zu diesem Zweck wurden drei verschiedene Topologien entwickelt. Die durchgeführten Messungen zeigen, dass die elektrischen Parameter der gedruckten Strukturen neben der

verwendeten Tinte und dem verwendeten Pad in hohem Maße von der Form der Struktur abhängen.

Abbildung 1 zeigt die drei untersuchten Formen. Die ausgewählten Testformen sind entsprechend den Anforderungen für Kompatibilität mit dem hergestellten Messstecker bemessen (Abb. 1d). Es werden 3 Schichten mit ungefähr der gleichen Größe der Drucke (ca.  $15 \times 15\text{mm}$ ) gedruckt.

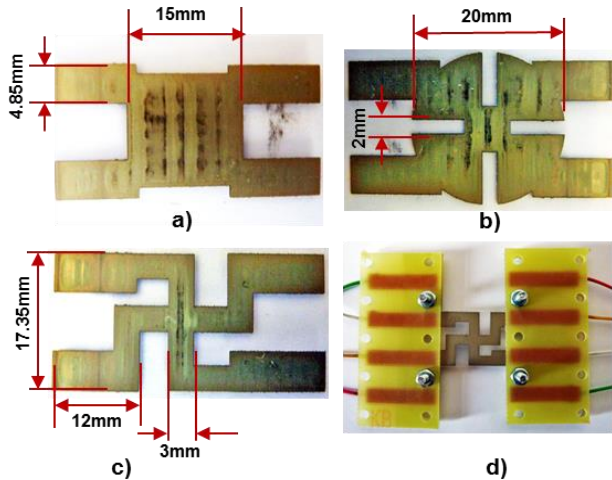


Abb. 1. Unterschiedliche Formen der Teststruktur: a) Quadrat, b) Kreis, c) Kreuz d) Verbindung der Struktur mit dem Messstecker.

Die Ergebnisse für alle drei auf unterschiedlichen Substrattypen gedruckten Strukturen sind in Tabelle 3 zusammengefasst. Die optimale Sinter Temperatur beträgt  $100^\circ\text{C}$ , da bei  $120^\circ\text{C}$  entweder der Widerstand zunimmt oder Sättigung erreicht wird. Es ist auch zu berücksichtigen, dass mit den verwendeten Geräten Widerstände in der Größenordnung von Milliohm mit größerem Fehler gemessen werden, da die Auflösung des Messsystems erreicht wird.

In Tabelle 3 sind die ermittelten Widerstandswerte für die drei auf PET und Papier gedruckten Strukturen in  $m\Omega$ / angegeben. Die Widerstände werden bei vier verschiedenen Sinter Temperaturen ( $60^\circ\text{C}$ ,  $80^\circ\text{C}$ ,  $100^\circ\text{C}$  und  $120^\circ\text{C}$ ) für 60 Minuten sowie bei nicht gesinterten Strukturen gemessen [7].

TABELLE III. SCHICHTWIDERSTAND IN  $M\Omega m / \square$  DER STRUKTUREN

Form,	Ohne sintern	$60^\circ\text{C}$	$80^\circ\text{C}$	$100^\circ\text{C}$	$120^\circ\text{C}$
Cross, PET	5,89	9,29	9,40	4,08	5,33
Cross, paper	4050,48	5374,05	2876,12	578,74	3227,58
Disc, PET	5,55	15,18	15,18	6,80	36,14
Disc, paper	2531,80	8663,37	4856,04	1713,10	3453,38
Square, PET	143,55	53,82	50,76	30,82	25,72
Square, paper	2441,96	8317,01	12033,14	10705,72	2366,38

Die erhaltenen experimentellen Ergebnisse können bei der Konstruktion verschiedener Sensorelemente unter Verwendung der beschriebenen Technologie verwendet werden. Der vorgeschlagene Ansatz kann auch den Einfluss der Sinterbedingungen (Temperatur und Zeit) auf andere elektrische Parameter von Strukturen untersuchen [7].

#### IV. EINFLUSS DER FORM DER STRUKTUREN UND DES SUBSTRATS AUF DEN SCHICHTWIDERSTAND

Um den Einfluss der gedruckten Strukturen und des Substrattyps auf den Schichtwiderstand zu untersuchen, haben wir den Widerstand gemessen und den Schichtwiderstand für drei verschiedene Formen auf drei verschiedenen Substrattypen berechnet – konventionelles Papier  $80\text{ g/m}^2$  und Dicke  $d = 0,1\text{ mm}$ , Reispapier ( $90\text{ g/m}^2$ ,  $d = 0,078\text{ mm}$ ) und Novele-PET-Folie ( $d = 0,1\text{ mm}$ ) [5]. Ziel ist es zu untersuchen, wann der geringste Schichtwiderstand bei unterschiedlichem Substrat und unterschiedlicher Geometrie erreicht wird.

TABELLE IV. MESSERGEBNISSE FÜR DIE KREUZFORM (ABB. 1C) AUF VERSCHIEDENEN SUBSTRATE

Form CROSS	Different substrates		
	PET [ $m\Omega$ ]	Paper [ $m\Omega$ ]	Tracing [ $m\Omega$ ]
$R_{AC,DB}$	0.50	143.60	12.40
$R_{DB,AC}$	1.50	116.30	12.70
$R_{VER}$	1.10	129.95	12.55
$R_{CA,BD}$	1.10	135.00	13.50
$R_{BD,CA}$	0.50	115.90	12.40
$R_{HOR}$	0.80	125.45	12.95
$R_S$	<b>4.08</b>	<b>578.73</b>	<b>57.78</b>

TABELLE V. MESSERGEBNISSE FÜR DIE QUADRATISCHE FORM (ABB. 1A) AUF VERSCHIEDENEN SUBSTRATE

Form SQUARE	Different substrates		
	PET [ $m\Omega$ ]	Paper [ $m\Omega$ ]	Tracing [ $m\Omega$ ]
$R_{AC,DB}$	6.60	2360.00	52.60
$R_{DB,AC}$	6.60	2363.00	52.60
$R_{VER}$	6.60	2361.50	52.60
$R_{CA,BD}$	6.40	2369.00	52.90
$R_{BD,CA}$	7.60	2357.00	53.40
$R_{HOR}$	7.00	2363.00	53.15
$R_S$	<b>30.82</b>	<b>10705.72</b>	<b>239.63</b>

TABELLE VI. MESSERGEBNISSE FÜR DIE DISKFORM (ABB. 1B) AUF VERSCHIEDENEN SUBSTRATE

Form DISC	Different substrates		
	PET [ $m\Omega$ ]	Paper [ $m\Omega$ ]	Tracing [ $m\Omega$ ]
$R_{AC,DB}$	1.20	451.00	92.10
$R_{DB,AC}$	0.30	299.00	25.30
$R_{VER}$	0.75	375.00	58.70
$R_{CA,BD}$	1.90	456.00	73.10
$R_{BD,CA}$	2.60	306.00	112.10
$R_{HOR}$	2.25	381.00	92.60
$R_S$	<b>6.8</b>	<b>1713.1</b>	<b>342.84</b>

In diesem Projekt wird die Anwendung einer modifizierten Van der Pauw-Methode zur Messung des Schichtwiderstands von symmetrischen flexiblen Druckstrukturen vorgestellt. Der Einfluss der verschiedenen Substrate und Formen der Strukturen auf den Schichtwiderstand wird untersucht. Aus der

Studie haben wir Ergebnisse erhalten, die stark von der Art des Substrats abhängen. Das verwendete Verfahren ermöglicht eine automatisierte Bewertung der Qualität der gedruckten leitfähigen Schichten. Die erhaltenen Ergebnisse sind in den Tabellen 4, 5 und 6 für die drei verschiedenen Formen von Abb. 1 zusammengefasst, die auf die drei verschiedenen Substrate gedruckt sind.

Abbildung 2 veranschaulicht graphisch die Abhängigkeit des Schichtwiderstands der drei verschiedenen Formen.

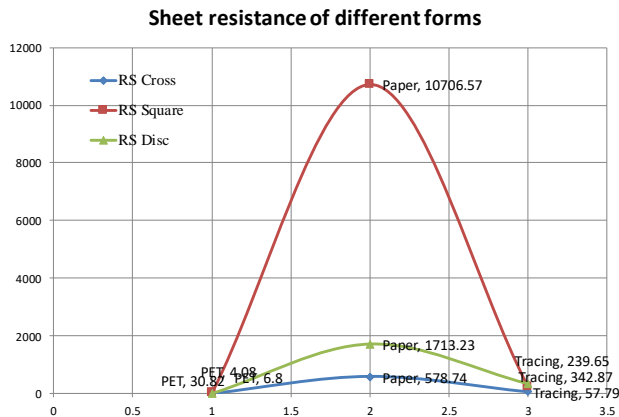


Abb. 2. Schichtwiderstandsänderung für die drei Formen der Struktur.

Die gleiche Abhängigkeit wird beobachtet, wenn sich der Schichtwiderstand in verschiedenen Formen ändert. Die Differenz liegt in der Größenordnung der Werte des Schichtwiderstandes. Bei PET-Pads weist der Flächenwiderstand für alle drei verschiedenen Formen die niedrigsten Werte auf. Die Größe liegt im Bereich einige Miliohm. Als nächstes kommt der Schichtwiderstand der Strukturen auf Reispapier. Der Schichtwiderstand dieser Strukturen ist im Bereich von 50 bis mehreren hundert Miliohm. Den größten Schichtwiderstand haben die Strukturen auf Papier mit Werten im Bereich bis einigen Ohm. Die von uns gewählte Messmethode ist für unterschiedliche, symmetrische Formen geeignet.

Abbildung 3 zeigt grafisch die Änderung des Flächenwiderstands für jede der drei Substrate.

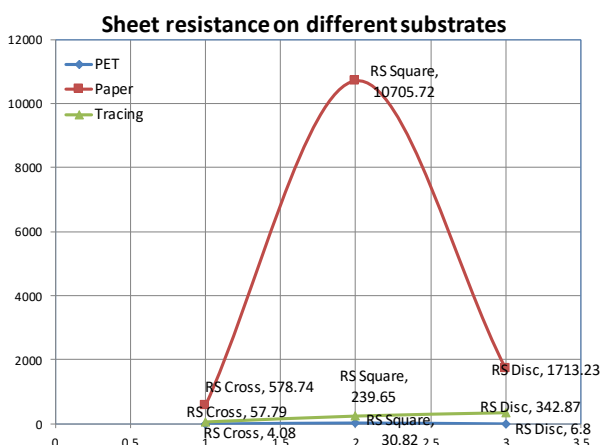


Abb. 3. Schichtwiderstandsänderung für die drei Substrate.

## V. ZUSAMMENFASSUNG

In diesem Artikel werden die Ergebnisse der Verwendung der InkJet-Technologie für gedruckte flexible Strukturen vorgestellt. Die Auswirkung der Sinter Temperatur auf den Widerstand der Strukturen wurde untersucht und es wurde experimentell festgestellt, dass die am besten geeignete Sinter Temperatur 100 ° C betrug.

Es wurde auch experimentell festgestellt, dass die Form der gedruckten Strukturen und die Art des Kissens einen Einfluss auf den Schichtwiderstand der Strukturen haben.

Alle verallgemeinerten Ergebnisse und vorgeschlagenen Ansätze zum Messen und Analysieren der Parameter gedruckter Strukturen können verwendet werden, um die Eigenschaften von Strukturen zu qualifizieren, die auf unterschiedlichen Substraten mit unterschiedlichen Schichten, unterschiedlichen Formen und Sinter Temperaturen gedruckt sind. Forschung und Analyse können bei der Gestaltung sensorischer Elemente hilfreich sein

## DANKSAGUNG

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projekts DM17-9/20.12.2017 "Research, design and modeling of flexible nanocomposite sensors based on inkjet technology", gefördert von dem Nationalen Forschungsfonds.

## REFERENCES

- [1] Nikolova, B.M., Nikolov, G.T., Gieva, E.E., Ruskova, I.N., Functional Inks for Inkjet Printed Sensors, *9th National Conference with International Participation, ELECTRONICA 2018 - Proceedings* 8439600, 2018
- [2] Boyanka Marinova Nikolova; Georgi Todorov Nikolov; Elitsa Emilova Gieva; Ivelina Nikolaeva Ruskova, Dielectric Properties Measurement of Flexible Substrates, *XXVII International Scientific Conference Electronics – 2018*, Article number 8549643, Sozopol; Bulgaria; 13 - 15 September 2018; Category number CFP18H39-ART; Code 143063
- [3] S. Jiang, „Inkjet Printing of Nano-Silver Conductive Ink on PET Substrate“, A Senior Project Presented to The Faculty of the Materials Engineering Department California Polytechnic State University, San Luis Obispo, June 2017
- [4] Boyanka Nikolova, Elitsa Gieva, Georgi Nikolov, Ivelina Ruskova and Mladen Mladenov, "Sintering Temperature Influence over Sheet Resistance of Inkjet Printed Layers", Conference "Electronica 2019", May 16 - 17, 2019, Sofia, Bulgaria
- [5] Elitsa Emilova Gieva, Georgi Todorov Nikolov, Boyanka Marinova Nikolova and Ivelina Nikolaeva Ruskova, "Temperature Sensing with Inkjet Printed Structures", Proc. *XXVIII International Scientific Conference Electronics - ET2019*, September 12 - 14, 2019, Sozopol, Bulgaria, 978-1-7281-2574-9/19 ©2019 IEEE.
- [6] <https://www.novacentrix.com/products/inkjet-starter-kits> date accessed: 01.09.2019
- [7] Boyanka Nikolova, Georgi Nikolov, Elitsa Gieva, Ivelina Ruskova and Mladen Mladenov, "Influence of Temperature over Impedance of Different Inkjet Printed Patterns and Substrates", *31st International Conference on Microelectronics*, Niš, Serbia, September 16th-18th, 2019
- [8] Elitsa Gieva, Georgi Nikolov and Boyanka Nikolova, "Sheet Resistance Measurement of Inkjet Printed Layers", *42nd International Spring Seminar on Electronics Technology ISSE2019*, May 15-19, 2019



# Automated Acoustic Hit Detection and Score Calculation on a Steel Dartboard

## Automatisierte akustische Treffererkennung auf einer Steel-Dartscheibe

Stefan Hensel\*, Marin B. Marinov\*\*, Florian Sprich\*

\* University of Applied Sciences Offenburg, Department for Electrical Engineering, Badstraße 24, D-77652 Offenburg, Germany, stefan.hensel@hs-offenburg.de

\*\* Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering and Technologies, Department of Electronics, 8, Kliment Ohridski Blvd., BG-1756 Sofia, Bulgaria, mbm@tu-sofia.bg

**Abstract** — In the presented approach, the impact point of the arrow is to be determined by the cross-correlation of audio signals. The impact of the arrow generates a characteristic noise, which is converted into electrical signals by several microphones in a certain arrangement around the dartboard. With the help of the speed of sound and the time differences, which the sound wave requires to the individual microphones, the impact point is then to be calculated.

**Zusammenfassung** — Bei dem vorgestellten Ansatz soll der Auftreffpunkt des Pfeils durch die Kreuzkorrelation von Audio-Signalen bestimmt werden. Das Auftreffen des Pfeils erzeugt ein charakteristisches Geräusch, welches von mehreren Mikrofonen in bestimmter Anordnung um die Dartscheibe herum in elektrische Signale umgewandelt wird. Mithilfe der Schallgeschwindigkeit und den Zeitdifferenzen, welche die Schallwelle zu den einzelnen Mikrofonen benötigt soll dann der Auftreffpunkt berechnet werden.

### I. EINFÜHRUNG

Das Dartspiel ist eines der beliebtesten Spiele der Welt. Nach einigen Quellen wurde es im 16. Jahrhundert erfunden, aber die Klassifizierung der Dartscheiben und die Methode zur Berechnung der Punktzahl gehört Brian Gamlin (1896). Seitdem wurden viele Varianten entwickelt, aber die beliebteste ist die, bei der die Spieler versuchen, den anfänglichen Wert von 301 auf 0 Punkte zu reduzieren [1]. Dartscheibe Design bezieht sich auf die Platzierung der Zahlen in Sektoren einer kreisförmigen Tafel [2, 3].

Klassische Dartscheiben aus Sisal oder Kork (Stahldartscheiben) werden mit Pfeilen anvisiert, deren Spitzen aus Edelstahl bestehen. Im professionellen Dartbereich sowie im höherklassigen Amateurbereich kommen nur diese klassischen Dartscheiben zum Einsatz, da sie ein wesentlich besseres Handling beim Werfen und Schlagen des Pfeils bieten. Ein wesentlicher Nachteil dieser Dartscheiben ist die fehlende elektronische Treffererkennung. Wenn keine zusätzliche Maßnahme ergriffen wird, wie zum Beispiel eine dritte Person, die die Punkte berechnet, oder zusätzliche Software, wird eine manuelle Berechnung der Punktzahl durch die Spieler selbst durchgeführt.

Dadurch werden Konzentration und Spielfluss gestört, weshalb häufig elektronische Dartscheiben (e-Dart) zum Einsatz kommen. Diese ermöglichen zwar die automatische Erkennung und Berechnung von Treffern, bieten dem Spieler jedoch ein völlig anderes Spielgefühl als klassische Darts. Aufgrund dieser Konfliktsituation besteht ein Bedarf an Stahldartscheiben mit elektronischer Treffererkennung und Auswertung sowohl für professionelle als auch für Amateuranwendungen.

In den letzten Jahren wurden verschiedene Ansätze getestet [4, 5]. In dieser Arbeit wird ein System entwickelt, das automatisch die Punktzahl eines Pfeils auf einer Stahldartscheibe berechnet und anzeigt.

### II. TECHNISCHER ANSATZ

Die Treffererkennung soll in diesem Ansatz mithilfe der entstehenden Schallwelle, welche beim Auftreffen des Pfeils auf dem Dartboard entsteht, realisiert werden. Eine Punktschallquelle erzeugt laut der Theorie unter idealen Bedingungen ein Kugelwellenfeld um die Quelle herum. Die Schallwelle breitet sich also in alle Raumrichtungen gleichmäßig und mit gleicher Geschwindigkeit aus [6]. Um die Dartscheibe herum soll nun mit mehreren Mikrofonen eine Fläche aufgespannt werden in welcher eine Schalllokalisierung durchgeführt wird. Die Schallquelle kann dadurch lokalisiert werden, da die Welle zu unterschiedlichen Zeitpunkten an den Mikrofonen eintrifft. Mithilfe der bekannten Schallgeschwindigkeit und den gemessenen Zeitdifferenzen der Mikrofonensignale kann anschließend der Ort der Schallquelle innerhalb der Fläche berechnet werden.

Zur Bestimmung des Auftreffpunktes des Pfeils auf der Scheibe, wird eine Schalllokalisierung innerhalb einer Ebene durchgeführt. Eine definierte Anordnung mehrerer Mikrofone spannen eine Fläche auf, die diese Ebene definiert. Im entwickelten System wird das Verfahren der Multilateration angewandt. Da die Multilateration ein Spezialfall der Trilateration ist, wird die Trilateration zunächst erläutert, bevor die Multilateration vorgestellt wird.

#### A. Trilateration

Beim Trilaterationsverfahren spielt die Entfernung eines gesuchten Punktes innerhalb einer Ebene zu definierten Bezugspunkten eine wichtige Rolle. Für eine Ortung innerhalb einer Ebene müssen zu mindestens drei dieser Bezugspunkte die Entfernungen bekannt sein. Es gilt dennoch: Je mehr Entfernungen zu den Bezugspunkten bekannt sind, desto genauer wird die Bestimmung des unbekanntes Punktes. Im mathematischen Sinne wird ein Gleichungssystem gelöst [7]. Betrachtet man Grafische Darstellung der Trilateration mit vier Bezugspunkten, ergeben sich für diesen Fall folgende Kreisgleichungen:

$$|\vec{r}_1| = \sqrt{(x_1 - x_p)^2 - (y_1 - y_p)^2} \quad (1)$$

$$|\vec{r}_2| = \sqrt{(x_2 - x_p)^2 - (y_2 - y_p)^2} \quad (2)$$

$$|\vec{r}_3| = \sqrt{(x_3 - x_p)^2 - (y_3 - y_p)^2} \quad (3)$$

$$|\vec{r}_4| = \sqrt{(x_4 - x_p)^2 - (y_4 - y_p)^2} \quad (4)$$

Um den Punkt P zu bestimmen, müssen folgende Größen bekannt sein:

- Koordinaten  $(x, y)$  der Bezugspunkte A1, A2, A3 und A4, gegeben durch eine definierte Konstellation der Mikrofone.
- Abstände  $|\vec{r}_1|$ ,  $|\vec{r}_2|$ ,  $|\vec{r}_3|$  und  $|\vec{r}_4|$  durch Messungen.

Abb. 1 zeigt den idealen Fall, bei welchem sich alle Kreise in exakt einem Punkt schneiden. In realen Systemen ergibt sich jedoch kein exakter Schnittpunkt der Kreise. In diesem Fall bestimmt sich der Punkt P zu dem Punkt, der zu allen Schnittpunkten der Kreise den kleinsten quadratischen Abstand hat (Least-Squares-Verfahren) [7].

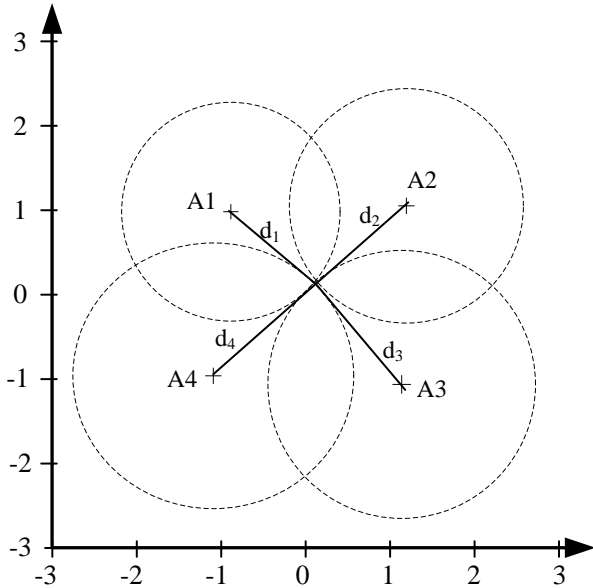


Abb. 1 Grafische Darstellung der Trilateration mit vier Bezugspunkten

Zur Bestimmung der Distanzen zwischen Dartpfeil und den Mikrofonen müsste der Auftreffzeitpunkt des Pfeils und damit der Zeitpunkt der Entstehung der Schallwelle sehr genau bestimmt werden. Anschließend können mit den gemessenen Mikrofonensignalen und der Schallgeschwindigkeit die Distanzen berechnet werden.

$$d = c_s \cdot \Delta t = (t_{\text{Mikro}} - t_{\text{Auftreff}}) \quad (5)$$

Da die Bestimmung des exakten Auftreffzeitpunktes zusätzlichen Mehraufwand bedeutet, wird das im folgenden Kapitel aufgeführte Multilaterationsverfahren, bei welchem der Auftreffzeitpunkt nicht bestimmt werden muss, für die Schalllokalisierung verwendet.

### B. Multilateration

Werden nicht die Distanzen zwischen Pfeil und Mikrofonen verwendet, sondern die Differenzen der jeweiligen Pfeil-zu-Mikrofon-Distanzen, so spricht man von Multilateration.

Betrachtet man diesen Fall grafisch (siehe Abb. 2), so ergeben sich Hyperbelbahnen, auf welcher sich der Pfeil anhand der Distanzen zu den Mikrofonen befinden muss.

Wie folgende Formel zeigt, muss der genaue Zeitpunkt des Auftreffens nicht bekannt sein:

$$\Delta d = d_1 - d_2 = c_s \cdot (\Delta t_1 - \Delta t_2) \quad (6)$$

$$\Delta d = c_s \cdot (t_{\text{Mikro1}} - t_{\text{Auftreff}} - t_{\text{Mikro2}} + t_{\text{Auftreff}}) \quad (7)$$

$$\Delta d = c_s \cdot (t_{\text{Mikro1}} - t_{\text{Mikro2}}) \quad (8)$$

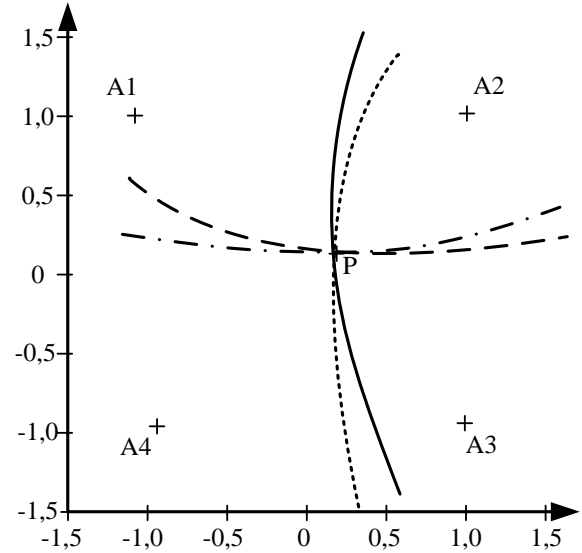


Abb. 2 Grafische Darstellung der Multilateration mit vier Bezugspunkten

Ähnlich wie bei der Trilateration ergibt sich auch hier ein mathematisches Gleichungssystem, welches nach  $x_p$  und  $y_p$  aufgelöst werden muss. In den Gleichungen muss bekannt sein:

- Koordinaten  $(x, y)$  der Bezugspunkte A1, A2, A3 und A4, gegeben durch die definierte Konstellation der Mikrofone.
- Abstandsdifferenzen  $|d_{12}|$ ,  $|d_{23}|$ ,  $|d_{34}|$  und  $|d_{41}|$  durch Messungen.

$$d_{12} = \frac{\sqrt{(x_1 - x_p)^2 - (y_1 - y_p)^2} - \sqrt{(x_2 - x_p)^2 - (y_2 - y_p)^2}}{2} \quad (9)$$

$$d_{23} = \frac{\sqrt{(x_2 - x_p)^2 - (y_2 - y_p)^2} - \sqrt{(x_3 - x_p)^2 - (y_3 - y_p)^2}}{2} \quad (10)$$

$$d_{34} = \frac{\sqrt{(x_3 - x_p)^2 - (y_3 - y_p)^2} - \sqrt{(x_4 - x_p)^2 - (y_4 - y_p)^2}}{2} \quad (11)$$

$$d_{41} = \frac{\sqrt{(x_4 - x_p)^2 - (y_4 - y_p)^2} - \sqrt{(x_1 - x_p)^2 - (y_1 - y_p)^2}}{2} \quad (12)$$

## III. EXPERIMENTELLE ERGEBNISSE

### A. Systemübersicht

Das Gesamtsystem zur akustischen Treffererkennung besteht aus den folgenden Komponenten mit ihren jeweiligen Aufgaben:

TABELLE I. AKUSTISCHE TREFFERERKENNUNG: ÜBERSICHT DER SYSTEMKOMPONENTEN

Komponente	Aufgabe
Mikrofone	Umwandlung der Schallsignale in elektrische Signale
Piezo-Elemente	Triggerung des Auftreffens eines Objekts
Analogschaltung	Auslegung des Spannungsbereichs von 0-3 V für die ADC-Eingänge
FPGA	Speichern der Abtastwerte in FIFOs und Interaktion mit dem FT232H
FT232H	Übertragung der gespeicherten Abtastwerte in den FIFOs an ein Python-Skript auf dem PC
PC	Datenverarbeitung der empfangenen Abtastwerte (Kreuzkorrelation, Multilateration)

Abb. 3 zeigt ein Blockschaltbild, welches alle verwendeten Komponenten beinhaltet.

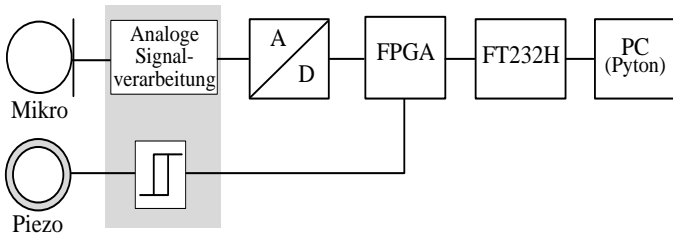


Abb. 3 Grafische Darstellung der Multilateration mit vier Bezugspunkten

### B. Kreuzkorrelation eines Rauschsignals

Als nächsten Evaluationsschritt dient die Schallortung einer Rauschquelle. Eine Rauschsignal (AWGN) besitzt im optimalen Fall keinerlei Periodizität und eignet sich daher sehr gut zur Messung von Zeitverschiebungen eines Signals mittels Kreuzkorrelation. Als Ergebnis der Kreuzkorrelationsfunktion eines Rauschsignals  $n(t)$  und dessen zeitlich verschobene Kopie  $n(t + \tau)$  kann ein Signalverlauf erwartet werden, welcher nur bei  $\Delta t = \tau$  ein Maximum aufweist, da sich die über die Mikrofone empfangenen Rauschsignale bei dieser Verschiebung vollständig decken. Die Berechnung der Autokorrelationsfunktion geschieht nach [8] wie folgt:

$$r_{xy}[m] = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{1}{2N + 1} \sum_{n=-N}^N x[n] \cdot y[n + m] \quad (13)$$

Im realen Fall liegt keine unendliche Anzahl von Abtastwerten vor. Die Korrelationsfunktion kann nur über alle  $N$  Abtastwerte berechnet werden. Nach [9] ergibt sich die Rechenvorschrift der verwendeten Kreuzkorrelationsfunktion der Python-Numpy Bibliothek zu:

$$c_{xy}[k] = \sum_N x[n + k] \cdot y^*[n]. \quad (14)$$

Zur Ortung der Schallquelle müssen die Differenzen der Distanzen zur Schallquelle bestimmt werden. Mithilfe derer kann wie bereits erwähnt über die Multilateration der Ort der Schallquelle bestimmt werden. Die Differenzen ergeben sich jeweils durch die Messung der Zeitverschiebung der Signale eines Mikrofonpaares und durch anschließende Verrechnung mit der Schallgeschwindigkeit.

Im Folgenden wird die Messung zur Bestimmung einer „Abstandsdifferenz“ zweier Mikrofone aufgezeigt. Das Setup zu den Messungen mithilfe der Rauschquelle zeigt Abb. 4. Das

Mikrofonpaar bilden das Mikrofon in der linken und der Rechten unteren Ecke des Rahmens. Als Rauschquelle dient ein Lautsprecher, welcher durch Rauschgenerator angesteuert wird.



Abb. 4 Grafische Darstellung der Multilateration mit vier Bezugspunkten

Während das generierte Rauschsignal über den Lautsprecher abgegeben wird, muss Druck auf die Scheibe ausgeübt werden, um dem System das Auftreffen eines Objekts zu simulieren (siehe III.B). Die Übertragung der Abtastwerte, wird damit gestartet. Die grafische Darstellung der mittelwertfreien Mikrofonensignale zeigt Abb. 5.

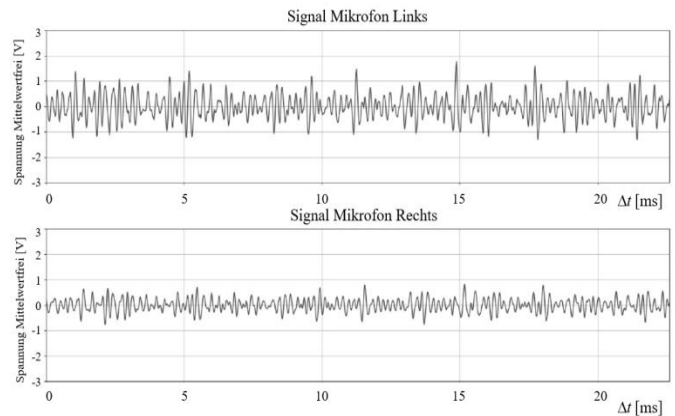


Abb. 5 Mittelwertfreie Abtastwerte der beiden Mikrofonensignale

Berechnet man mit den Datensätzen der beiden Mikrofonensignalen die Kreuzkorrelationsfunktion mithilfe der Python-Numpy Bibliothek [9], so resultiert daraus das in Abb. 6 dargestellte Ergebnis.

In Abb. 6 kann ein eindeutiges Maximum in der Kreuzkorrelationsfunktion erkannt werden, welches bei genauerer Betrachtung eine Verschiebung um  $\Delta N = -16$  Abtastwerte aufweist. Mithilfe der Abtastfrequenz kann daraus die Zeitverschiebung berechnet werden:

$$\Delta t = \Delta N \cdot \frac{1}{f_s} = -16 \cdot \frac{1}{57470} = -278,406 \mu s. \quad (15)$$

Aus der Zeitverschiebung kann dann die Differenz des Abstandes bestimmt werden:

$$\Delta d = c_s \cdot \Delta t = (343 \text{ m/s}) \cdot (-278,406 \mu s) = -95,493 \text{ mm} \quad (16)$$

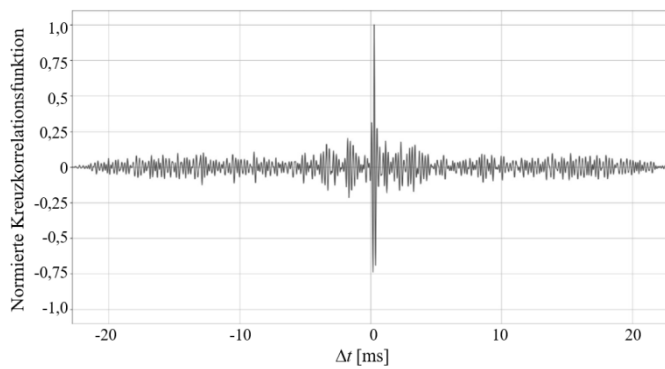


Abb. 6 Autokorrelationsfunktion der Mikrofonsignale der Mikrofone unten links und rechts

Mit einer Abstandsdifferenz von ca. 9,55 cm muss sich die Schallquelle also 9,55 cm näher am linken Mikrofon befinden, als am rechten. Zur Evaluation der Berechnung wurde der Abstand von Lautsprecher zu den Mikrofonen gemessen. Die Messungen ergaben einen Abstand von 26,5 cm zum Mikrofon links, sowie einen Abstand von 36 cm zum Mikrofon rechts unten (siehe Abb. 7). Daraus berechnet sich die vom System korrekt detektierte Differenz der Abstände von ca. 9,5 cm.



Abb. 7 Messung der Abstände zwischen Schallquelle und den Mikrofonen

### C. Kreuzkorrelation eines Dartpfeil-Schallsignals

Im nächsten Schritt soll das ursprüngliche Ziel, nämlich die Schallortung eines Dartpfeils beim Auftreffen, erreicht werden. Zunächst soll wieder exemplarisch die Abstandsdifferenz zwischen einem Mikrofonpaar durch die Kreuzkorrelation bestimmt werden. Ist diese korrekt, kann aus allen Abstandsdifferenzen mithilfe der Multilateration die Position berechnet werden.

Trifft nun im betriebsbereiten System ein Dartpfeil auf der Scheibe auf, löst durch die Triggerung mit den Piezosensoren die Übertragung aus.

Um wie viel die Signale zueinander zeitlich verschoben sind, wird wiederum durch die Korrelationsfunktion bestimmt. Die Kreuzkorrelationsfunktion der beiden Mikrofonsignale ist in Abb. 8 dargestellt.

In der Kreuzkorrelationsfunktion kann nun das große Problem bei der Bestimmung der zeitlichen Verschiebung der Mikrofonsignale dargestellt werden. Abhängig vom Signal, das beim Auftreffen eines Pfeils entsteht, ergibt sich – auch nach etlichen Versuchen – kein eindeutiges, sondern mehrere ähnliche Maxima in der Kreuzkorrelationsfunktion. Dadurch kann keine zuverlässige Entscheidung getroffen werden, wie groß die Differenz der Abstände zu den Mikrofonen ist. Daraus folgt wiederum, dass mithilfe der Multilateration die Position des Pfeils nicht zuverlässig bestimmt werden kann.

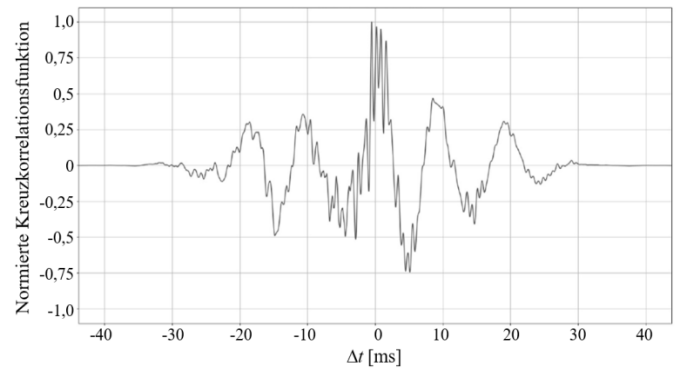


Abb. 8 Kreuzkorrelationsfunktion der Mikrofonsignale beim Auftreffen des Dartpfeils

## IV. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Nach der Feststellung, dass keine zuverlässige Schalllokalisierung mit dem vorhandenen Aufbau möglich ist, folgten weitere Versuche mit verschiedenen Tief- und Bandpassfilterung der Mikrofonsignale. Das Auftreffen des Pfeils stellt jedoch einen sehr variablen Prozess (Wo trifft der Pfeil auf? Wie sieht die Signalfunktion aus? Wie groß ist die Amplitude?) dar. Aufgrund des Prozesses konnten durch statische Filterparameter keine Verbesserungen festgestellt werden. Weitere Versuche zeigten vielversprechende Messungen beim Ändern der Konstellation der Mikrofone. Die Mikrofone wurden dabei als eine Art Stereo-Mikrofon mit einem geringen Abstand nebeneinander positioniert. Durch diese Maßnahme ergeben sich wieder eindeutige Maxima in der Kreuzkorrelationsfunktion, da die Signale der Mikrofone mit abnehmendem Abstand zunehmend korrelieren. Nachteilig wird jedoch eine sehr viel höhere Abtastrate benötigt, da die zu messende Differenz der Signallaufzeiten bei nah aneinander platzierten Mikrofonen nur sehr gering ist. Dieser beschriebene weiterführende Ansatz wurde im Rahmen dieser Arbeit jedoch aus zeitlichen Gründen nicht weiter verfolgt.

## LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Encyclopedia Britannica, *Micropedia*, 15 Hrsg., Bd. 3, Chicago: Helen Hemingway Benton, 1983, p. 385.
- [2] K. Selkirk, „Re-designing the dartboard,“ *Math. Gazette*, Bd. 60, pp. 171-178, 1976.
- [3] D. Singmaster, „Arranging a dartboard,“ *IMA Bulletin*, Bd. 16, pp. 93-97, 1980.
- [4] „Innovation an der Scheibe. Informatiker entwickeln Kamera-basierte Punktwertung für professionelle Steeldartscheiben,“ Universität Jena, 31 März 2015. [Online]. Available: [https://www4.uni-jena.de/Forschungsmeldungen/FM150331\\_Dart.html](https://www4.uni-jena.de/Forschungsmeldungen/FM150331_Dart.html).
- [5] A. Patel und M. Ehrenberg, „The Design and Implementation of an Automated Dartboard -Final Project Report,“ MIT, 2005.
- [6] H. Henn, G. Rez Sinambari, M. Fallen, *Ingenieurakustik: Grundlagen Anwendungen Verfahren*, Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft, 1999.
- [7] A. Masiero, F. Fissore, R. Antonello, A. Cenedese und A. Vettore, „A Comparison of UWB and Motion Capture UAV Indoor Positioning,“ in *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLII-2/W13, 1695-1699, 2019.
- [8] M. Meyer, *Signalverarbeitung. Analoge und digitale Systeme*, Springer-Verlag, 2009.
- [9] B. Klein, *Numerisches Python: Arbeiten mit NumPy, Matplotlib und Pandas*, München: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG, 2019.

## **Session Computer Science**

Chair: Irina Topalova

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

# Experimental Setup for Investigation and Evaluation of a Mapping and Localization System

## Versuchsaufbau zur Untersuchung und Evaluierung eines Kartierungs- und Lokalisierungssystem

Stefan Hensel\*, Marin B. Marinov\*\*, Max Schmitt\*

\* University of Applied Sciences Offenburg, Department for Electrical Engineering, Badstraße 24, D-77652 Offenburg, Germany, stefan.hensel@hs-offenburg.de

\*\* Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering and Technologies, Department of Electronics, 8, Kliment Ohridski Blvd., BG-1756 Sofia, Bulgaria, mbm@tu-sofia.bg

**Abstract** — Through implementation and subsequent evaluation, the research-oriented visual-inertial mapping- and localization-framework *maplab* is analyzed. Mapping and localization are based on detecting different features in the environment. Next to the possibility to create single-case maps, the included algorithms allow merging maps to increase mapping accuracy and obtain large-scale maps. Furthermore, the algorithms can be used to optimize the collected data. The preliminary results show that *maplab* can be efficiently used for mapping, especially in rooms and small building environments. The possibility of merging maps can be used to increase the overall information of these maps, consequentially improving accuracy at a subsequent localization. However, large-scale mapping results in increased geometrical inconsistency.

**Zusammenfassung** — Mit der Implementierung sowie einer anschließenden aussagekräftigen Evaluierung, soll das, visuelle-inertiale Kartierungs- und Lokalisierungssystem *maplab* analysiert werden. Hierbei basiert die Kartierung bzw. Lokalisierung auf der Detektion von Umgebungsmerkmalen. Neben der Möglichkeit der Kartenerstellung besteht ferner die Option, mehrere Karten zu fusionieren und somit weitreichende Gebiete zu kartieren sowie für weitere Datenauswertungen zu nutzen. Aufgrund der Durchführung und Bewertung der Ergebnisse in unterschiedlichen Anwendungsszenarien zeigt sich, dass *maplab* besonders zur Kartierung von Räumen bzw. kleinen Gebäudekomplexen geeignet ist. Die Möglichkeit der Kartenfusionierung bietet weiterhin die Option, den Informationsgehalt von Karten zu erhöhen, welches die Effektivität für eine anschließende Lokalisierung steigert. Bei wachsender Kartierungsgröße hingegen zeigt sich jedoch eine Vergrößerung geometrischer Inkonsistenzen.

### I. EINFÜHRUNG UND MOTIVATION

Durch die Entwicklungen im Bereich roboterassistierter Systeme sowie der Steigerung der Leistungsfähigkeit von Algorithmen im Softwarebereich ist es möglich, unbemannte Fahrzeuge nahezu überall zu navigieren. Aufgrund des Entwicklungsprozesses ergibt sich ein breites Einsatzspektrum an möglichen, autarken Systemen, welche die Fähigkeit besitzen können, selbstständig zu handeln. Folglich entsteht die Möglichkeit, in Bereiche vorzudringen, die für einen Menschen nicht zu erreichen sind. Für die Navigation in unbekannt Gebieten ist es essentiell, ein genaues visuelles Abbild der umliegenden Umgebung zu besitzen. Hierfür sind Bildverarbeitungs- und Interpretationsalgorithmen notwendig, die aus einer realen Welt ein digitales Abbild erzeugen. Dies führt zu einer späteren Anwendung bereits bekannter Umgebungsinformationen. Durch die gegenwärtigen Entwicklungen im Bereich der Robotik ist es möglich, einfachste Systeme zur Kartierung und Lokalisierung zu entwerfen.

### II. MATERIALIEN UND METHODEN

#### A. Das Framework *maplab*

Mithilfe der Analysen und Bewertungen dieser Arbeit soll eine Aussage als Nützlichkeit eines visuelles-inertiales Kartierungs- und Lokalisierungssystem erzeugt werden. Das Framework *maplab* wird von der ETH Zürich als Grundlage für weitere Forschungsprojekte im Bereich der Navigation von mobilen Roboterplattformen über die Software-

Entwicklungsplattform GitHub zur Verfügung gestellt. Für die Evaluierung stehen eine Monochrom-Kamera sowie eine inertielle Messeinheit (engl. inertial measurement unit, IMU) bereit, für welche die notwendigen Softwarepakete vorhanden sind. Mithilfe der Konzipierung eines Systems mit diesen beiden Komponenten soll durch aussagekräftige Analysen sowie der Bewertungen der Ergebnisse eine Beurteilung als sog. SLAM-System (Simultaneous Localization and Mapping) erhalten werden. SLAM beschäftigt sich mit der Problematik der gleichzeitigen Kartierung und Lokalisierung in einer unbekannt Umgebung.

Zur Erprobung der Einsatzmöglichkeiten von *maplab* steht eine mobile Roboterplattform zur Verfügung, die zusätzlich mit einem Referenzsystem zur Kartierung ausgestattet ist. Diese Referenz soll überdies eine Erweiterung der Untersuchungsmöglichkeiten bieten.

Das Framework *maplab* ist ein visuelles-inertiales SLAM System. Es enthält eine Vielzahl an Werkzeugen, welche für die Lösung der SLAM-Problematik genutzt werden können. Diese umfassen [1]:

- Erstellung und Lokalisierung in Karten,
- Multi-Session Kartenkombinierung,
- Loop closing,
- Tiefenrekonstruktion,
- Visualisierung von Karten.

Das System *maplab* nutzt das Framework ROVIO. Die Erweiterung mit einem Lokalisierungsmodul führt zu ROVIOLI. ROVIO ist sozusagen der Grundbaustein für den Prozess der Detektion und Verfolgung von

Umgebungsmerkmalen. Um *maplab* zu implementieren und evaluieren, muss eine möglichst präzise Funktionsweise von ROVIO bzw. ROVIOLI gewährleistet sein.

Die Datenstruktur von *maplab* ist eine sog. VI-Map, welche die visuellen-inertialen Daten für die Kartierung beinhaltet. Jede dieser Karten kann mehrere *missions* enthalten, wobei jede aus einer Einzelaufnahme der Umgebung besteht. Die *missions* bestehen aus Knoten und Verbindungen, welche abstrakt in einem sog. Graph repräsentiert werden. Diese Darstellung beinhaltet eine Sammlung von Objekten, welche miteinander verbunden sein können, dargestellt als  $G^IV; E^o$  mit  $V$  als Knoten und  $E$  als Verbindungen.  $V$  werden als *vertices* oder *nodes* und  $E$  als *edges* bezeichnet [2].

Diese Knoten beinhalten eine Zustandsschätzung zu einem bestimmten Zeitpunkt. In diesem Zustand sind die Lage des Kamera-IMU-Systems, der Messfehler der inertialen Messeinheit sowie die Geschwindigkeit dieser für die inertialen Informationen enthalten. Ebenfalls gespeichert werden in diesem Zustand die

Bilder der Kamera für die visuellen Daten. Zu diesen Bilddaten gehören unter anderem die sog. BRISK oder FREAK Deskriptoren [1]. Deskriptoren besitzen die Aufgabe, die Region um den von einem Detektor als Kante ermittelten Punkt so zu beschreiben, dass dieser so eindeutig wie möglich dargestellt wird. Dies soll dazu führen, dass die Merkmale auch aus verschiedenen Blickwinkeln bzw. Aufnahmen als identischen Punkt erkannt werden [2].

Die Verbindung dieser Knoten findet durch das IMU *edge* statt. Dieses beinhaltet die Messungen der inertialen Einheit zwischen den *vertices*. Schließlich werden Umgebungsmerkmale detektiert, wenn mehrere *vertices* mit diesem verbunden sind. Für die spätere Möglichkeit einer *Loop Closure Detection* wird jenes Merkmal in demjenigen Knoten gespeichert, welcher zuerst eine erfolgreiche Detektierung durchgeführt hat [1].

Abb. 1 zeigt neben dem eben erläuterten Graphen  $G(V, E)$  die verschieden aufgespannten Koordinatensysteme.  $F_G$  stellt das globale, durch die Gravitation festgelegte Ursprungskoordinatensystem dar. Jeder Ursprung einer neuen Karte bzw. Session  $k$  liegt in  $F_{Mk}$ .  $F_{Ik}$  legt hierbei die Ausrichtung der IMU zum Zeitpunkt  $k$  fest.

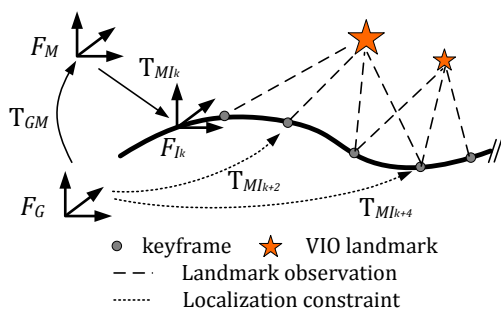


Abb. 1. Darstellung der Vorgehensweise zur Extrahierung und Verfolgung der Umgebungsmerkmale sowie die genutzten Koordinatenbezugssysteme in *maplab* [1]

Um auf das Framework selbst sowie Karten zugreifen zu können, wird eine gesonderte Konsole bereitgestellt. Diese erlaubt es, den Benutzer diverse vorhandene Optimierungsalgorithmen auf Umgebungskartierungen anzuwenden und eine Steigerung der Kartierung bzw. Lokalisierung zu erreichen.

### B. Vorgehensweise

Zur Durchführung einer qualitativ hochwertigen und aussagekräftigen Evaluation ist es notwendig, die

Funktionsweise von *maplab* zu gewährleisten. Um im Vorfeld bereits mögliche Fehlerursachen deuten zu können, soll mit einem ersten Einblick in die dazugehörige Theorie, Wissen über SLAM sowie den einhergehenden mathematischen Hintergründen erlangt werden. Gleichzeitig müssen zunächst die notwendigen Softwarekomponenten für den Betrieb der Kamera, der inertialen Einheit sowie das Framework *maplab* implementiert werden.

### C. Simultaneous Localization and Mapping (SLAM)

Durch die stetige Entwicklung und Verbesserung der Technologie mit einhergehender Leistungssteigerung elektronischer Komponenten ist es möglich, intelligente und autonome Systeme zu konzipieren. Für die Nutzung eben dieser Systeme ist es notwendig, dass diese ein genaues Abbild der Umgebung um sie herum besitzen, sodass weder Mensch, Tier, die Umgebung noch das System selbst Schaden nehmen. Für den Erhalt eines Modells bzw. einer Karte der Umgebung ist es unumgänglich, eine der essentiellen Problematiken der Robotik zu lösen.

Die SLAM-Problematik behandelt die Schwierigkeit der Lokalisierung und Kartierung eines mobilen Roboters in einer unbekanntem Umgebung mit der gleichzeitigen Positionierung dessen, relativ zu dieser Karte [2]. Vor allem wenn keine weiteren Navigationsmöglichkeiten wie GNSS zur Verfügung stehen, gewinnt die SLAM-Problematik an Bedeutung. Während es bereits zur Lösung der Problematik in einfachen Anwendungen kommt, können SLAM-Algorithmen durch herausfordernde dynamische Roboterbewegungen oder stark dynamische Umgebungen an ihre Grenzen gebracht werden [3]. Für den Erhalt einer Karte müssen mittels Sensoren die Struktur der Umgebung erkannt werden. Hierfür steht eine Vielzahl an möglichen Sensortypen zur Verfügung.

Mithilfe der Positionsbestimmung der Umgebungsmerkmale ist es schließlich möglich, eine Darstellung der Roboterumgebung zu erhalten und somit eine Karte zu gewinnen, welche auf verschiedene Arten wie beispielsweise der Lokalisierung verwendet werden kann [4]. Das grundlegende Problem innerhalb des SLAM ist nun sowohl die Bahn des Roboters sowie die Position aller Umgebungsmerkmale zu schätzen, ohne hierfür bereits Erkenntnisse über die wahre Position der Merkmale bzw. des Roboters selbst zu besitzen [5].

### D. Robot Operating System (ROS)

Um die Kommunikation und den Datenaustausch zwischen der Kamera bzw. IMU und dem Computer zu gewährleisten, steht ein Robot Operating System, kurz ROS, zur Verfügung. Aufgrund der weiten Verbreitung und dem häufigen Einsatz in Roboterapplikationen stehen eine große Sammlung an Software-Tools und Bibliotheken bereit [6]. Diese erlauben es dem Benutzer notwendige Treiber für elektronische Sensoren einfach und unkompliziert zu installieren.

### E. Robust Visual Odometry (ROVIO)

Für die präzise Navigation und Kontrolle von autonomen Robotersystemen wird eine hohe Bandbreite an Informationen von Position und Orientierung benötigt. Mithilfe der Fusionierung von Informationen aus optischen und inertialen Sensoren wird eine bestmögliche Schätzung der dynamischen Bewegungen des Systems erreicht [7]. Ebenso wird durch die Erweiterung der Kameradaten mit den Informationen aus einer inertialen Messeinheit eine erhebliche Steigerung der Robustheit sowie der Genauigkeit erzielt [8].

In dem Framework ROVIO wird die Struktur an „the standard visual-inertial EKF-SLAM formulation“ [1] angelehnt. Für die Erkennung der Umgebungseigenschaften ist



ein Filter notwendig, welcher die inertialen Messungen für die Vergrößerung dessen Zustands verwendet, während gleichzeitig die visuellen Informationen innerhalb der Filteraktualisierung berücksichtigt werden. Dieses Update ist jedoch nur dann möglich, wenn neue Umgebungsaufnahmen durch die Kamera bereitgestellt werden [7]. Das Detektieren von neuen Umgebungseigenschaften basieren auf dem sog. FAST-Kantendetektor, welcher eine hohe Anzahl an Positionen von möglichen Umgebungsmerkmalen liefert.

### F. ROVIOLI

ROVIOLI ist die Erweiterung des Grundbausteins ROVIO für die Kartierungs- und Lokalisierungsfähigkeit von *maplab*. ROVIOLI kann in zwei grundsätzlichen Modi betrieben werden:

- VIO (Visual Inertial Odometry) Modus Erstellung einer Karte basierend auf den VIO Schätzungen.
- LOC (Localization) Modus Lokalisierung in einer bereits bekannten Karte mit bestmöglicher Reduzierung des Drifts relativ zu dieser Karte [1].

Für die Gewährleistung der Positionsfindung im LOC-Modus findet ein Abgleich zwischen den Deskriptoren der zweidimensionalen Bilder der aktuellen Aufnahme und der bekannten dreidimensionalen Karte (2D-3D) statt [9].

Diese resultieren in  $T_{GIk}$ , die eine Transformation der aktuellen Lage zum Zeitpunkt  $k$  relativ zum Ursprungs-koordinatensystem  $F_G$  darstellt. Diese Übereinstimmungen werden durch das *Frame Localization* Modul durchgeführt. Anschließend werden diese Schätzungen mit den Odometriedaten fusioniert, um die Transformation  $T_{GM}$  zu erhalten, welche  $F_M$  auf  $F_G$  ausrichtet.  $F_M$  repräsentiert dabei den Ursprung einer Mission  $k$  (siehe Abb. 1). Die Ausgänge aller Module werden an den Baustein *Map Builder* geleitet, in welchem eine Synchronisation aller Module stattfindet. Gespeichert werden alle Daten in einer sog. VI-Map. In Abb. 2 wird der eben erwähnte Prozess genauer verdeutlicht.

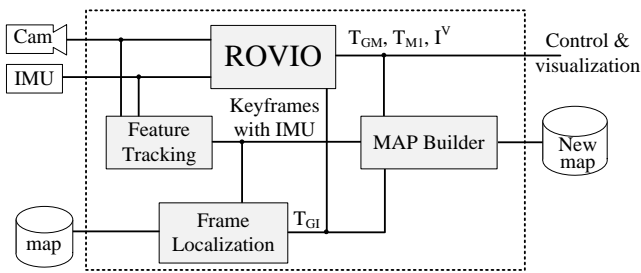


Abb. 2. Module und Datenfluss ROVIOLI [1]

### III. IMPLEMENTIERUNG UND EVALUIERUNG DES SYSTEMS

Für die Nutzung von *maplab* ist es notwendig, die einwandfreie Funktionsweise von ROVIOLI zu garantieren. Dies wird durch zwei grundlegende Tatsachen sichergestellt. Zum einen ist eine präzise Kalibrierung des gesamten Kamera-IMU-Systems notwendig, um eine genaue Aussage über die Positionierung der IMU gegenüber dem Kamerazentrum treffen zu können. Zum anderen ist eine Synchronisation zwischen den beiden elektronischen Komponenten Voraussetzung für die Merkmalsdetektion.

#### A. Hardwaretechnische Synchronisation zwischen Kamera und IMU

Mithilfe der verwendeten IMU der Firma *xsens* besteht die Möglichkeit der hardwaretechnischen Triggerung externer elektrischer Komponenten über ein sog. *SyncOut*-Signal. Durch

dieses Signal ist es möglich, die Kamera in dem zur Verfügung stehenden Trigger-Modus zu betreiben. Anhand dieser Möglichkeit der Triggerung der Kamera durch eine externe Komponente wird gewährleistet, dass immer zu einem festgelegten Zeitpunkt ein Bild aufgenommen wird. Wie dem Datenblatt der Kamera zu entnehmen ist, muss diese aufgrund ihrer technischen Beschränkungen auf eine fallende Flanke getriggert werden.

In Abb. 3 ist der endgültige, interne Aufbau der Hardware, bestehend aus den drei Hauptkomponenten Adapterplatine, Kamera und IMU, präsentiert.

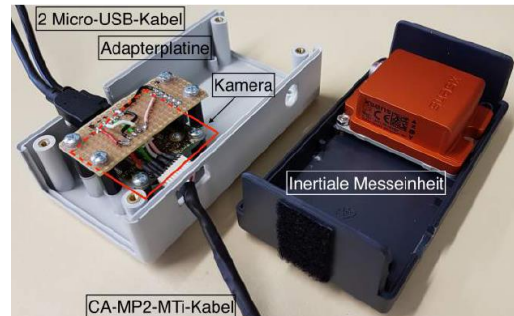


Abb. 3. Aufbau der Hardware des visuellen-inertialen Systems

#### B. Softwaretechnische Synchronisation zwischen Kamera und IMU

Bei Systemtests wurde deutlich, dass die alleinige hardwaretechnische Synchronisation von Kamera zur IMU nicht ausreicht, um ein stabiles System im Hinblick auf Vermeidung von Divergenzen zu garantieren.

Damit ROVIOLI Umgebungsmerkmale korrekt detektieren und verfolgen kann, ist es wichtig, dass innerhalb einer bestimmten Zeit alle notwendigen Daten für den unterlagerten Kalman-Filter vorhanden sind. Durch die ausgewählten Datenraten der elektronischen Komponenten beträgt dieses „Zeitfenster“  $t = 50 \text{ ms}$ . Vor allem in Umgebungen mit einer geringen Beleuchtung ist die beschriebene Problematik der Asynchronität vorzufinden. Der Ansatz zum Lösen des Problems der automatischen Belichtungszeit ist auch hier erneut die Nutzung des Triggersignals der IMU. Dazu wird innerhalb des Treibers der IMU explizit der Zeitpunkt des *SyncOut*-Signals über den ROS Treiber der IMU bekannt gegeben. Dies ermöglicht es, den jeweiligen Kamerazeitstempel zu überschreiben und somit eine Unabhängigkeit von automatischen Belichtungszeiten zu gewährleisten.

Mithilfe dieser Erweiterungen des Kamera-Treibers ist es möglich, die Kamera mit einer automatischen Belichtungszeit zu betreiben und eine Umgebung trotz möglicher starker Belichtungswechsel zu kartieren bzw. sich innerhalb dieser zu positionieren. In Abb. 4 wird der endgültige schematische Aufbau des visuellen-inertialen Systems nach der hard- und softwaretechnischen Synchronisation dargelegt.

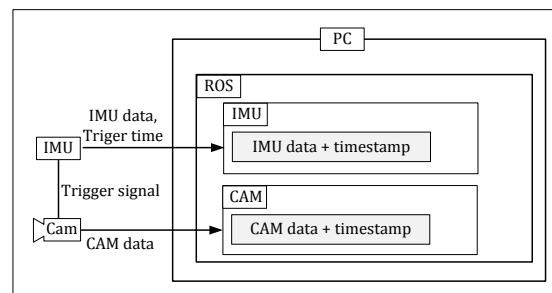


Abb. 4. Aufbau der Hardware des visuellen-inertialen Systems

### C. Evaluierung - Analyse und Bewertung der Distanzmessung mithilfe von *maplab*

Mit dem Framework *maplab* wird die Möglichkeit geboten, die zurückgelegte Strecke nach der Durchführung einer Kartierung auszulesen. Um eine Bewertung der Genauigkeit der Längenmessung für folgende Untersuchungen berücksichtigen zu können, soll die Größe der Messabweichung bestimmt werden. Hierfür wird eine Teststrecke von 15m festgelegt, welche zur Verdeutlichung und Vergrößerung der Auswirkungen des Messfehlers zehnmal abgefahren bzw. abgelaufen wird. Dabei sollen zwei Messungen angestellt werden:

1. Messung der Strecke mit dem visuellen-inertialen System frei beweglich in der Hand
2. Messung der Strecke mit dem visuellen-inertialen System fest montiert auf einer mobilen Roboterplattform

Laut der GitHub-Webseite von ROVIOLI [10] ist eine mögliche Fehlerursache für die Entstehung von Divergenzen oder große Drift- bzw. Skalierfehler (bei der Extrahierung der Informationen aus einer Umgebungsaufnahme) die feste Fixierung des visuellen-inertialen Systems auf einer mobilen Roboterplattform. Die Ursache hierfür liegt in der fehlenden Information bezüglich der z-Achse der IMU, da diese aufgrund der festen Montage einen relativ konstanten Wert besitzt. ROVIOLI profitiert vor allem durch die ungleichmäßige, jedoch durchgängige Bewegung des gesamten Kamera-IMU-Systems. Der Effekt der fehlenden Achseninformation der IMU soll mithilfe einer konstanten Geschwindigkeit dieses Roboters verstärkt werden [10]. Da sich jedoch in [1] das Framework *maplab* als visuellen-inertiales SLAM-System versteht, soll im Folgenden die Eignung dieses Frameworks für mobile Roboterplattformen untersucht werden. Als Roboter steht hierfür der sog. „Husky“ [11] bereit, welcher mit einem externen, drahtlosen Controller gesteuert werden kann.

Mit den oben aufgelisteten Messungen sollen die Auswirkungen der festen Montage des visuellen-inertialen Systems untersucht werden. Um die äußeren Fehlereinflüsse zu minimieren, werden Hin- und Rückweg der 15 m langen Teststrecke mit einer gleichbleibenden Orientierung des Kamera-IMU-Systems durchgeführt.

Mithilfe dieser Translationsbewegung sollen Fehlereinflüsse, entstehend durch eine Drehbewegung, minimiert sowie mit einer möglichst geradlinigen Bewegung reduziert werden. Dabei definiert  $d_{unopt}$  die Distanz vor der Durchführung des Optimierungsprozesses. Die Auswirkungen dieses Prozesses wird mit der neu errechneten Distanz  $d_{opt}$  dargestellt. Mit der Differenz  $d_{diff}$  lassen sich absolute und relative Fehler der Distanzmessung errechnen. Diese sind ein Maß für die Genauigkeit des Messvorgangs. Die eben erwähnten Größen errechnen sich durch:

$$d_{diff} = d_{unopt} - d_{opt}, \quad (1)$$

$$d_{abs} = d_{diff}, m - 150 m, \quad (2)$$

$$f_{rel} = \frac{d_{abs}, m}{150 m} \cdot 100\%. \quad (3)$$

Es ergeben sich nach einer erfolgreichen Kartierung folgende Messergebnisse:

TABELLE I. MESSERGEBNISSE DER STRECKENMESSUNG

Eigenschaft	$d_{unopt}, m$	$d_{opt}, m$	$d_{diff}, m$	$d_{abs}, m$	$f_{rel}, \%$
<i>Mensch</i>	162,84	152,70	10,14	2,70	1,8
<i>Husky</i>	203,90	148,86	55,04	-1,14	-0,76

Betrachtet man die Messwerte in TABELLE I vor und nach dem Optimierungsprozess, so sind erhebliche Differenzen in

der Messung der zurückgelegten Strecken zu erkennen. Hierbei weicht die Distanzmessung durch den Husky um mehr als das fünffache gegenüber der Vermessung durch den Menschen ab. Jedoch reduzieren sich die Differenzen nach dem Optimierungsprozess der Streckenmessung erheblich. Werden nun die relativen Abweichungen analysiert, findet eine genauere Messung der Distanz unter Nutzung der Husky-Roboterplattform statt. Der relative Fehler der gemessenen Streckenlänge zur tatsächlichen Gesamtdistanz beträgt für die Messung auf der Roboterplattform lediglich 0,76 %. Durch die Möglichkeit der präzisen Manövrierung der Roboterplattform ist es annähernd möglich, die Ideallinie der geradlinigen Strecke abzufahren und somit einen minimalen Fehler, verursacht durch Abweichungen von der Ideallinie, zu erzeugen.

### IV. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Nach der Einarbeitung in das Framework *maplab* wurden zwei Problematiken ersichtlich, welche für eine erfolgreiche Implementierung und eine anschließende Evaluierung des visuellen-inertialen SLAM-Systems gelöst werden mussten. Für eine präzise Arbeitsweise und eine bestmögliche Schätzung der Position der Umgebungsmerkmale war es somit notwendig, die visuellen und inertialen Daten kontinuierlich und in gleichmäßigen, zeitlichen Abständen bereitzustellen. Aufgrund der gewollten variablen Belichtungszeit der Kamera fand eine Änderung der Übertragungsrate der visuellen Informationen statt, welche sich negativ auf den unterlagerten Extended Kalman-Filters ausgewirkt haben. Resultat dieser Asynchronität zwischen Kamera und IMU war neben der unzureichenden Positionsschätzung, eine Divergenz in der resultierenden Karte.

### REFERENCES

- [1] T. Schneider, M. Dymczyk, M. Fehr, K. Egger, S. Lynen, I. Gilitschenski and R. Siegwart, "maplab: An Open Framework for Research in Visual-inertial Mapping and Localization," *CoRR*, vol. abs/1711.10250, 2017.
- [2] P. Corke, *Robotics, Vision and Control*, Berlin: Springer, 2011.
- [3] C. Cadena, L. Carlone, H. Carrillo, Y. Latif, D. Scaramuzza, J. Neira, I. Reid and J. Leonard, "Present, and Future of Simultaneous Localization And Mapping: Towards the Robust-Perception Age," *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 32, no. 6, 2016.
- [4] R. Valencia and J. Andrade-Cetto, *Mapping, Planning and Exploration with Pose SLAM*, Vols. Springer Tracts in Advanced Robotics, 119, Springer, 2018.
- [5] H. Durrant-Whyte and T. Bailey, "Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM): Part I The Essential Algorithms," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 2, p. 1–9, 2006.
- [6] "About ROS," 2019. [Online]. Available: <https://www.ros.org/about-ros/>. [Accessed 10 08 2019].
- [7] M. Bloesch, S. Omari, M. Hutter and R. Siegwart, "Robust visual inertial odometry using a direct EKF-based approach," in *Proceedings of the 2015 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Hamburg, Germany, 28 September–3 October 2015.
- [8] J. Nikolic, J. Rehder, M. Burri, P. Gohl, S. Leutenegger, P. T. Furgale and R. Siegwart, "A synchronized visual-inertial sensor system with FPGA pre-processing for accurate real-time SLAM," in *2014 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, 2014.
- [9] S. Lynen, T. Sattler, M. Bosse, J. A. Hesch and M. & S. R. Pollefeys, "Get Out of My Lab: Large-scale, Real-Time Visual-Inertial Localization," in *Robotics: Science and Systems*, 2015.
- [10] M. Fehr, "ROVIOLI Introduction.," [Online]. Available: <https://github.com/ethz-asl/maplab/wiki/ROVIOLI-Introduction>. [Accessed 28 06 2019].
- [11] S. Hensel, M. Marinov and C. Kehret, "Design of a mobile platform for the evaluation of Localization and Mapping Algorithms," in *FDIBA Conference Proceedings*, Sofia, 2018.

# A Virtual Memory Palace: Engagement improves the Long-term Memory

## Ein Virtueller Gedächtnispalast: Engagement verbessert das Langzeitgedächtnis

Jan-Paul Huttner<sup>\*</sup>, David Schilgen<sup>†</sup>, Susanne Robra-Bissantz<sup>‡</sup>

Lehrstuhl für Informationsmanagement, Technische Universität Braunschweig  
Braunschweig, Deutschland, {<sup>\*</sup>j-p.huttner; <sup>†</sup>d.schilgen; <sup>‡</sup>s.robra-bissantz}@tu-braunschweig.de

**Abstract** — The loci method (also known as memory palace) is the most powerful mnemonic technique and has been researched interdisciplinary over the last twenty years. Especially the approach to combine this old learning method with modern technology became more and more the focus of this interdisciplinary research community. Researchers presented virtual environments to their students on normal computer screens or in virtual reality glasses, instructing them to use these virtual worlds as a template for a memorial palace. At the moment, however, there is no research on whether and how a user's involvement in this virtual world has an impact on how successfully the method works. This study addresses this research gap through an experiment and a correlation and regression analysis. The results show significant correlations between user engagement and their long-term learning success.

**Zusammenfassung** — Die Loci-Methode (auch bekannt als *Gedächtnispalast*) ist die mächtigste Mnemotechnik und wurde in den letzten zwanzig Jahren interdisziplinär erforscht. Insbesondere der Ansatz, diese alte Lernmethode mit moderner Technologie zu kombinieren, rückte immer mehr und mehr in den Fokus dieser interdisziplinären Forschungsgemeinschaft. Forscher präsentierten ihren Schülern und Studenten virtuelle Umgebungen auf normalen Computerbildschirmen oder in Virtual Reality Brillen, wiesen sie an, diese virtuellen Welten als Vorlage für einen Gedächtnispalast zu verwenden. Aktuell fehlt jedoch eine Untersuchung dazu, ob und wie das Engagement eines Nutzers in dieser virtuellen Welt einen Einfluss darauf hat, wie erfolgreich die Methode funktioniert. Diese Studie befasst sich mit dieser Forschungslücke durch ein Experiment und eine Korrelations- und Regressionsanalyse. Die Ergebnisse zeigen signifikante Zusammenhänge zwischen dem Engagement der Nutzer und dem langfristigen Lernerfolg.

### I. EINLEITUNG

Diese Studie richtet sich an Forscher und Praktiker im Bereich der Lern- und Lehrtechnologien. Im Fokus dieser Arbeit steht die antike Lernstrategie namens Loci-Methode (LM, auch Gedächtnispalast genannt). Dabei handelt es sich um eine Lernstrategie, die darauf basiert Lerninhalte mental mit räumlichen Eigenschaften zu verbinden. Yates (1999) erklärte, wie bei dieser Lernmethode die Assoziation zwischen Lerninhalt und räumlichen Gegebenheiten das Erinnern an ebendiese Informationen wesentlich vereinfacht [1]. Betrachtet man diesbezüglich Krathwohls überarbeiteten Vorschlag [2] von Blooms Taxonomie des Lernens [3], so wird ersichtlich, dass die erste Stufe des Lernprozesses („Erinnern“) mithilfe von Mnemotechniken adressiert werden kann.

Der Ansatz, generell Mnemotechniken in den Schulalltag zu integrieren wurde bereits von mehreren Forschern vorgeschlagen. Zum Beispiel beschrieben Hartwig, Dunlosky und McCabe das Potenzial, welches in diesen Methoden steckt, und wie diese die Erfolgchancen der SchülerInnen steigern können [4], [5]. Darüber hinaus beschrieb Putnam 2015 den positiven Zusammenhang zwischen dem Einsatz von Mnemotechniken und der Lernmotivation von Schülern. Er legte dar, dass die Zeit, die durch das Erlernen der Grundlagen mithilfe der Mnemotechniken eingespart wird, genutzt werden kann, um sich auf das Lernen komplexerer Inhalte zu konzentrieren.

Dennoch sind Gedächtnisstrategien noch nicht vollständig in das Bildungssystem integriert [6].

### A. Die Loci - Methode

Wie bereits erwähnt, ist die LM das Grundprinzip eines Gedächtnispalastes. Die Idee ist es, deklarative Informationen mental mit räumlichen Gegebenheiten und Eigenschaften zu verbinden, bzw. zu assoziieren. Wenn man beispielsweise die LM anwenden oder einen Gedächtnispalast „bauen“ will, muss man die Lerninhalte an verschiedenen und bekannten Orten platzieren (Ort = lat. *locus*, pl. *loci*). Diese Orte dienen dann als Navigationspunkte beim Durchqueren des Gedächtnispalastes.

Angenommen man möchte sich eine Liste von Hardwarekomponenten eines Computers merken. Dann geht man mental durch seine Wohnung oder sein Haus und stellt die CPU in die Spüle, das Motherboard in den Ofen, die Tastatur auf den Küchentisch und so weiter. Wenn sich dann der Anwender später an diese Hardwarekomponenten erinnern möchte, geht er mental wieder den gleichen Weg ab und „sammelt“ die Gegenstände nacheinander ein.

Dieses einfache Prinzip der mentalen Assoziation von Informationen mit räumlichen Eigenschaften führt zu einer deutlich stärkeren, bzw. nachhaltigeren Erinnerung im Vergleich zu traditionellem Auswendiglernen. Dennoch ist für die erfolgreiche Anwendung der LM, bzw. für die Errichtung eines Gedächtnispalastes eine gewisse Trainingszeit erforderlich. Die Trainingszeit hängt stark von der Menge der Lerninhalte ab. Bisherige Studien berichteten von unterschiedlich konzipierten Trainingsphasen, die zwischen einigen Stunden und mehreren Tagen andauerten [7], [8].

Es zeigt sich, dass Gedächtnispaläste und die LM von einer interdisziplinären Forschungsgemeinschaft untersucht werden, die sich vom Bereich Bildung und Lernen über Computerwissenschaften bis hin zu neurowissenschaftlichen Studien erstreckt [9], [10].

## II. VIRTUELLER GEDÄCHTNISPALAST

Ende der 90er Jahre begannen Forscher aus dem Bereich der Informatik und Psychologie, moderne Technologie mit den alten Prinzipien der Gedächtnisstrategien zu verbinden. Im Zuge dessen wurde die traditionelle LM (bzw. der Gedächtnispalast) um der Idee erweitert, eine virtuell präsentierte Umgebung als Vorlage für die mentale Repräsentation des eigenen Gedächtnispalastes zu verwenden. Im Folgenden wird dieses Konzept der virtuellen Umgebung, die dann als Gedächtnispalast genutzt werden soll, als virtueller Gedächtnispalast (VGP) bezeichnet.

Wie im nächsten Abschnitt beschrieben, birgt das Konzept eines VGP ein interessantes Potenzial für Bildungszwecke, insbesondere im Hinblick auf den steigenden Trend der virtuellen Realität.

## III. THEORIE UND FORSCHUNGSFRAGE

Wie bereits erwähnt, sind Gedächtnispaläste, sowohl in traditioneller als auch in der modernen Variante, in mehreren Studien bereits intensiv erforscht worden [11]–[18]. Zusammengefasst stellt sich häufig die Frage nach der optimalen Gestaltung eines VGP, also welche Eigenschaften ein VGP haben sollte, damit z.B. der Lernerfolg oder die Nutzungsabsicht des Anwenders gesteigert wird. Um diese Frage zu beantworten, muss geklärt sein, welche Faktoren einen positiven oder negativen Einfluss auf z.B. den Lernerfolg haben. So wurde beispielsweise untersucht welchen Einfluss die Immersion auf den Lernerfolg hat [11], [13]. Die Immersion beschreibt das Gefühl an einem anderen Ort zu sein als man tatsächlich ist [19]. Huttner et al. konnten 2019 zeigen, dass die Stärke der Immersion in einem Gedächtnispalast in der virtuellen Realität mitbestimmt, wie hoch der Lernerfolg am Ende ist [13]. Dede erklärte 2009 wie Immersion einen positiven Einfluss auch auf das Engagement und den Lernerfolg der Nutzerin oder des Nutzers hat [20]. Laut Jacques (1995) spielt Engagement in Multimedia-Lern-Systemen eine wichtige Rolle für die intrinsische Motivation des Lernenden [21]. Engagement beschreibt nach Webster und Ahuja (2006) den Zustand wenn ein System die Aufmerksamkeit der/des AnwenderIn erregt und er/sie intrinsisch zur Nutzung motiviert ist [22].

Darauf aufbauend wird in dieser Studie nun untersucht, ob und wenn ja wie stark der Faktor Engagement einen Einfluss auf den Lernerfolg in einem VGP hat. Der Lernerfolg wird in diesem Fall als Gedächtnisleistung gemessen. Das hier verwendete Messverfahren orientiert sich an einer Methode, die 2012 von Legge et al. vorgeschlagen wurde [15]. Dabei wurde ein Experiment durchgeführt, bei dem die Teilnehmer in Gruppen eingeteilt wurden und dann entweder anhand der traditionellen LM oder mithilfe eines VGP (auf einem Bildschirm präsentiert) eine bestimmte Menge an Wörtern auswendig lernen sollte. Der VGP konnte in der Ego-Perspektive (ähnlich zu einem Videospiel) durchlaufen werden: Der Nutzer oder die Nutzerin konnte sich mit der Tastatur durch die virtuelle Welt bewegen. Danach wurden die Probanden nach den Wörtern gefragt. Dabei erhoben Legge et al. zwei verschiedene Bewertungen: den „*lenient score*“ und den „*strict score*“. Der *lenient score* misst den prozentualen

Anteil an Wörtern, den sich der oder die Teilnehmerin merken konnte. Der *strict score* misst dazu noch wie gut die Wörter in der richtigen Reihenfolge wiedergegeben werden konnten.

Die untersuchten Hypothesen lauten wie folgt:

**H1:** *Höheres Engagement hat einen signifikanten, positiven Einfluss auf den lenient score.*

**H2:** *Höheres Engagement hat einen signifikanten, positiven Einfluss auf den strict score.*

## IV. EXPERIMENT

Um die Hypothesen zu überprüfen, wurde ein Experiment durchgeführt. Die Teilnehmer wurden dafür mit einer Virtual Reality Brille und einem Playstation - Controller ausgestattet. Wie bereits vorher beschrieben, hat die Immersion einen positiven Einfluss auf die Lernleistung in einem VGP. Daher wurde der VGP für die virtuelle Realität implementiert, da diese das den Grad der Immersion steigert [23], [24]. Außerdem wurden die Probanden auf einen Drehstuhl gesetzt, um das Umherschauen und damit die Navigation einfacher zu gestalten. Abbildung 1 illustriert die aufeinanderfolgenden Phasen des Experiments.

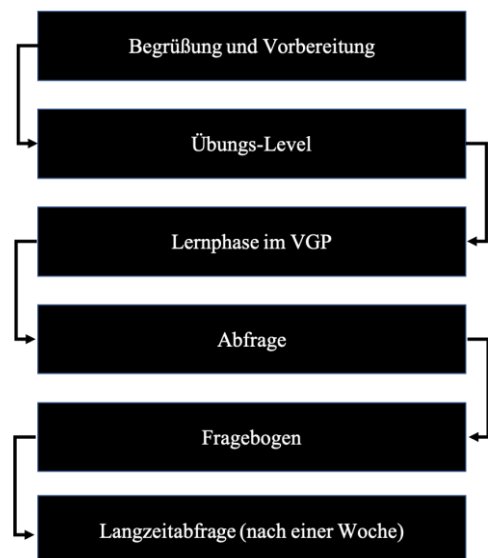


Abb. 1. Phasen des Experiments.

Danach bekamen die Teilnehmer zunächst eine kurze Erläuterung dazu, wie ein VGP funktioniert. Daraufhin absolvierten sie ein Übungs-Level, um sich mit der Navigation vertraut zu machen. Im Anschluss daran gelangten die Teilnehmer in den VGP. Die Orte, an denen die Wörter platziert waren, wurden mit einem schwebenden Stern markiert. Dann konnten die Probanden per Knopfdruck auf dem Controller das Wort anzeigen lassen. Jedes Wort wurde nur für fünf Sekunden angezeigt (analog zu Legge et al. 2012[15]) und verschwand dann wieder. Erst danach konnte das nächste Wort aktiviert werden. Dadurch wurde eine bestimmte Reihenfolge definiert, die für jeden Probanden gleich ist (insgesamt 40 Worte, analog zu Belleza 1981 [25]). Dabei wurde jedes Wort zusammen mit einem passenden Bild präsentiert; also z.B. der Term „Löffel“ wurde mit einem Bild von einem Löffel zusammen im Raum platziert. Dies erleichtert nach der *Dual Coding* Theorie das Memorieren von Lerninhalten [27]–[29] und wurde auch im Kontext mit einem

VGP bereits als sinnvoll beschrieben [30]. Die präsentierten Wörter wurden nicht zufällig ausgewählt, sondern entstammen einer Liste von Worten die Kanske et al., die in einer Umfrage nach bestimmten Kriterien bewertet wurden (n=64)[26]. Die gewählten Terme für den VGP in diesem Experiment sind laut dieser Liste einfach zu visualisieren (hohes Maß an Konkretheit). Abbildung 2 zeigt den Grundriss des VGP und die Route, die die Probanden abgelaufen sind, um alle Wörter nacheinander „einzusammeln“. Im Anschluss wurden die Probanden gebeten, die Begriffe an einem Rechner nacheinander in der gleichen Reihenfolge einzugeben. Dabei wurde jedes Wort in ein Textfeld eingetragen und bestätigt. Danach wurde das gleiche Textfeld für die nächste Eingabe verwendet. Damit wurde sichergestellt, dass die Probanden nicht sehen konnten, wie viele Worte sie schon eingegeben hatten oder an welcher Position sie sind (siehe Legge et al. 2012[15]). Im Anschluss an diese Phase wurde den Teilnehmern ein Fragebogen ausgehändigt, um die nötigen Informationen zu erheben, also beispielsweise das Alter, das Geschlecht und unter anderem auch ein Konstrukt zur latenten Variable „Engagement“. Dieses besteht aus sieben Aussagen, welche mit einer fünfstufigen Likert-Skala beantwortet bewertet sollte (Quelle des Konstrukts: Webster und Ahuja (2006) [22]).

Eine Woche nach dem Experiment wurden die Probanden per Mail kontaktiert und gebeten die Worte erneut einzugeben (inklusive Web-Adresse für das Abfrage-Tool), um das Langzeitgedächtnis zu testen. Dies wurde den Teilnehmern nicht vorab mitgeteilt, damit sich niemand darauf vorbereiten konnte.



Abb. 2. Vogelperspektive auf den VGP.

## V. DATENANALYSE

Insgesamt nahmen 37 Personen am Experiment teil. Die Teilnehmer waren zwischen 18 und 45 Jahre alt (Mittelwert=26,24, Median = 22). 25 waren männlich, 9 weiblich und drei gaben als Geschlecht divers an. 28 von ihnen waren Studierende, neun berufstätig. Von den 37 Probanden mussten sechs aufgrund von Übelkeit aus der Analyse ausgeschlossen werden. 20 Probanden nahmen an der Langzeitabfrage teil.

Um sicherzustellen, dass das Konstrukt „Engagement“ eine ausreichende Reliabilität aufweist, wurde Cronbachs Alpha ermittelt. Dieses beträgt 0,817, sodass die erhobenen Daten gut für die weitere Analyse geeignet sind [31]. Eine Prüfung auf Normalverteilung ergab, dass weder der *lenient*

noch der *strict score* normalverteilt sind. Tabelle 1 gibt einen deskriptiven Überblick zu den *scores*.

TABELLE I. DESKRIPTIVE STATISTIK ZUM LERNERFOLG

	Lenient	Lenient (lz)	Strict	Strict (lz)
<i>Mittelwert</i>	,76693548	,71309524	,66854839	,60000000
<i>Median</i>	,87500000	,82500000	,75000000	,75000000
<i>Std.abw.</i>	,2174077	,24844756	,29783718	,31819805
<i>N</i>	31	20	31	20

lz = langzeit

Die Ergebnisse zeigen, dass die *lenient scores* jeweils höher als die *strict scores* sind, was aufgrund der Definition der Werte zu erwarten war. Dass diese Erwartung erfüllt wurde, befürwortet die Validität der Erhebung. Gleichzeitig ist zu erkennen, dass die Langzeitergebnisse bei beiden Messungen (*strict* und *lenient*) niedriger sind, was ebenfalls erwartet werden konnte [32]. Die Standardabweichung ist beim *strict score* höher und nimmt in der Langzeitmessung zu. Dies könnte darin begründet liegen, dass die Teilnehmer eine unterschiedlich gute Gedächtnisleistung abrufen können, welche über die Zeit noch stärker variiert, abhängig davon wie gut der VGP im Experiment funktioniert hat.

Zur Überprüfung der Hypothesen wurde eine Korrelationsanalyse durchgeführt (nach Spearman). Diese ergab keine signifikanten Ergebnisse für die Messungen des *Engagements* und die *strict* und *lenient scores* bezogen auf die Abfrage direkt nach dem Experiment. Dennoch zeigten sich signifikante Korrelationen für die Abfrage nach einer Woche, beziehungsweise bezogen auf die Messungen, die auf das Langzeitgedächtnis abzielten (*Engagement & strict score* = 0,499 mit  $p < .05$ ; *Engagement & lenient score* = 0,538 mit  $p < .05$ ). Zur weiteren statistischen Beschreibung dieser Korrelation wurden zwei lineare Modelle gerechnet (siehe Tabelle 2 und 3). Man beachte an dieser Stelle, dass für diese Analyse nur noch 20 Teilnehmer zur Verfügung standen, da die restlichen Probanden nicht an der Langzeit – Abfrage teilgenommen hatten.

TABELLE II. LINEARES MODELL 1

M1 UV = Engagement, AV = Strict Score (lz)			
<i>Beta 0</i>	<i>Beta 1</i>	<i>F(1,20)</i>	<i>Adj. R<sup>2</sup></i>
3,1858*** ( $\sigma_n: 0,2520$ )	0,9468* ( $\sigma_n: 0,4070$ )	5,412	0,1736
Signifikanz: * $p < .05$ , ** $p < .01$ , *** $p < .001$ UV = unabhängige Variable, AV = abhängige Variable, lz = langzeit, $\sigma$ = Standardfehler			

TABELLE III: LINEARES MODELL 2

M2 UV = Engagement, AV = Lenient Score (lz)			
<i>Beta 0</i>	<i>Beta 1</i>	<i>F(1,20)</i>	<i>Adj. R<sup>2</sup></i>
2,9307*** ( $\sigma_n: 0,3234$ )	1,1596* ( $\sigma_n: 0,456$ )	6,466	0,2065
Signifikanz: * $p < .05$ , ** $p < .01$ , *** $p < .001$ UV = unabhängige Variable, AV = abhängige Variable, lz = langzeit, $\sigma$ = Standardfehler			

Die Modelle erklären sowohl den *strict score*, als auch den *lenient score* signifikant mit dem „Engagement“ der Teilnehmer, bezogen auf das Langzeitgedächtnis. Der p-Wert liegt bei beiden Regressionen unterhalb des üblichen Niveaus von 0,05. Vergleicht man die Koeffizienten beider Modelle, fällt auf, dass sowohl die Steigungen als auch die Achsenschnittpunkte dicht beieinander liegen. Die geringen Differenzen könnten durch die Abhängigkeit der beiden *scores* bedingt sein, da der *lenient score* aufgrund seiner Definition immer größer oder gleich dem *strict score* sein muss. Darüber hinaus ist in beiden Modellen zu erkennen, dass die

geschätzten Fehler deutlich unterhalb ihrer Koeffizienten liegen, was für die Güte des Modells spricht. Zudem wird deutlich, dass sich der Lernerfolgswachstums (die Veränderung der *scores*) in beiden Modellen nahezu proportional zum Engagement verhält (siehe Beta 1 in M1 und M2). Die Erklärungsbeiträge (M1: 17,36% und M2: 20,65%) sind unter Berücksichtigung der Komplexität des Lernprozesses [2], [3] erwähnenswert und zeigen laut Cohen (1992) eine mittlere Effektstärke [33].

## VI. DISKUSSION

In dieser Studie wurde untersucht inwieweit sich das Engagement der Nutzer eines VGP auf die Lernleistung auswirkt. Für die Kurzzeitabfrage, welche direkt nach dem Experiment durchgeführt wurde, zeigte sich in der Korrelationsanalyse kein signifikanter Zusammenhang. Im Gegensatz dazu, wurde für die Langzeitabfrage ein signifikantes Ergebnis gefunden und der Einfluss des Engagements auf die Lernleistung als lineares Modell gerechnet. Die Erklärungsbeiträge der Regressionen sind mit ca. 20% auf einem Niveau, welches weitere Forschung zur Steigerung des Engagements im Kontext eines VGP begründet.

Dennoch müssen im Rahmen dieser Studie auf Limitationen erwähnt werden. Die Anzahl der Teilnehmer sollte für ein belastbareres Ergebnis noch erhöht werden. Darüber hinaus sollte eine höhere Diversität ebenfalls angestrebt werden, da hier überwiegend Studierende teilgenommen haben. Auf diese Weise wären die Resultate besser auf die Allgemeinheit übertragbar.

Zusammengefasst wird aufgrund der Ergebnisse dieser Studie empfohlen, den Faktor Engagement als zentrales Element in der Gestaltung eines VGP – Konzepts mit einzubeziehen und sich zu überlegen welche Eigenschaften und Elemente mehr Engagement beim Nutzer hervorbringen können. Beispielsweise könnten Ansätze aus dem Bereich *Gamification* dafür geeignet sein [34]. Die Vergabe von Punkten oder die Möglichkeit seine eigene Lernleistung über die Dauer nachvollzuziehen zu können, könnte bereits ein gesteigertes Engagement zur Folge haben.

## REFERENCES

[1] F. A. Yates, *The art of memory*. London ; New York: Routledge, 1999.

[2] D. R. Krathwohl, „A Revision of Bloom’s Taxonomy: An Overview“, *Theory Into Practice*, Bd. 41, Nr. 4, S. 212–218, Nov. 2002.

[3] B. S. Bloom, M. D. Engelhart, E. J. Furst, W. H. Hill, und D. R. Krathwohl, *Taxonomy of Educational Objectives, Handbook I: The Cognitive Domain*. New York: David McKay Co Inc., 1956.

[4] M. K. Hartwig und J. Dunlosky, „Study strategies of college students“, *Psych. Bulletin & Review*, Bd. 19, Nr. 1, S. 126–134, 2012.

[5] J. A. McCabe, „Location, Location, Location! Demonstrating the Mnemonic Benefit of the Method of Loci“, *Teaching of Psychology*, Bd. 42, Nr. 2, S. 169–173, Apr. 2015.

[6] A. L. Putnam, „Mnemonics in education: Current research and applications.“, *Translational Issues in Psychological Science*, Bd. 1, Nr. 2, S. 130–139, 2015.

[7] Y. Brehmer, S.-C. Li, V. Mueller, T. von Oertzen, und U. Lindenberger, „Memory plasticity across the life span: Uncovering children’s latent potential.“, *Developmental Psychology*, Bd. 43, Nr. 2, S. 465–478, 2007.

[8] H. L. Roediger, „The effectiveness of four mnemonics in ordering recall.“, *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, Bd. 6, Nr. 5, S. 558, 1980.

[9] E. A. Maguire, E. R. Valentine, J. M. Wilding, und N. Kapur, „Routes to remembering: the brains behind superior memory“, *Nature Neuroscience*, Bd. 6, Nr. 1, S. 90–95, Dez. 2002.

[10] M. Dresler u. a., „Mnemonic Training Reshapes Brain Networks to Support Superior Memory“, *Neuron*, Bd. 93, Nr. 5, S. 1227–1235.e6, März 2017.

[11] J.-P. Huttner und S. Robra-Bissantz, „An Immersive Memory Palace: Supporting the Method of Loci with Virtual Reality“, in *Americas Conference on Information Systems. 2017. Proceedings*, 2017.

[12] J.-P. Huttner und K. Robbert, „The Role of Mental Factors for the Design of a Virtual Memory Palace“, in *Americas Conference on Information Systems. 2018. Proceedings*, 2018, S. 5.

[13] J.-P. Huttner, K. Robbert, und S. Robra-Bissantz, „Immersive Ars Memoria: Evaluating the Usefulness of a Virtual Memory Palace“, in *Proceedings of the 52nd Hawaii International Conference on System Sciences*, 2019.

[14] J.-P. Huttner, Z. Qian, und S. Robra-Bissantz, „A Virtual Memory Palace And The User’s Awareness Of The Method Of Loci“, In *Proceedings of the 27th European Conference on Information Systems (ECIS)*, Stockholm & Uppsala, Sweden, June 8-14, 2019.

[15] E. L. G. Legge, C. R. Madan, E. T. Ng, und J. B. Caplan, „Building a memory palace in minutes: equivalent memory performance using virtual versus conventional environments with the Method of Loci“, *Acta Psychol (Amst)*, Bd. 141, Nr. 3, S. 380–390, Nov. 2012.

[16] T. Jund, A. Capobianco and F. Larue, "Impact of Frame of Reference on Memorization in Virtual Environments," *2016 IEEE 16th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)*, Austin, TX, 2016, pp. 533-537.

[17] E. Fassbender und W. Heiden, „The virtual memory palace“, *Journal of Computational Information Systems*, Bd. 2, Nr. 1, S. 457–464, 2006.

[18] A. Hedman und P. Bäckström, „Rediscovering the Art of Memory in Computer Based Learning—An Example Application“, *Proceedings of The 1st International Workshop on 3D Virtual Heritage*, Geneva, Switzerland, 2000.

[19] B. G. Witmer und M. J. Singer, „Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire“, *Teleoperators and Virtual Environments*, Bd. 7, Nr. 3, S. 225–240, 1998.

[20] C. Dede, „Immersive Interfaces for Engagement and Learning“, *Science*, Bd. 323, Nr. 5910, S. 66–69, Jan. 2009.

[21] R. Jacques, „Engagement as a design concept for multimedia“, *Canadian Journal of Educational Communication*, Bd. 24, Nr. 1, S. 49–59, 1995.

[22] J. Webster und J. S. Ahuja, „Enhancing the design of web navigation systems: The influence of user disorientation on engagement and performance“, *Mis Quarterly*, S. 661–678, 2006.

[23] J. N. Bailenson, N. Yee, J. Blascovich, A. C. Beall, N. Lundblad, und M. Jin, „The Use of Immersive Virtual Reality in the Learning Sciences: Digital Transformations of Teachers, Students, and Social Context“, *Journal of the Learning Sciences*, Bd. 17, Nr. 1, S. 102–141, Feb. 2008.

[24] J. Bailey, J. N. Bailenson, A. S. Won, J. Flora, und K. C. Armel, „Presence and Memory: Immersive Virtual Reality Effects on Cued Recall“, *Proceedings of the International Society for Presence Research Annual Conference*. October 24-26, Philadelphia, Pennsylvania, USA.

[25] F. S. Bellezza, „Mnemonic devices: Classification, characteristics, and criteria“, *Review of Educational Research*, Bd. 51, Nr. 2, S. 247–275, 1981.

[26] P. Kanske und S. A. Kotz, „Leipzig Affective Norms for German: A reliability study“, *Behavior Research Methods*, Bd. 42, Nr. 4, S. 987–991, Nov. 2010.

[27] A. Paivio, „The Empirical Case For Dual Coding“, in *Imagery, Memory and Cognition*, 1983, S. 307–332.

[28] A. Paivio und W. Lambert, „Dual coding and bilingual memory“, *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, Bd. 20, Nr. 5, S. 532–539, 1981.

[29] A. Paivio und J. M. Clark, „Dual Coding Theory and Education“, *Educational Psychology Review*, Bd. 3, Nr. 3, S. 149–210, 1991.

[30] J.-P. Huttner, D. Pfeiffer, und S. Robra-Bissantz, „Imaginary Versus Virtual Loci: Evaluating the Memorization Accuracy in a Virtual Memory Palace“, in *Proceedings of the 51st Hawaii International Conference on System Sciences*, 2018.

[31] J. F. Hair, W. C. Black, B. J. Babin, und R. E. Anderson, *Multivariate Data Analysis*. Harlow, Essex: Pearson, 2013.

[32] H. Ebbinghaus, *Über das Gedächtnis. Untersuchungen zur experimentellen Psychologie*. Leipzig: Duncker & Humblot, 1885.

[33] J. Cohen, „Quantitative Methods In Psychology“, *Psychological Bulletin*, Bd. 112, Nr. 1, S. 155–159, 1992.

[34] S. Nicholson, „A Recipe for Meaningful Gamification“, In: Reiners T., Wood L. (eds) *Gamification in Education and Business*. Springer, Cham 2015.

# (How) Can I help you? Emotion-Reaction-Guidelines for the Stationary Retail

## (Wie) Kann ich Ihnen helfen? Emotions-Reaktions-Guidelines für den stationären Einzelhandel

Michael Meyer, Patrick Helmholz, Friedrich Temps, Susanne Robra-Bissantz  
Technische Universität Braunschweig, Institut für Wirtschaftsinformatik, Abteilung Informationsmanagement  
Braunschweig, Germany, {m.meyer, p.helmholz, f.temps, s.robra-bissantz}@tu-braunschweig.de

**Abstract** — The digital transformation leads to a change in society and everyday life. Smartphones in particular offer customers new opportunities that result in changes in their behavior and expectations. One industry that is struggling with this digital transformation is stationary retail. While online retailing is recording rising sales, stationary retailing is continuously losing customers. One way to address this is to further expand the benefits of stationary retailing. The aim of this article is to design emotion-response guidelines for emphatic customer advice in stationary retailing. In order to approach this research goal, five retailers from the stationary retail sector were interviewed. The results of the interviews were evaluated on the basis of the human-emotion-based Circumplex-Model-of-Affect and classified into four emotional quadrants. The evaluation shows that the identification of stressed and annoyed customers has the highest priority in stationary retailing.

**Zusammenfassung** — Die digitale Transformation führt zu einem Umschwung in der Gesellschaft und im Alltag. Vor allem Smartphones bieten Kunden neue Möglichkeiten, welche zu Veränderungen in deren Verhalten sowie deren Erwartungshaltung führen. Eine Branche, die mit dieser digitalen Transformation zu kämpfen hat, ist der stationäre Einzelhandel. Während der Onlinehandel steigende Umsätze verzeichnet, verliert der stationäre Einzelhandel kontinuierlich Kunden. Eine Möglichkeit, sich dem zu stellen, besteht darin, die Vorteile des stationären Einzelhandels weiter auszubauen. Ziel dieses Beitrags ist die Gestaltung von Emotions-Reaktions-Guidelines für eine emphatische Kundenberatung im stationären Einzelhandel. Um sich diesem Forschungsziel zu nähern, wurden fünf Händler aus dem stationären Einzelhandel interviewt. Die Ergebnisse der Interviews wurden in Anlehnung an das emotionsbasierte Circumplex-Modell-of-Affect ausgewertet und in vier Emotionsquadranten eingeteilt. Dabei zeigt sich, dass das Erkennen von gestressten und gereizten Kunden höchste Priorität im stationären Einzelhandel hat.

### I. EINLEITUNG

Die digitale Transformation zeigt sich als technologischer und gesellschaftlicher Veränderungsprozess. Dabei werden sowohl geschäftliche als auch private Bereiche tangiert. Im Mittelpunkt dieser Transformation steht der Wandel vom Analogen zum Digitalen [1]. Dabei lässt sich eine Veränderung von Geschäftsmodellen, Wertschöpfungsnetzen, Beziehungen und Prozessen beobachten, welche von digitalen Technologien in Form von Informationssystemen angestoßen wird [2]. Typische Treiber dieses Wandels sind der stetige Ausbau des Internets sowie die zunehmende Verbreitung von smarten mobilen Endgeräten. Die allumfängliche Nutzung des Internets ist in Westeuropa mittlerweile zum Standard geworden. Aktuell verfügen dort über 92% der Menschen über einen Internetzugang und mehr als 75% kaufen regelmäßig online ein [3].

Eine Branche, welche mit der digitalen Transformation zu kämpfen hat, ist der stationäre Einzelhandel. Während der Onlinehandel beispielsweise in Deutschland stetig wächst (+15,3% von 2017 auf 2018), stagniert der stationäre Einzelhandel mit einem geringen Wachstum von 1,8% [4]. Ausgehend von der kritischen Situation des Einzelhandels und mit Blick auf die neuen durch die digitale Transformation gegebenen Potentiale, versucht dieses Paper zwei Fragen zu beantworten: Zum einen „*Welche Emotionen treten im Kaufprozess auf?*“ und zum anderen „*Wie kann der Händler auf diese Emotionen reagieren?*“. Ziel ist es, Emotions-Reaktions-Guidelines für eine emphatische Kundenberatung im stationären Einzelhandel zu gestalten. Um die Forschungsfragen zu

beantworten und sich dem Forschungsziel zu nähern, ist der Aufbau dieses Papers wie folgt: Nachdem in Kapitel II die aktuelle Situation des Einzelhandels als Problemstellung und die Motivation des Papers dargelegt werden, wird in Kapitel III die Wichtigkeit und der Einfluss von Emotionen erläutert. In Kapitel IV findet schließlich die Beschreibung und Auswertung der qualitativen Erhebung statt. Das Paper schließt mit dem Fazit in Kapitel V ab, in welchem die Theorie und die Ergebnisse der Erhebung zusammengefasst werden. Zudem wird ein Ausblick auf anschließende Forschungstätigkeiten gegeben.

### II. TRANSFORMATION IM EINZELHANDEL

Die aktuell schwierige Situation im stationären Einzelhandel ist zu großen Teilen auf die digitale Transformation zurückzuführen [5]–[7]. Dabei zeigen sich eine rückläufige Kundenfrequenz und entsprechend stagnierende Umsatzzahlen. Händlerseitig werden oftmals der mangelnde Wissensstand bezüglich der digitalen Transformation sowie der Mangel an geschultem Personal als größte Probleme genannt [8].

Das anhaltende Wachstum des Onlinehandels macht ein Umdenken des stationären Einzelhandels an die neuen Gegebenheiten unabdingbar [6], [7]. Der Bearbeitung dieses Sachverhalts haben sich bereits verschiedene Forschungsprojekte angenommen. Dabei konnten unterschiedliche Potentiale wie die Schaffung neuer Werte und die Verbesserung der Beziehung zwischen Kunde und Händler herausgearbeitet werden [7], [9]. Speziell Kunde-Händler-Beziehungen haben sich in den vergangenen Jahren durch den verstärkten Einsatz digitaler Technologien stark verändert. Moderne Kunden sind besser informiert und erwarten ein

personalisiertes und situationsbezogenes Einkaufserlebnis [10]. Moderne Smartphones ermöglichen einen nahezu zeit- und ortsunabhängigen Zugang zum Internet. Dabei bieten sich dem Kunden vielfältige Möglichkeiten situationsspezifische Informationen zu rezipieren [11]. Smartphones sorgen somit für ein verändertes Kundenverhalten und eine veränderte Erwartungshaltung [12].

Der stationäre Einzelhandel weist branchentypische Vor- und Nachteile auf. Bedingt durch die räumlichen Restriktionen, ist der stationäre Einzelhandel nicht in der Lage die gleiche Sortimentsbreite und -tiefe zu bieten wie es im Online-Handel möglich ist. Weiterhin ergeben sich zeitliche Nachteile im stationären Einzelhandel, da dieser durch Öffnungszeiten in seiner Verfügbarkeit limitiert ist. Dementgegen kann es über einen digitalen Kanal in einem Onlineshop jederzeit und von überall zu einem Kaufabschluss kommen [13]. Als Vorteil für den stationären Einzelhandel werden die Qualifikation des Verkaufspersonals sowie die damit verbundene fachliche Betreuung wahrgenommen [14]. Weiterhin verbinden Kunden mit dem „einkaufen gehen“ nicht nur den Kauf eines Produkts, sondern auch die Befriedigung anderer Bedürfnisse. Dabei zeigen Kunden ein Bedürfnis nach Unterhaltung, Erholung, Anregung und sozialer Interaktion [15]. Die Möglichkeit mit dem Verkaufspersonal sozial zu interagieren stellt sich dabei als einer der Hauptvorteile des stationären Einzelhandels dar. Positive Folgen einer gelungenen Interaktion zwischen Händler und Kunde sind ein erhöhtes Vertrauen, eine gestärkte Bindung sowie ein verbesserter Komfort in zukünftig folgenden Interaktionen [16], [17].

Um den stationären Einzelhandel nachhaltig zu unterstützen und seine Position gegenüber dem wachsenden Onlinehandel zu festigen, konzentriert sich dieser Beitrag auf die bereits vorhandenen Stärken des stationären Einzelhandels. Dabei wird aufgezeigt, wie die Interaktion zwischen Händler und Kunde ausgebaut und intensiviert werden kann, um eine langfristige Kundenbeziehung zu fördern.

### III. KUNDENEMOTIONEN

Eine Emotion ist eine Reaktion des menschlichen Körpers auf einen auftretenden Reiz, beispielsweise ein Ereignis von bestimmter Bedeutung. Erlebte Emotionen führen zu einer hohen mentalen Aktivität und werden dabei als positiv oder negativ empfunden [18]. Über innere Zustände wie Emotionen ist es möglich, einen Einblick in die Situation eines Kunden sowie dessen Bedürfnisse zu erhalten [19]. Emotionen sind typische menschliche Eigenschaften, die eine Vielzahl an Aspekten des Lebens beeinflussen. Dabei lassen sich im Allgemeinen die Wahrnehmung, rationales Denken sowie die Entscheidungsfindung nennen [20], [21]. Weiterhin ermöglichen es Emotionen, zwischenmenschlich angemessen zu handeln und effizient zu kommunizieren [22], [23]. Im Kontext des stationären Einzelhandels ist die emotionale Situation des Kunden verantwortlich für dessen Verhalten und Zufriedenheit [24], [25].

Das Verkaufspersonal im stationären Einzelhandel fungiert als kritisches Bindeglied zwischen dem Unternehmen und dem Kunden. Es hat starken Einfluss darauf, ob Kunden sich im Rahmen ihres Besuchs im Geschäft wohlfühlen oder nicht. Die Interaktion mit dem Händler kann dabei positive Emotionen beim Kunden auslösen, da soziale Bedürfnisse erfüllt werden [26]. Weiterhin zeigen Kunden mit positiven Emotionen in der Regel eine höhere Zufriedenheit sowie eine verbesserte Loyalität [27]–[29]. Um eine nachhaltige Beziehung zum Kunden aufzubauen, ist es daher wichtig, ein Umfeld zu schaffen, in dem sich dieser wohlfühlt [26], [30].

Die Fähigkeit, Emotionen zu erkennen und zu verstehen - sowohl von sich selbst als auch von anderen - wird als

emotionale Intelligenz bezeichnet. Wichtige Bestandteile der emotionalen Intelligenz sind die Beurteilung und der Ausdruck von Emotionen, was sich auch mit dem Begriff *Empathie* beschreiben lässt [31], [32].

Um emotionale Zustände zu erfassen und abzuleiten, gibt es eine Vielzahl an Methoden. Einige dieser Methoden können bereits außerhalb von Laborbedingungen und mit Hilfe von Smartphones durchgeführt werden. Emotionsmessung kann hierbei grob in optische, akustische, vitaldaten- und verhaltensbasierte Verfahren unterteilt werden [33]. Mit diesen Methoden ergeben sich je nach Art der Messung unterschiedliche Einsatzmöglichkeiten. So kann beispielsweise eine optische Erkennung kaum stattfinden, wenn die beobachtete Person in zu starker Bewegung ist. Im Gegensatz dazu hat eine Messung über den Puls (vitaldatenbasiert) damit keine Schwierigkeiten. Darüber hinaus stellt die Selbsteinschätzung (Self-Assessment) eine weitere etablierte Methode dar, um den aktuellen emotionalen Zustand einer Person zu bestimmen. Hierbei kommen, um Erkenntnisse zu gewinnen, Fragebögen in unterschiedlichster Form zum Einsatz. Einige dieser Fragebögen präsentieren Wörter wie Adjektive zur Beschreibung von Emotionen [34], andere verwenden Bilder, Piktogramme oder Emoticons, um eine emotionale Skala zu erzeugen [35], [36].

Durch die Beurteilung der emotionalen Situation des Kunden sollen im Rahmen dieses Beitrags Unterstützungsmöglichkeiten für den stationären Einzelhandel aufgezeigt werden. Somit sollen bestimmte Kundensituationen besser verstanden und interpretiert werden. Um sich dieser empathischen Beratungsstrategie zu nähern, reicht es nicht aus Emotionen zu messen. Es ist notwendig, eine adäquate Reaktion auf die emotionale Situation des Kunden zu gestalten. Das Verkaufspersonal kann auf Basis der erarbeiteten Emotions-Reaktions-Guidelines seine Beratungsstrategien an die aktuelle emotionale Situation des Kunden anpassen. Eine empathische Beratung bietet die Möglichkeit, das Einkaufserlebnis zu verbessern und eine nachhaltige Kundenbeziehung aufzubauen [20], [24].

### IV. HÄNDLER IM INTERVIEW

Im Rahmen dieses Beitrags wurden fünf Händler aus dem stationären Einzelhandel einer deutschen Großstadt interviewt. Die Händler wurden dabei aus verschiedenen Branchen ausgewählt und verfügten jeweils über mehrjährige Berufserfahrung. Für die Beantwortung der eingangs genannten Fragestellungen wurde als Erhebungsmethode das leitfadensbasierte, explorative Experteninterview gewählt [37]. Die Interviews wurden aufgezeichnet und im Anschluss transkribiert und codiert [38], [39]. Zunächst soll geklärt werden, welche Arten von Emotionen im Kaufprozess vorkommen. Um eine Einordnung der Emotionen sowie einen Vergleich mit der Theorie zu gewährleisten, wird zunächst ein Emotionsmodell eingeführt. Als eines der meistzitiertesten und anerkanntesten Emotionsmodelle hat sich das Circumplex-Modell-of-Affect von Russell aus dem Jahr 1980 etabliert. Die in dem Modell enthaltenen Dimensionen Erregung (Arousal) und Valenz (Pleasure) ermöglichen eine kreisförmige Anordnung der Emotionen. Die Dimension der Erregung gibt dabei den Grad der Aktivierung einer Person an und reicht von niedrig bis hoch, während die Dimension der Valenz die emotionale Positivität anzeigt, die von negativ bis positiv reicht. Somit ist das Modell in der Lage, jeden emotionalen Zustand in Form eines bestimmten Grads dieser beiden Dimensionen darzustellen [40]. Die im Modell aufgetragenen Emotionen lassen sich in die vier Quadranten Q1 - Angry, Q2 - Happy, Q3 - Sad und Q4 - Relaxed unterteilen (siehe Abb. 1).



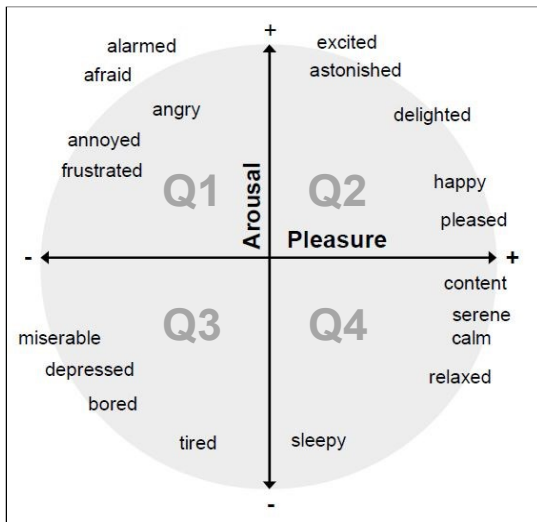


Abb. 1. Klassifikation der menschlichen Emotionen nach Russell (1980)

In Tabelle 1 wurden die Informationen der Interviews nach den Quadranten des Emotionsmodells aufgetragen. Hierbei zeigt sich, dass im Kaufprozess grundsätzlich alle Arten von Emotionen vorkommen können (Forschungsfrage 1).

TABELLE I. EMOTIONEN IM KAUFPROZESS

Vorkommen von Emotionen	
Quadrant	Konkretisierung
Q1- Angry	- Verärgerung (Produkt leer) - Frustration (mit Produkt) - Angst (Kunde will nicht angesprochen werden)
Q2 - Happy	- Freude (während des Kaufprozesses) - Überraschung (über ein Produkt) - Vorfreude (für Produkt) - Interesse (am Produkt) - Glück (über Produkt und Verkaufsprozess)
Q3 - Sad	- Bedenklichkeit/Befürchtung (Risiken) - Langeweile (Kinder, Partner) - Trauer (Jemand ist gestorben) - Unzufriedenheit (mit Produkt) - Erschöpft (bei der Ankunft)
Q4 - Relaxed	- Anerkennung (gegenüber Verkäufer und Produkt) - Neugier (auf ein Produkt) - Erwartung (an Produkt, Verkäufer und Geschäft) - Gelassenheit (bezüglich eines Produkts)

Neben dem Auftreten verschiedener Emotionen im Kaufprozess wurden in den Interviews Emotions-Reaktions-Guidelines für den Umgang der Händler mit diesen Emotionen erarbeitet (Forschungsfrage 2). Die Ergebnisse lassen sich dabei in Guidelines für positive und negative Emotionen unterteilen. Tabelle 2 zeigt die Guidelines für die positiven Emotionsquadranten Q2 - Happy und Q4 - Relaxed.

TABELLE II. POSITIVE EMOTIONEN

Quadrant	Guideline
Q2 - Happy	- Freundliche Begrüßung - Auf den Kunden eingehen - Verhalten spiegeln und humorvoll sein - Versuchen, den Zustand zu potenzieren - Verkaufsgespräch darf etwas hektischer sein - Mehrere Produkte dürfen präsentiert werden
Q4 - Relaxed	- Freundliche Begrüßung - Auf den Kunden zugehen, zuhören, auf ihn eingehen - Gespräch aufnehmen - Verhalten spiegeln und freundlich sein - Ruhe und Kompetenz ausstrahlen - Möglichst versuchen den Zustand nicht zu verändern - Produkte empfehlen

Tabelle 3 zeigt die Guidelines für die Emotionsquadranten Q1 - Angry und Q3 - Sad und bildet damit das negative Spektrum der Emotionen ab.

TABELLE III. NEGATIVE EMOTIONEN

Quadrant	Guideline
Q1- Angry	- Freundliche Begrüßung - Erkennen, dass der Kunde „gestresst ist“ und auf den Kunden zugehen - Verständnis ausstrahlen - Die Problematik bzw. den Grund für das gestresst sein erforschen/erfragen - Hilfe anbieten - Ruhige und langsamere Kommunikation (sich selbst reduzieren) - Fokussierung auf und Präsentation weniger Produkte - Raum für Frustration bieten und zuhören - Situation versuchen zu entschärfen - Lösungsvorschläge liefern - Den Kunden informieren und aufklären (Glaubwürdigkeit ausstrahlen und Vertrauen aufbauen) - Kunden, die in Ruhe gelassen werden wollen, in Ruhe lassen - Stress entgegenwirken, indem z.B. eine weitere Kasse geöffnet wird
Q3 - Sad	- Freundliche Begrüßung - Auf den Kunden zugehen und auf ihn eingehen - Getränk (Wasser, Kaffee, Espresso) oder Süßigkeit anbieten - Sitzmöglichkeit anbieten - Jacke abnehmen - Versuchen, den Kunden zu entspannen - Gespräch mit dem Kunden aufnehmen - Zuhören und Freundlichkeit ausstrahlen - Langeweile der Beteiligten möglichst in positive Emotionen umwandeln (z.B. Kindern Spielmöglichkeit bieten, Süßigkeit anbieten)

Durch die Auswertung der Interviews zeigt sich, dass die Menge an Guidelines bei negativen Emotionen (Q1, Q3) deutlich größer ist als bei positiven Emotionen (Q2, Q4). Dies lässt sich dadurch erklären, dass negative Emotionen Kaufabbrüche verursachen und bleibende Schäden für die Kundenbeziehung hinterlassen können. Darüber hinaus kann das Erleben von negativen Emotionen dazu führen, dass Kunden das Unternehmen, den Standort, Produkte und Services sowie Mitarbeiter zukünftig vermeiden [41]. Im Zuge der Erhebung zeigt sich weiterhin, dass der Emotionsquadrant Q3 - Sad seltener vorkommt als der Emotionsquadrant Q1 - Angry. Gerade das Erkennen von gestressten und gereizten Kunden und die darauf passende Reaktion sollte somit höchste Priorität im stationären Einzelhandel haben. Gelingt es dem Händler, den Kunden im Zuge der Interaktion in einen entspannten bis glücklichen Zustand zu versetzen, kann dies zu einem positiven Käuferlebnis führen. Das kann wiederum positive Auswirkungen auf die langfristige Kundenbeziehung haben [29]. Positive Emotionen der Kunden sollten verstärkt oder nach Möglichkeit nicht verändert werden. Der Fokus für die Einzelhändler sollte hierbei darauf liegen, selbst ein positives Verhalten anzunehmen und so das Verhalten des Kunden zu spiegeln.

## V. FAZIT UND AUSBLICK

Der zunehmende Digitalisierungsgrad führt zu einem Umschwung in Gesellschaft und Alltag sowie zu neuen Herausforderungen für den stationären Einzelhandel [6]. Vor allem Smartphones bieten Kunden neue Möglichkeiten, welche zu Veränderungen in ihrem Verhalten sowie ihrer Erwartungshaltung führen [12]. Um den stationären Einzelhandel zu unterstützen, soll dessen Stärke, die soziale

Interaktion zwischen Kunden und Händler, weiter ausgebaut werden [17]. Emotionen können einen weiten Einblick in die Situation des Kunden und damit seine Bedürfnisse geben [19]. Dieses Paper rät daher zu einer empathischen Unterstützung der Interaktion zwischen Händler und Kunde. Auf Basis von Emotions-Reaktions-Guidelines soll der Einzelhändler bei seiner Interaktion mit dem Kunden unterstützt werden. Ziel ist dabei, eine langfristige Beziehungen zum Kunden aufzubauen [26]. Mit Hilfe von Experteninterviews konnten Erkenntnisse über das Auftreten von Emotionen im stationären Einzelhandel gewonnen werden. Weiterhin war es möglich, erste Emotions-Reaktions-Guidelines zu erstellen, welche Einzelhändlern helfen können, auf bestimmte Emotionen von Kunden zu reagieren. Dabei konnte gezeigt werden, dass besonders die negativen Emotionsquadranten (Q1, Q3) ein breites Portfolio an Guidelines hervorbringen. Nächste Schritte sind die Befragung weiterer Einzelhändler und das Ableiten weiterer Emotions-Reaktions-Guidelines. Außerdem muss eine Verifikation der Guidelines durch eine Kundenbefragung durchgeführt werden. Langfristig sollen die vielfältigen technologischen Möglichkeiten der Emotionsmessung genutzt werden, um einen digitalen Unterstützungsdienst zur Verbesserung der Händler-Kunden-Interaktion zu gestalten.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] M. Bruhn und G. Heinemann, „Entwicklungsperspektiven im Handel – Thesen aus der ressourcen- und beziehungsorientierten Perspektive“, in *Handel in Theorie und Praxis*, G. Crockford, F. Ritschel, und U.-M. Schmieder, Hrsg. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2013, S. 29–67.
- [2] S. Robra-Bissantz, „Entwicklung von innovativen Services in der Digitalen Transformation“, in *Service Business Development*, M. Bruhn und K. Hadwich, Hrsg. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2018, S. 261–288.
- [3] European Ecommerce Association, „European Ecommerce Report 2018 Edition“, 2018.
- [4] Handelsverband Deutschland, „Handel digital - Online-Monitor 2018“, Handelsverband Deutschland, Berlin, 2018.
- [5] C. Dennis, C. Jayawardhena, und E. K. Papamatthaiou, „Antecedents of internet shopping intentions and the moderating effects of substitutability“, *International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, Bd. 20, Nr. 4, S. 411–430, 2010.
- [6] N. F. Doherty und F. Ellis-Chadwick, „Evaluating the role of electronic commerce in transforming the retail sector“, *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, 2010.
- [7] J. Hagberg, M. Sundstrom, und N. Egels-Zandén, „The digitalization of retailing: an exploratory framework“, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Bd. 44, Nr. 6, S. 336–368, 2016.
- [8] IFH Institut für Handelsforschung GmbH, „Wie die Digitale Transformation die Anforderungen an das Personal verändert“. 2016.
- [9] M. Meyer, P. Helmholz, und S. Robra-Bissantz, „Digital Transformation in Retail: Can Customer Value Services enhance the Experience?“, in *31th Bled eConference Digital Transformation – Meeting the Challenges*, Bled, Slovenia, 2018, S. 291–300.
- [10] J. Härtfelder und A. Winkelmann, „Opportunities and Challenges for Local Retailing in an Environment Dominated by Mobile Internet Devices – Literature Review and Gap Analysis“, in *Proceedings der Multikonferenz Wirtschaftsinformatik*, Ilmenau, 2016, S. 33–44.
- [11] A. Rohm und F. Sultan, „An exploratory cross-market study of mobile marketing acceptance“, *International Journal of Mobile Marketing*, Bd. 1, S. 4–12, Jan. 2006.
- [12] M. Blazquez, „Fashion Shopping in Multichannel Retail: The Role of Technology in Enhancing the Customer Experience“, *International Journal of Electronic Commerce*, Bd. 18, S. 97–116, Juni 2014.
- [13] S. Zaharia, *Multi-Channel-Retailing und Kundenverhalten: wie sich Kunden informieren und wie sie einkaufen*. BoD – Books on Demand, 2006.
- [14] D. Brokelmann, *Der vernetzte Laden: wie der stationäre Handel den Kampf der Kanäle gewinnen kann*, Bd. 1. ContentCard, 2015.
- [15] L. Ciabattoni, E. Frontoni, D. Liciotti, M. Paolanti, und L. Romeo, „A sensor fusion approach for measuring emotional customer experience in an intelligent retail environment“, in *2017 IEEE 7th International Conference on Consumer Electronics - Berlin (ICCE-Berlin)*, 2017, S. 67–68.
- [16] C. Grönroos, „A service perspective on business relationships: The value creation, interaction and marketing interface“, *Industrial Marketing Management*, Bd. 40, Nr. 2, S. 240–247, Feb. 2011.
- [17] B. A. Gutek, A. D. Bhappu, M. A. Liao-Troth, und B. Cherry, „Distinguishing between service relationships and encounters.“, *Journal of Applied Psychology*, Bd. 84, Nr. 2, S. 218–233, 1999.
- [18] M. Cabanac, „What is emotion?“, *Behavioural Processes*, Bd. 60, Nr. 2, S. 69–83, Nov. 2002.
- [19] S. Brave und C. Nass, „The Human-computer Interaction Handbook“, J. A. Jacko und A. Sears, Hrsg. Hillsdale, NJ, USA: L. Erlbaum Associates Inc., 2003, S. 81–96.
- [20] S. S. Hussain, C. Peter, und G. Bieber, „Emotion Recognition on the Go: Providing Personalized Services based on Emotional State“, in *International Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Bonn, 2009, S. 1–4.
- [21] R. W. Picard, „Affective computing“, M.I.T. Media Laboratory Perceptual Computing Section Technical Report 321, 1995.
- [22] D. Keltner und J. Haidt, „Social Functions of Emotions at Four Levels of Analysis“, *Cognition and Emotion*, Bd. 13, Nr. 5, S. 505–521, Sep. 1999.
- [23] B. Parkinson, „Emotions are social“, *British Journal of Psychology*, Bd. 87, Nr. 4, S. 663–683, 1996.
- [24] A. Heyes und S. Kapur, „Angry customers, e-word-of-mouth and incentives for quality provision“, *Journal of Economic Behavior & Organization*, Bd. 84, Nr. 3, S. 813–828, Dez. 2012.
- [25] W. van Dolen, K. de Ruyter, und J. Lemmink, „An empirical assessment of the influence of customer emotions and contact employee performance on encounter and relationship satisfaction“, *Journal of Business Research*, Bd. 57, Nr. 4, S. 437–444, Apr. 2004.
- [26] S. Lee und A. Dubinsky, „Influence of salesperson characteristics and customer emotion on retail dyadic relationships“, *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research*, Bd. 13, Nr. 1, S. 21–36, Jan. 2003.
- [27] K. E. Reynolds und S. E. Beatty, „A relationship customer typology“, *Journal of Retailing*, Bd. 75, Nr. 4, S. 509–523, Dez. 1999.
- [28] D. J. Burns und L. Neisner, „Customer satisfaction in a retail setting: The contribution of emotion“, *International Journal of Retail & Distribution Management*, Bd. 34, Nr. 1, S. 49–66, Jan. 2006.
- [29] Y. Yu und A. Dean, „The contribution of emotional satisfaction to consumer loyalty“, *Int J of Service Industry Mgmt*, Bd. 12, Nr. 3, S. 234–250, Aug. 2001.
- [30] R. Faullant, *Psychologische Determinanten der Kundenzufriedenheit: der Einfluss von Emotionen und Persönlichkeit*, 1. Aufl. Wiesbaden: Dt. Univ.-Verl, 2007.
- [31] J. D. Mayer und G. Geher, „Emotional intelligence and the identification of emotion“, *Intelligence*, Bd. 22, Nr. 2, S. 89–113, März 1996.
- [32] P. Salovey und J. D. Mayer, „Emotional Intelligence“, *Imagination, Cognition and Personality*, Bd. 9, Nr. 3, S. 185–211, März 1990.
- [33] M. Meyer, P. Helmholz, M. Rupperecht, J. Seemann, und T. Tönnishoff, „From the Inside Out - A Literature Review on Possibilities of Mobile Emotion Measurement and Recognition“, in *32nd Bled eConference - Humanizing Technology for a Sustainable Society*, Bled, Slovenia, 2019, S. 719–743.
- [34] C. E. Izard, *Human Emotions*. Springer, Boston, MA, 1977.
- [35] M. M. Bradley und P. J. Lang, „Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential“, *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, Bd. 25, Nr. 1, S. 49–59, März 1994.
- [36] A. Meschtscherjakov, A. Weiss, und T. Scherndl, „Utilizing Emoticons on Mobile Devices within ESM studies to Measure Emotions in the Field“, in *Proceedings of the 11th Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services*, Bonn, 2009, S. 4.
- [37] J. Gläser und G. Laudel, *Experteninterviews und qualitative Inhaltsanalyse: als Instrumente rekonstruierender Untersuchungen*, 4. Aufl. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2010.
- [38] J. Saldaña, *The coding manual for qualitative researchers*, 2nd ed. Los Angeles: SAGE, 2013.
- [39] U. Kuckartz, T. Dresing, S. Rädiker, und C. Stefer, *Qualitative Evaluation: Der Einstieg in die Praxis*, 2. Aufl. VS Verlag für Sozialwissenschaften, 2008.
- [40] J. A. Russell, „A circumplex model of affect“, *Journal of Personality and Social Psychology*, Bd. 39, Nr. 6, S. 1161–1178, 1980.
- [41] V. Funches, „The consumer anger phenomena: causes and consequences“, *Journal of Services Marketing*, Bd. 25, Nr. 6, S. 420–428, Sep. 2011.

# Team Roles in Human-Machine Collaboration

## Teamrollen in der Mensch-Maschinen Kollaboration

Dominik Siemon, Maja Felicitas Stich, Stefan Sievert, Wahied Noorzai, Susanne Robra-Bissantz

Technische Universität Braunschweig, Institut für Wirtschaftsinformatik, Abteilung Informationsmanagement  
Braunschweig, Germany,  [{d.siemon, m.stich, s.sievert, w.noorzai, s.robra-bissantz}@tu-braunschweig.de](mailto:{d.siemon, m.stich, s.sievert, w.noorzai, s.robra-bissantz}@tu-braunschweig.de)

**Abstract** — The increasing importance of artificial intelligence in everyday work also means that new insights into team collaboration must be gained. It is important to find out how changes in team composition affect the joint work, as previous theories and design guidelines are based on the knowledge of pure human teams. This exploratory study will give an insight into whether people trust a Virtual Collaborator, an Artificial Intelligence system that fits on one of Belbin's established team roles. This paper presents the results of a study with, that show that the participants see a Virtual Collaborator mainly in a team role, in which a task is transferred to it and a contribution is done to existing expertise, in order to find a solution. For team roles, where interpersonal characteristics are important, the participants are more likely to see obstacles for a Virtual Collaborator. Based on the findings, we give an outlook for possible further research questions.

**Zusammenfassung** — Die zunehmende Bedeutung des Einsatzes von Systemen mit künstlicher Intelligenz auch im Arbeitsalltag führt dazu, dass neue Erkenntnisse über die Zusammenarbeit in Teams gewonnen werden müssen. Dabei gilt es herauszufinden, auf welche Art und Weise veränderte Teamzusammenstellungen einen Einfluss auf die gemeinsame Arbeit haben, da die bisherigen Theorien und Gestaltungsrichtlinien auf Kenntnissen von reinen Menschenteams basieren. Diese explorative Studie soll einen Einblick darüber geben, ob Menschen einem Virtuellen Kollaborator, ein System mit künstlicher Intelligenz, Fähigkeiten zutrauen, die auf eine der von Belbin eingeführten Team-rollen passen. Dazu wurde eine Studie mit 121 Teilnehmern durchgeführt, welche zu den Ergebnissen kommt, dass Teilnehmer einen Virtuellen Kollaborator überwiegend in einer Teamrollen sehen, in der ihm eine Aufgabe übertragen wird und vorhandenes Fachwissen einbringen kann. Bei Teamrollen, in denen vor allem zwischenmenschliche Eigenschaften wichtig sind, sehen die Probanden eher Hindernisse für einen Virtuellen Kollaborator. Auf Grundlage der Erkenntnisse, geben wir einen Ausblick für mögliche weitere Forschungsfragen.

### I. EINLEITUNG UND MOTIVATION

Die kontinuierliche Verbesserung der Rechenleistung hat die künstliche Intelligenz (KI) erheblich verbessert und ermöglicht nun einen vielseitigen Einsatz intelligenter Systeme wie kollaborativer Agenten. Intelligentere Dienste mit KI, die mit Menschen interagieren und sogar zusammenarbeiten [1]–[4], fordern die Forschung heraus, um bestehende Theorien über Kooperationsmechanismen und soziale Phänomene in der Teamarbeit neu zu definieren [2]. Dies geht damit einher, dass der Computer im Rahmen der computergestützten Teamarbeit neben der Funktion eines Werkzeuges (instrumenteller Aspekt) noch mit der Funktion eines Mediums (medialer Aspekt) ausgestattet wird. Künstliche Intelligenz beschreibt Maschinen, welche das menschliche Lernverhalten, das Gedächtnis und die Entwicklung nachbilden sollen [5]. Neue technologische Entwicklungen ermöglichen dabei neuartige Arten der Zusammenarbeit durch spezifische Kommunikations- und Interaktionsmechanismen und eine zeit- und ortsunabhängige Wertschöpfung. Dadurch ergeben sich mehr Möglichkeiten zur Unterstützung einer Zusammenarbeit [6] in einer stetig zunehmend auf Teamarbeit geprägten Unternehmung [7].

Mit dem aktuellen Stand der Technik in Bezug auf die Entwicklung der künstlichen Intelligenz, dem Einsatz von virtuellen Assistenten und der Nutzung von intelligenten Agenten, stellt sich die Frage, ob sich durch die Beteiligung von Maschinen mit künstlicher Intelligenz die Zusammenarbeit in einem Team verändern wird [5]. Dabei ist zu beobachten, dass je menschenähnlicher die Computer erscheinen und handeln, desto eher werden diese als gleichwertiges Mitglied von anderen Menschen angesehen [8]. Heutzutage legen viele

Forschungsstudien ihren Fokus auf die Frage, welche Eigenschaften, wie zum Beispiel Vertrauen, Gedankenlosigkeit und Höflichkeit, ein Mensch besitzen sollte, um gut mit einem Computer zusammenarbeiten zu können [8], [9]. Auch wenn diese Studien einen Überblick über die förderlichen Eigenschaften von Menschen mit sich bringen, ist es notwendig zu klären, auf welchen Mechanismen und Regeln die Teamarbeit von Menschen und Maschine aufbauen. Hintergrund dafür ist das stetig erweiterte Einsatzgebiet von menschenähnlich agierenden Computern.

Eine Studie von Burmester (2019) zeigt auf, dass eine Kollaboration zwischen Menschen und Maschinen funktionieren kann. Sie gibt Aufschluss darüber, welche Anforderungen in der Kollaboration existieren, damit eine gleichwertige Zusammenarbeit möglich ist. Zum einen sind diese gemeinsamen Ziele, Akzeptanz, gegenseitige Vorhersehbarkeit und die Anpassbarkeit und zum anderen ein „Common Ground“, was bedeutet, dass der Kommunikationspartner Annahmen über das Wissen des jeweils anderen anstellen kann. Die Rollenverteilung in einem Team stellt allerdings einen weiteren wichtigen Aspekt dar, in dem geklärt werden muss, welche Aufgaben eine Maschine übernehmen können sollte [10].

Mit künstlicher Intelligenz wurde die Grundlage für erweiterte Benutzerassistenzsysteme geschaffen, die laut Maedche et al. (2016) die höchste Form der Benutzerhilfe darstellt. Maschinen besitzen die Eigenschaften für proaktives Verhalten und selbstständiges Lernen. Darüber hinaus sind sie in der Lage Zusammenhänge und Bedürfnisse auf die jeweiligen Benutzer anzupassen [1]. Dies führt dazu, dass verschiedene Experten der Ansicht sind, mehr Aufmerksamkeit

auf dieses Thema zu legen und zukünftig mehr Forschungen auf diesem Gebiet durchzuführen [1], [11], [12]. An dem relevanten Thema „Mensch-Maschine-Teams“ setzt diese Studie an. Dabei wird die Annahme gestellt, dass nicht nur eine Unterstützung durch eine intelligente Maschine möglich ist, sondern auch eine gemeinsame Wertschöpfung zwischen Mensch und künstlicher Intelligenz erzeugt werden kann. Viele Studien unterstreichen die Erkenntnis, dass eine Teamarbeit unter Verwendung von künstlicher Intelligenz funktionieren kann [12]. Mit dieser Studie wird ein neuer Aspekt in die Betrachtung von Mensch-Maschinen-Teams eingebracht, indem aufgezeigt wird, welche Fähigkeiten einem virtuellen Teammitglied zugetraut werden kann um diese dann auf die Theorie zu den Teamrollen nach Belbin zuzuordnen [13].

## II. THEORETISCHER HINTERGRUND

### A. Virtueller Kollaborator

Als einen Virtuellen Kollaborateur definieren wir ein virtuelles Teammitglied, das gleichwertig mit einem Menschen zusammenarbeitet. Diese Definition der Kollaboration stützt sich auf die Feststellung von Seeber et al. (2018), dass das Potenzial in der Technologie mit künstlicher Intelligenz darin steckt, zukünftig nicht nur unterstützend eingesetzt werden zu können, sondern wertschöpfend als ein intelligenter Partner zu fungieren [2]. Dieser Aspekt wäre mit der Verwendung des gewöhnlich verwendeten Begriffs des virtuellen Assistenten nicht berücksichtigt worden. Der Ausdruck “conversational interface” [14] bezeichnet lediglich die Gesprächsschnittstelle zwischen einem System und seinem Benutzer. Mit der Wahl des Begriffs “virtuell” ist zudem eine Fokussierung auf die kognitiven Fähigkeiten und eine virtuelle Instanziierung gegeben und der Teil der physischen Instanziierung ausgenommen, welcher bei den Begriffen künstlicher Begleiter [15], künstlicher Kollaborateur oder künstlicher Agent [16] eingeschlossen wäre.

### B. Teamrollen nach Belbin

In heutigen Organisationen ist Teamarbeit von zentraler Bedeutung. Sie führt zu einem Abbau von Hierarchieebenen und Grenzen zwischen Abteilungen, wodurch eine höhere Handlungsfähigkeit gegeben ist und die Arbeitsstruktur flexibler wird [17]. Laut Belbin (2010), führt nicht die Zusammensetzung eines Teams aus Mitgliedern mit den gleichen Persönlichkeitsmerkmalen zu einer erfolgreichen Arbeitsweise, sondern die Kombination aus bestimmten Rollen und Funktionen, ohne die ein Team nicht funktionieren kann. Dem zugrunde liegt seine Erkenntnis, dass der Erfolg eines Teams von den drei folgenden Faktoren abhängt: Kommunikationsfähigkeit, Wissensaneignung und -weitergabe und Handlungsfähigkeit. Darauf aufbauend hat Belbin (2010) drei Hauptrollen definiert, die sich wiederum in drei Teamrollen unterteilen.

TABELLE I. TEAMROLLEN NACH BELBIN (2010)

Handlungsorientiert	Macher
	Umsetzer
	Perfektionist
Kommunikationsorientiert	Weichensteller
	Koordinator
	Teamworker
Wissensorientiert	Erfinder
	Beobachter
	Spezialisten

Die handlungsorientierte Hauptrolle setzt sich aus dem Macher, dem Umsetzer und dem Perfektionisten zusammen. Die Hauptaufgabe besteht darin Aufgaben auszuführen. Die Stärken des Machers ist das zielorientierte Arbeiten und praktische Lösungen zu finden. Der Umsetzer hingegen führt Aufgaben aus und der Perfektionist arbeitet sehr detailliert und perfektionistisch. Die kommunikationsorientierten Teamrollen bilden sich aus dem Weichensteller, Koordinator und dem Teamworker. Der Weichensteller ist extrovertiert und ein guter Netzwerker, welches er geschickt einsetzt, um den Lösungsprozess zu unterstützen. Die kommunikative und entscheidungsfreudige Art des Koordinators macht diesen zum Teamleiter. Ihm obliegt der Bereich der Definition von Zielen und Prioritäten sowie das Team anzuleiten und Aufgaben zu delegieren. In Abgrenzung dazu liegen die Stärken des Teamworkers in Konfliktsituationen zu schlichten. Er kommt gut in jedem Team zurecht, überlässt aber das Treffen von Entscheidungen lieber dritten. Zu den wissensorientierten Hauptrollen gehören der Erfinder, der Beobachter und der Spezialist. Den Erfinder zeichnet eine große Kreativität und viel Phantasie aus, wodurch er neue Ideen und Strategien entwickelt und alternative Lösungen aufzeigen kann. Der Beobachter ist ruhig und klar und überblickt jegliche Situation. Durch sein analytisches Vorgehen und sein zuverlässiges Urteilsvermögen leistet er einen guten Beitrag in der Entscheidungsfindung. Ein gutes Expertenwissen und viele Fähigkeiten zeichnen den Spezialisten aus. In der Teamzusammensetzung kann er als Informationsquelle gesehen werden [13].

## III. METHODIK

Die Arbeit umfasst den Entwurf, die Durchführung sowie die anschließende Auswertung einer Onlineumfrage. Der Fragebogen mit dem Titel ist in drei Teile gegliedert - Allgemeine Fragen, Fähigkeiten eines Virtuellen Kollaborators und demografische Daten - die sukzessiv beantwortet werden.

### A. Fragebogenentwicklung

Als Erhebungsinstrument dient ein Fragebogen mit explorativem Ansatz, um einen ersten Ansatzpunkt zur Strukturierung des großen Bereichs und weitergehende Forschungsfragen herauszuarbeiten. Erstellt wurde dieser auf der Grundlage verschiedener Konstrukte und Theorien.

Der erste Teil der Umfrage umfasst allgemeine Fragen zum Thema künstliche Intelligenz und Virtuelle Kollaboratoren. Damit wird geprüft, wie viel Vorerfahrung die Probanden mit dem Forschungsthema in der Vergangenheit gehabt haben und wie die grundsätzliche Einstellung gegenüber einem Virtuellen Kollaborator ist.

Der zweite Teil bildet den Hauptteil und beinhaltet die spezifischen Fragen nach den Fähigkeiten eines Virtuellen Kollaborators, die auf einer 5er Likert-Skala beantwortet wurden. Als Einleitung in diesen Abschnitt sind die wichtigsten Merkmale über einen Virtuellen Kollaborator, der ein gleichberechtigtes Mitglied in dem Team darstellen soll, aufgeführt worden und das Gesamtziel, mit den aufgedeckten Fähigkeiten eine Teamrollenzuordnung zu erlangen, nochmal genannt. Jeder Teamrolle sind dabei 5-7 Fragen zugeordnet. In diesen werden nach bezeichnenden Fähigkeiten einer Teamrolle gefragt. Diese Fragen basieren auf einem Teamrollentest von Belbin [13].

Die geographischen allgemeinen Informationen zur Person werden in dem dritten und letzten Teil des Fragebogens erhoben.

## B. Ergebnisse

Die Teilnehmer der Umfrage bestehen aus Personen mit unterschiedlichem, aber dennoch meist technischem Background verschiedener Altersklassen und Berufserfahrungen. Um eine hohe Teilnehmerzahl zu erreichen, wurden unterschiedlichste Kanäle, wie Social-Media, Firmen und Universität genutzt. An der Umfrage haben insgesamt 225 Personen teilgenommen, wovon 121 Personen diese vollständig beendet haben. Von diesen abgeschlossenen Probanden sind 79 männlich, 41 weiblich und 1 divers. Die Nationalität der meisten Teilnehmer (107) ist deutsch und die weiteren 14 Probanden haben unterschiedliche Nationalitäten (Brasilien, Sudan, Italien, Schweiz, Niederlande, Kasachstan, Afghanistan). Unter den Umfrageteilnehmern befanden sich 74 Studenten, die vorrangig in einem zum MINT-Bereich zählenden Studiengang eingeschrieben sind und 64 arbeiten in einem Unternehmen. Das Alter des Großteils der Probanden (82) liegt zwischen 25 und 34 Jahren, während 16 Teilnehmer zwischen 18 und 24 Jahren, 9 zwischen 35 und 45 Jahren, 6 zwischen 46 und 54 Jahren und 8 über 54 Jahre alt sind. (Teil III)

Die Ergebnisse zeigen, dass bei 82 (68%) Probanden ein Interesse am Thema „künstliche Intelligenz“ vorliegt. Darüber hinaus sind 24% der Teilnehmer bereits oft in Verbindung mit dem Thema „künstlicher Intelligenz“ gekommen. Insgesamt denken allerdings 93% der Befragten, dass sich der Einsatz von Virtuellen Kollaboratoren in den nächsten Jahren erhöhen wird.

## C. Diskussion

Betrachtet man die Ergebnisse der Umfrage zu den neun Teamrollen zuerst auf der Ebene der 3 Hauptrollen (wissensorientiert, handlungsorientiert und kommunikationsorientiert) ist auffällig, dass die Mittelwerte maximal zehn Prozent auseinander liegen, es aber einen deutlichen Unterschied in den Standardabweichungen der drei Hauptrollen gibt.

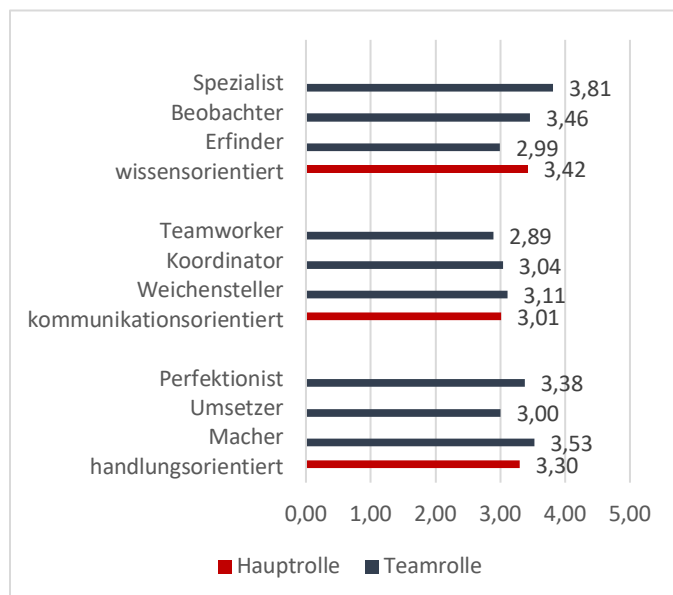


ABBILDUNG I: MITTELWERTE DER HAUPT- UND TEAMROLLEN

Wenig überraschend ist der vergleichsweise hohe Mittelwert von 3,42 bei der wissensorientierten Rolle und der relativ niedrige Mittelwert von 3,04 bei der kommunikationsorientierten Rolle. Dies verdeutlicht, dass einer Maschine weniger zwischenmenschliche Fähigkeiten zugetraut werden, als objektive Fähigkeiten. Der handlungsorientierte Mittelwert liegt deutlich näher an dem des

wissensorientierten. Dies lässt den Schluss ziehen, dass auch in diesem Bereich die Hard-Skills im Vordergrund stehen als die Soft-Skills. Damit passen die Ergebnisse gut zusammen und lassen auf dieser hohen Betrachtungsebene keine Widersprüche erkennen.

Zusammenfassend ist in dieser Betrachtungsebene der Hauptrollen zu erkennen, dass die Ergebnisse der Umfrage eher einen mittleren Mittelwert haben. Dennoch bewegen sich die Werte alle über dem Durchschnitt von drei, wodurch eine Tendenz zum positiven vorliegt. Als positiver Eindruck kann angemerkt werden, dass keine Fähigkeit beziehungsweise Teamrolle überhaupt nicht gesehen wird.

Die wissensorientierte Hauptrolle beinhaltet zwei Teamrollen mit den höchsten Mittelwerten. Die deutlich stärkste gesehene Teamrolle ist der Spezialist, da dieser den höchsten Mittelwert unter allen abgefragten Teamrollen zeigt. Das „vorhandene“ Fachwissen und auch das detaillierte Arbeiten sehen die Teilnehmer als die deutliche Stärke eines Virtuellen Kollaborators im Bereich der Teamarbeit. Auch die Rolle des Beobachters wird in einem Virtuellen Kollaborator gesehen. Der Mittelwert von 3,46 ist der dritthöchste. Hier zeigt allerdings besonders die Frage nach der Schwäche eines Virtuellen Kollaborators, eine eigene Meinung bilden zu können, die unter den Befragten vorliegenden unterschiedlichen Ansichten. Darüber hinaus liegt eine große Übereinstimmung vor, dass ein Virtueller Kollaborator sehr gut analytisch vorgehen kann, aber die Fähigkeiten zur Intuition diesem nicht zugetraut werden. Dies bekräftigt die obige Aussage, dass einem Virtuellen Kollaborator vor allem objektive Fähigkeiten zugetraut werden und die menschlichen trotz der künstlichen Intelligenz eher nicht gesehen werden.

Als dritte wissensorientierte Teamrolle ist der Erfinder zu betrachten. Der Mittelwert der Umfrageergebnisse ist mit 2,99 der zweithöchste von allen. Dies zeigt, dass eine einheitliche Betrachtung auf übergeordneter Ebene schwierig ist. Das Ergebnis des Erfinders verfälscht die Gesamtbewertung als Hauptrolle nach unten mit einer Differenz von über zwanzig Prozent zum Mittelwert des Spezialisten. Die Fähigkeiten auf Basis von Recherchen neues zu entwickeln und Alternativen aufzuzeigen sind als eher zutreffend eingeschätzt worden. Demgegenüber sind die anderen abgefragten Fähigkeiten wie „über den Tellerrand zu schauen“ oder „neue und grundlegende Ideen zu entwickeln“ als eher nichtzutreffend bewertet worden. Der Erfinder ist damit eine Teamrolle, bei der die nähere Betrachtung der einzelnen Fähigkeiten im Detail von besonderem Interesse wäre.

Betrachtet man die Teamrollen der handlungsorientierten Hauptrollen näher, fällt auf, dass der Macher mit dem zweithöchsten Mittelwert von allen ebenfalls als eine klare mögliche Rolle eines Virtuellen Kollaborators dargestellt wird. Die Fähigkeiten „alle bedeutenden Fragestellungen erfassen und bearbeiten“ zu können wird bei einem Virtuellen Kollaborator deutlich schwächer beurteilt als die übrigen Fähigkeiten eines Machers. Dazu passt, dass die Schwäche eines „Machers“ gesehen wird, ohne klare Zieldefinition zu arbeiten.

Die Fragen nach den gesehenen Fähigkeiten eines Virtuellen Kollaborators als „Umsetzer“ sind sehr divergierend beantwortet worden. Dies spiegelt auch die höchste Standardabweichung (0,53) von allen betrachteten Teamrollen wieder. Die Fähigkeit, in einem Team zu arbeiten wird als zustimmend bewertet ( $M = 3,56$ ), aber Fähigkeiten wie das Leiten eines Teams werden einem Virtuellen Kollaborator nicht zugetraut. ( $M = 1,94$ ). Eine situative Einschätzung für die Fähigkeiten der anfallenden Rolle ist demnach besonders wichtig für das Zusammenstellen eines „Teams“.

Die Umfrageteilnehmer stehen der Rolle des Perfektionisten eher mit einer leichten Tendenz zur positiven Zustimmung gegenüber. Zusammenfassend lässt sich aus den Ergebnissen schließen, dass die „perfektionistische Ader“ eines Virtuellen Kollaborators dem Projektfortschritt förderlich ist und nicht negativ beeinflusst.

Bei der kommunikationsorientierten Hauptrolle ist besonders auf zwei Aspekte einzugehen. Der Teamrolle des Teamworkers hat den niedrigsten Mittelwert aller Teamrollen und wird dementsprechend am wenigsten in einem Virtuellen Kollaborator gesehen. Dennoch ist zu unterscheiden, dass Fähigkeiten zu einer gemeinsamen Arbeit in einem „Mensch-Maschine-Team“ als vorhanden angesehen werden, „zwischenmenschliche“ Fähigkeiten werden einem Virtuellen Kollaborator allerdings nicht zugeschrieben.

Den Rollen des Koordinators und des Weichenstellers gegenüber ist eine neutrale Einstellung der Teilnehmer vorhanden. Es gibt keine starken Ausreißer unter den Antworten der einzelnen Fragen.

#### IV. FAZIT UND AUSBLICK

Ziel der Studie war es, einen Einblick in die Wahrnehmung von Personen bezüglich der Fähigkeiten eines Virtuellen Kollaborators zu bekommen und diese den 9 Teamrollen nach Belbin zuzuordnen. Dazu wurde ein explorativer Fragebogen entwickelt, der von 121 Probanden beantwortet wurde, die regelmäßig in Teams arbeiten.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Teilnehmer die Fähigkeiten eines Virtuellen Kollaborator zumindest teilweise in allen drei Hauptrollen sehen. Besondere Stärken werden in den Teamrollen Spezialist, Macher und Beobachter gesehen. Darüber hinaus wurde herausgefunden, dass man jene Fähigkeiten, die eine zwischenmenschliche Komponente beinhalten deutlich skeptischer sieht und einem Virtuellen Kollaborator weniger zutrauen würde. Da der Kontakt der Probanden in der Vergangenheit mit „künstlicher Intelligenz“ überwiegend sehr gering ist und gleichzeitig das Interesse für das Thema vorhanden ist, geben die Ergebnisse nur einen ersten Einblick in den Bereich. Somit sollte in künftigen Fragestellungen von Interesse sein, wie häufigere Berührungspunkte mit Systemen, die künstliche Intelligenz nutzen, oder ein tieferes Verständnis, wieweit künstliche Intelligenz Systeme menschlicher machen können, die Ergebnisse dieser Studie verändern.

Darüber hinaus bietet diese Arbeit aufgrund der komplexen und weit gefassten Fragestellung der Arbeit nur einen ersten Einblick in die möglichen Teamrollen eines Virtuellen Kollaborators. In weiteren Forschungsfragen sollte eine detailliertere Untersuchung der einzelnen Teamrollen erfolgen, um somit ein besseres Verständnis zu schaffen, welche

Fähigkeiten einem Virtuellen Kollaborators zugetraut werden können. Ein experimenteller Ansatz könnte zudem weitere nützliche Erkenntnisse hervorführen, da weitere Details oder Unterscheidungen hierdurch besser herausgearbeitet werden können.

#### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] A. Maedche, S. Morana, S. Schacht, D. Werth, und J. Krumeich, „Advanced User Assistance Systems“, *Business & Information Systems Engineering*, Bd. 58, Nr. 5, S. 367–370, Sep. 2016.
- [2] I. Seeber u. a., „Machines as teammates: A research agenda on AI in team collaboration“, *Information & Management*, S. 103174, Juli 2019.
- [3] E. A. C. Bittner, S. Oeste-Reiß, und J. M. Leimeister, „Where is the Bot in our Team? Toward a Taxonomy of Design Option Combinations for Conversational Agents in Collaborative Work“, gehalten auf der Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS), Maui, Hawaii, USA, 2019.
- [4] D. Siemon, T. Strohmann, und S. Robra-Bissantz, „The Virtual Collaborator - A Definition and Research Agenda“, *IJeC*, Bd. 14, Nr. 4, S. 24–43, Okt. 2018.
- [5] S. J. Russell und P. Norvig, *Artificial intelligence: a modern approach*. Malaysia; Pearson Education Limited, 2016.
- [6] R. O. Briggs, G.-J. De Vreede, und J. F. Nunamaker Jr, „Collaboration engineering with ThinkLets to pursue sustained success with group support systems“, *Journal of Management Information Systems*, Bd. 19, Nr. 4, S. 31–64, 2003.
- [7] N. Randrup, D. Druckenmiller, und R. O. Briggs, „Philosophy of Collaboration“, in *2016 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)*, Kauai, 2016.
- [8] C. Nass und Y. Moon, „Machines and Mindlessness: Social Responses to Computers“, *Journal of Social Issues*, Bd. 56, Nr. 1, S. 81–103, Jan. 2000.
- [9] U. Gnewuch, S. Morana, und A. Maedche, „Towards Designing Cooperative and Social Conversational Agents for Customer Service“, *ICIS 2017 Proceedings*, Dez. 2017.
- [10] M. Burmester, „KI konkret: Mensch-Roboter-Kollaboration – Vom Werkzeug zum Partner“, 2019. [Online]. Verfügbar unter: <https://www.uid.com/de/aktuelles/mensch-roboter-kollaboration>. [Zugegriffen: 20-Sep-2019].
- [11] D. Siemon, T. Strohmann, und S. Robra-Bissantz, „Towards the Conception of a Virtual Collaborator“, in *Proceedings of the Workshop on Designing User Assistance in Intelligent Systems, Stockholm, Sweden, 2019*. Ed.: S. Morana, 2019, Bd. 120, S. 7–9.
- [12] T. Strohmann u. a., „Virtual Moderation Assistance: Creating Design Guidelines for Virtual Assistants Supporting Creative Workshops“, in *Proceedings of the 22nd Pacific Asia Conference on Information Systems*, Yokohama, 2018.
- [13] R. M. Belbin, *Management Teams: Why they succeed or fail*. Routledge, 2010.
- [14] M. McTear, Z. Callejas, und D. Griol, „The conversational interface“, *Springer*, Bd. 6, Nr. 94, S. 102, 2016.
- [15] Y. Wilks, „Artificial companions as a new kind of interface to the future internet“, 2006.
- [16] T.-W. Chan, „Artificial agents in distance learning“, *International Journal of Educational Telecommunications*, Bd. 1, Nr. 2, S. 263–282, 1995.
- [17] F. Becker, „Teamarbeit, Teampsychologie, Teamentwicklung“, *So führen Sie Teams*, 2016.

# The Era of Music Streaming and the Challenges of Music Recommendation

## Die Ära des Musikstreamings und die Herausforderungen der Musikempfehlung

Patrick Helmholz, Michael Meyer, Susanne Robra-Bissantz

Technische Universität Braunschweig, Institut für Wirtschaftsinformatik, Abteilung Informationsmanagement  
Braunschweig, Germany, {p.helmholz, m.meyer, s.robra-bissantz}@tu-braunschweig.de

**Abstract** — Eine große Disruption führt zunehmend zu einer Veränderung des Musikmarktes. Konkrete Erscheinungsformen dieser Transformation sind die Entwicklung und zunehmende Nutzung von Musikstreamingdiensten, die heutzutage bereits für 80% des Umsatzes des Musikmarktes verantwortlich sind. Aufgrund der zunehmend ubiquitären Hörsituationen und der riesigen Auswahl an Musik, werden situative Empfehlungen immer wichtiger. Dieses Paper beschäftigt sich mit der Ära des Musikstreamings und den Herausforderungen der Musikempfehlung. Dabei wird insbesondere auf die emotionale Musikempfehlung eingegangen und die Klassifikationsmöglichkeiten vorgestellt und überprüft.

**Zusammenfassung** — A major disruption increasingly leads to a change in the music market. Concrete manifestations of this transformation are the development and increasing use of music streaming services, which today already account for 80% of the music market's turnover. Due to the increasingly ubiquitous listening situations and the huge selection possibilities of music, situational recommendations are becoming more and more important. This paper explores the era of music streaming and the challenges of music recommendation. In particular, the research field of emotional music recommendation is described and the classification possibilities are presented and examined.

### I. EINLEITUNG

Die digitale Transformation hat viele Branchen maßgeblich verändert, ein besonders deutlicher Wandel betrifft den Bereich der Musikindustrie. Hier hat ein Umdenken und eine Anpassung der Geschäftsmodelle vom physischen Besitz der Musik hin zum reinen Nutzen (Value in Use) bereits stattgefunden. Smartphones, mobile Breitbandkonktivität und Musikstreamingdienste haben die Art und Weise, wie Menschen im Alltag Musik hören, massiv verändert. Musikhörer haben nun die Möglichkeit, auf Millionen von Songs zuzugreifen und diese jederzeit und überall zu konsumieren. Das Hören von Musik begleitet uns demnach in allen Alltagssituationen [1]. Ob auf Partys oder Hochzeiten, auf der Fahrt zur Arbeit, im Fitnessstudio oder allein zu Hause, Musik ist Teil unseres sozialen und physischen Umfelds geworden [2]. Die Zeit, die wir täglich mit dem Hören von Musik verbringen, nimmt von Jahr zu Jahr zu. Im Durchschnitt hören die Menschen heute über vier Stunden Musik pro Tag [3]. Jeder zweite Mensch nutzt Musikstreamingdienste und rund 80 Prozent der Smartphonebesitzer nutzen ihre Geräte häufig zum Musikhören [4]. Folglich ist das Hören von Musik die wichtigste Begleitaktivität in unserer Gesellschaft [1].

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Ära des Musikstreamings und den Herausforderungen der Musikempfehlung. Dabei wird insbesondere auf die emotionale Musikempfehlung eingegangen und die Klassifikationsmöglichkeiten vorgestellt und überprüft. Zudem wird ein Ausblick auf zukünftige Möglichkeiten gegeben.

### II. ÄRA DES MUSIKSTREAMINGS

Musikstreaming ist zur Art und Weise geworden, wie Musik konsumiert wird. Von 2013 bis 2018 stieg die Anzahl der pro Jahr gehörten Musikstreams um das Neunfache und lediglich von 2017 bis 2018 um 50 Prozent [5,6]. Streaming macht mittlerweile 80 Prozent des Umsatzes der Musikindustrie aus

[7]. Der meistgehörte Künstler (Drake – kanadischer Rapper) auf den populären Musikstreamingplattformen verzeichnet aktuell (Mitte 2019) in einer Woche ca. eine Milliarde Streams seiner Songs. Zum Vergleich wurden im gesamten Jahr 2018 über alle Künstler und Plattformen etwa eine halbe Milliarde Songs verkauft [6]. Wir befinden uns nach der Ära der analogen Medien (Schallplatten, Kassetten), der physischen digitalen Medien (CD, Audio DVD) und der Ära der Musikdownloads (z.B. iTunes) nun in der Ära des Streamings (z.B. Spotify, Apple Music) [7,8]. Mit jeder Ära stieg die Anzahl der situativen Zugriffsmöglichkeiten für den Nutzer deutlich an (siehe Abb. 1).

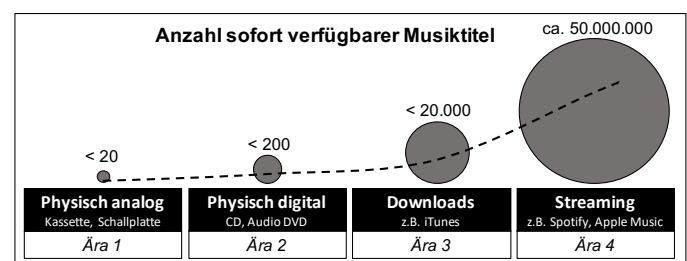


Abb. 1. Ären der Musikeinspielung und Anstieg der verfügbaren Musiktitel

Die heutzutage enorme Wahlmöglichkeit von ca. 50 Millionen Musiktiteln bei den großen Musikstreamingdiensten sowie die zeit- und ortsunabhängige Verfügbarkeit dieser Musik, welche nur einen Click entfernt ist, führen jedoch zu neuen Nutzerproblemen. Die Nutzer sind oft von der großen Anzahl digitaler Musiktitel überwältigt und sind gefordert die passende Musik zu ihrer aktuellen Situation und Stimmung auszuwählen [9]. Musikstreamingdienste wie Spotify oder Apple Music bieten bereits vordefinierte Wiedergabelisten, um die Musik für ihre Nutzer zu strukturieren und die Auswahl zu erleichtern. Dies kann auf verschiedene Weise geschehen. Die gebräuchlichste Art, Musik zu klassifizieren, ist seit langem das Genre, obwohl hier die Unterscheidung meist nicht trennscharf

ist. Heutzutage sollten Playlisten und Musikempfehlungen verstärkt nach Situation und Stimmung zusammengestellt werden. Die Anbieter von Musikplattformen erkennen dieses Bedürfnis und bieten zunehmend solche Playlisten an.

### III. MUSIKPLAYLISTEN

Da Musik emotional ist, kann sie die Emotionen des Hörers stärken und verändern [10]. So hören die Menschen gerne Musik, die zu ihrer Stimmung und Situation passt. Es ist jedoch nicht trivial, entsprechende Playlisten zu generieren bzw. die richtige Musik für die Hörsituation und die Stimmung des Benutzers zu finden [11]. Um den musikalischen Einfluss auf unsere Stimmung mit unserer Situation in Einklang zu bringen, muss die Musik zuerst kategorisiert werden [12].

Dies geschieht auf unterschiedliche Art und Weise. Die heutzutage immer noch am häufigsten verwendete Art, Musik zu klassifizieren, ist die nach Genre. Die gesamte Kategorisierung von Künstlern und Alben sowie die Erstellung von Chart-Rankings basiert auf dieser traditionellen Klassifizierung. Wiedergabelisten wie beispielsweise "Rock", „Klassik“ oder "Country", die genrebasiert sind, werden als contentbasierte Wiedergabelisten bezeichnet. Neben dem Genre werden auch künstlerbezogene Playlisten (z.B. „This is Ed Sheeran“) oder solche, die sich auf Zeiträume beziehen (z.B. „All Out 90s“), als contentbasiert bezeichnet. Diese Genres sind jedoch oft sehr breit gefächert und die Grenzen zwischen ihnen nicht direkt greifbar, was das Problem der automatischen Klassifizierung von Musik zu einer nichttrivialen Aufgabe macht [13]. Der Gründer und CEO von Spotify - Daniel Ek - sagte bereits 2015, dass sich die Suche und Klassifizierung von Musiktiteln von den Genres entfernt. Die Menschen suchen nicht mehr nach „Hip-Hop“ oder „Country“, sondern nach Aktivitäten oder einem bestimmten Erlebnis. Daher sollten die Playlisten in Anlehnung an Situationen und Stimmung erstellt werden.

Bei diesen situativen Playlisten spricht man von kontextbasierten Playlisten. Diese sind abgestimmt auf die jeweilige Hörsituation des Nutzers. Dies ist beispielsweise eine Aktivität wie Sport, wo der Nutzer aktiviert werden möchte. Eine beispielhafte Playlist wäre hier „Sports Power“. Ein Beispiel für eine stimmungsbezogene Playlist wäre beispielsweise „Happy Hits“ (siehe auch Abb. 2). Neben diesen beiden Arten von Playlisten gibt es noch die hybriden Playlisten, welche sich nicht einer der beiden Gruppen zuordnen lassen und Merkmale von beiden haben (z.B. „Happy 80s“). [14]

Contentbasierte Playlisten (CB)		Kontextbasierte Playlisten (KB)	
<i>nach:</i> Künstler Zeitraum Genre	<i>Beispiel:</i> This is Ed Sheeran All Out 90s Best Rock Songs	<i>nach:</i> Stimmung Aktivität Zeit Ort	<i>Beispiel:</i> Happy Hits Sports Power Abendmusik Nature Noise
<b>Hybride Playlisten (HB)</b>			

Abb. 2. Möglichkeiten der Zusammenstellung von Playlisten

Erste Analysen von Playlisten beim Anbieter Spotify haben gezeigt, dass der Anteil der kontextbasierten Playlisten wächst, auch wenn die contentbasierten aktuell noch häufiger vorhanden sind. Die Analyse erfolgte anhand der 973 Playlisten aus dem Bereich „Genres und Stimmungen“. Etwa 57 Prozent der untersuchten Playlisten (553 Playlisten) sind contentbasiert und lediglich etwa 37 Prozent kontextbasiert (355 Playlisten). Die hybriden Playlisten machen etwa 7 Prozent aus (65 Playlisten). Betrachtet man jedoch die durchschnittlichen Followerzahlen, so sind die kontextbasierten und hybriden Playlisten deutlich

beliebter als die contentbasierten. Auch der Followerzuwachs von 2018 zu 2017 ist bei diesen beiden Playlisten über 20 Prozent höher als bei den contentbasierten Playlisten.

Aus den Ergebnissen lässt sich demnach ableiten, dass auch bei den Musikstreamingdiensten ein Umdenken bei der Zusammenstellung der Playlisten stattfindet, welches vor allem durch die Hörer getrieben wird. Zukünftig wird sich dieser Trend sicherlich verstärken und kontextbasierte bzw. hybride Playlisten werden die Auswahlmöglichkeiten erweitern und dominieren.

### IV. EMOTIONALE MUSIKEINSPIELUNG

#### A. Emotionale Wirkung von Musik

Wichtiger als der Inhalt bzw. die Texte der Musik ist für viele Konsumenten dessen Funktion, weshalb die Frage aufkommt, warum dieser eine hohe Bedeutung beigemessen wird. Diese Frage ist einfach zu beantworten. In erster Linie wird Musik zur Beeinflussung der Stimmung verwendet. Hierbei können bestimmte Playlisten oder Musiktitel gehört werden, um das Zentralnervensystem in einen bestimmten Zustand zu befördern [15]. Mit anderen Worten dient die Musik der Stimmungsregulation, also dem Verstärken, Abschwächen, Kompensieren oder Aufrechterhalten von Stimmung [16].

Die Musik sorgt dafür, dass negative und positive Emotionen gefühlt werden. Jedoch hängt die empfundene Emotion nicht ausschließlich von der Musik ab, sondern sie steckt im Menschen selbst, im aktuellen Gemütszustand, und Musik hilft dabei, diesen Zustand zu verstärken oder abzuschwächen [15]. In wissenschaftlichen Studien konnte bestätigt werden, dass je nach emotionaler Situation unterschiedliche Bedürfnisse entstehen, welche die Wirkung der Musik beeinflussen. Das Hören von leiser Musik kann in einem angenehmen Gefühlszustand als entspannend angesehen werden, während es in einem aggressiven Zustand abgelehnt wird und als reizend anstatt entspannend wahrgenommen wird [17].

Der Einfluss der Musik auf den menschlichen Körper und die Psyche wird von fast jedem Menschen tagtäglich wahrgenommen [18]. Dieser Einfluss ist so groß, dass dieser den Körper aktivieren und einen positiven Gefühlszustand auslösen kann, so kann eine aktivierende Morningplaylist frühmorgens dafür sorgen, dass der letzte Schlaf aus dem Kopf vertrieben wird und der Hörer gut gelaunt in den Tag startet. Die Musik kann somit eine Motivation sein und zum Bewegen animieren. Auch bei Sportaktivitäten kann die richtige Musik dafür sorgen, dass die müden Beine immer wieder vorangetrieben werden. Zudem kann Musik bei Einsamkeit, Problemen und Sorgen helfen, indem sie den Hörer ablenkt und auf neue Gedanken bringt. [19]

Neben der wahrgenommenen Stimmung (positiv und negativ) hat Musik zwei mögliche physische Wirkungen auf dem Menschen. Sie kann entweder aktivierend oder beruhigend sein. Als körperaktivierend gilt Musik mit schnellem Tempo, hoher Lautstärke und einer regelmäßigen Gliederung des klanglichen Ablaufs, welche durch starke Akzente gekennzeichnet ist. Solch eine aktivierende Musik, deren Rhythmus den Song dominiert, sorgt für eine Aktivierung des Nutzers. Musik mit einem beruhigenden Effekt hat hingegen eher eine weiche Betonung, einfache Harmonik, geringe Lautstärke, langsames Tempo und einen geringeren Tonumfang. Ein Song, dessen Tempo identisch mit der Ruhfrequenz des Herzens ist, empfindet der Hörer als beruhigend. [18]

Es zeigt sich somit, dass in der heutigen digitalen Welt mit einem ubiquitären Hörverhalten es gerade bei Musikstreamingdiensten von hoher Bedeutung ist, die Musik anhand ihrer emotionalen Wirkung zu klassifizieren und aufbauend Playlisten zu generieren. Dabei handelt es sich um eine moderne



Möglichkeit der kontextbasierten und benutzerzentrierten Musikklassifizierung [20].

### B. Klassifikation von Emotionen

Es gibt viele Modelle zur Klassifikation von menschlichen Emotionen. Als eines der bedeutendsten hat sich das Circumplex-Modell-of-Affect von Russell (1980) herausgestellt, welches auch im Bereich der Musikklassifikation in angepasster Form Einsatz findet. Anhand des Modells können Emotionen in einer bipolaren zweidimensionalen Reihenfolge angeordnet werden. Die beiden Dimensionen Erregung (Arousal) und Stimmung (Pleasure) ermöglichen eine kreisförmige Anordnung der Emotionen. Die Dimension der Erregung reicht von niedrig bis hoch, während die Dimension der Stimmung von negativ bis positiv reicht. Daher ist das Modell in der Lage, jeden emotionalen Zustand in Form eines bestimmten Grades dieser beiden Dimensionen darzustellen [21,22]. Grundsätzlich lassen sich die Emotionen in die vier Quadranten Q1 - *Angry*, Q2 - *Happy*, Q3 - *Sad* und Q4 - *Relaxed* unterteilen (siehe Abb. 3).

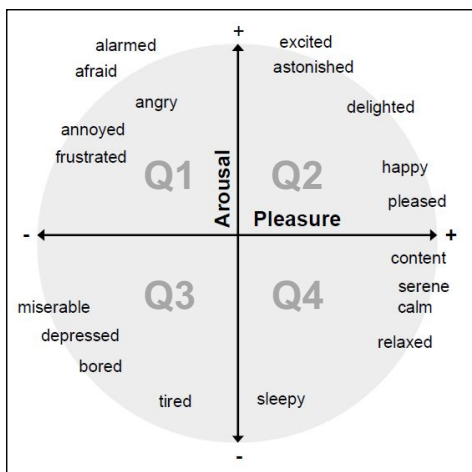


Abb. 3. Klassifikation der menschlichen Emotionen nach Russell (1980)

### C. Emotionale Musikparameter und -klassifikation

Im Falle der Musik kann diese zweidimensionale Skala auch dazu verwendet werden, Musikstücke emotional zu klassifizieren (siehe Abb. 4). Hier entspricht die Energie der menschlichen Erregung (Arousal) und die Valenz der menschlichen Stimmung (Pleasure) [22,23].

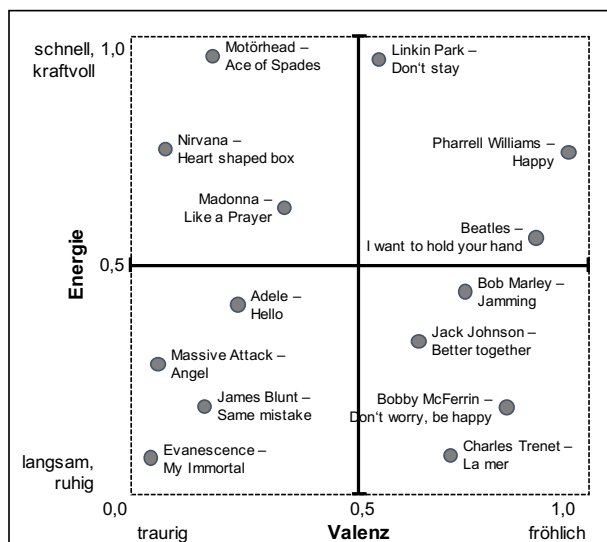


Abb. 4. Klassifikation von Musiktiteln in Anlehnung an Russell (1980)

Beliebte Streamingdienste wie Spotify nutzen unter anderem diese beiden Musikparameter zur Klassifikation der Musik [24]. Energie in der Musik stellt ein wahrnehmbares Maß für die Intensität und Aktivität dar. Typischerweise fühlen sich energetische Tracks schnell, laut und intensiv an. Die Valenz beschreibt hingegen die musikalische Positivität, die durch ein Musikstück vermittelt wird. Stücke mit hoher Valenz klingen positiver (z.B. fröhlich, heiter, euphorisch), während Stücke mit niedriger Valenz negativer (z.B. traurig, deprimiert, wütend) klingen [25,26]. Valenz und Energie sind starke Indikatoren für die akustische Stimmung und die allgemeine emotionale Qualität eines Songs [23].

Spotify ermittelt und speichert diese emotionalen Parameter automatisch durch Algorithmen für jeden einzelnen Song zusätzlich zu über 20 anderen Parametern wie Danceability oder Speechiness und nutzt diese zur Erstellung von Playlisten. Diese so genannten High-Level-Parameter werden durch die Verwendung von Low-Level- und Mid-Level-Parameter der Musik ermittelt [27]. Diese Parameter werden auf einer Skala von 0,0 bis 1,0 angegeben. Folglich haben Lieder im ersten Quadranten eine hohe Energie und einen niedrigen Valenzwert und Lieder im vierten Quadranten beispielsweise eine niedrige Energie und einen hohen Valenzwert. Der Song *Happy* von *Pharell Williams* hat beispielsweise einen Energiewert von 0,822 und einen Valenzwert von 0,962 und kann dementsprechend als *Happy* (Q2) bezeichnet werden.

### V. ANALYSE VON PLAYLISTEN

Um diese emotionale Einordnung für gesamte Playlisten bei Spotify zu überprüfen und aufzuzeigen, wurden beliebte Playlisten aus dem Bereich „Stimmung“ von Anbieter Spotify ausgewählt, die eine hohe Followerzahl haben und anschließend ihre Zusammenstellung anhand der Parameter analysiert (Stand: August 2019). Für den Bereich „Happy“ (Q2) wurde die Playlist „Happy Hits“ mit ca. 4,6 Millionen Followern und einem durchschnittlichen Popularitätsscore der Songs von 53 ausgewählt. Der Popularitätsscore gibt dabei auf einer Skala von 0 bis 100 an, wie beliebt ein spezieller Song in der letzten Zeit bei Spotify war. Für den Bereich „Sad“ (Q3) wurde die Playlist „Sad Songs“ mit ca. 0,8 Millionen Followern und einen durchschnittlichen Popularitätsscore der Songs von 17 verwendet. Es zeigt sich somit bereits am durchschnittlichen Popularitätsscore, dass die Songs in der Playlist „Happy Hits“ bei den Hörern populärer sind als die von „Sad Songs“. Dies spiegelt sich auch darin wieder, dass „Happy Hits“ deutlich vor „Sad Songs“ im Ranking der beliebtesten Playlisten steht.

Die nachfolgende Abbildung 5 stellt die emotionale Einordnung der einzelnen Songs der beiden Playlisten anhand ihrer Parameterwerte dar. Es zeigt sich, dass die meisten Songs der Playlisten in dem erwarteten Quadranten liegen.

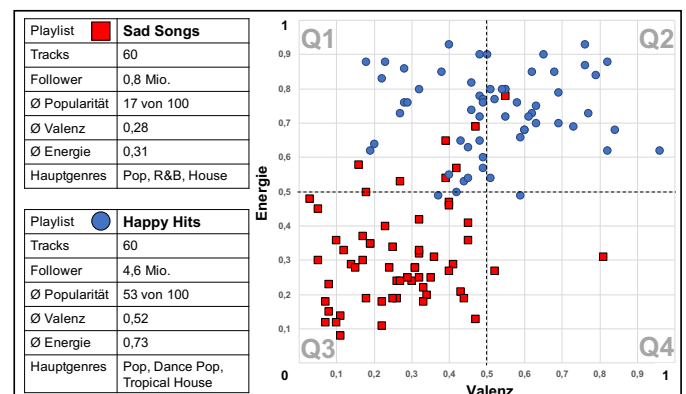


Abb. 5. Emotionale Klassifikation der einzelnen Tracks der beiden Spotify-Playlisten „Sad Songs“ und „Happy Hits“

Dabei zeigt sich jedoch ein eindeutiger Erwartungswert bei der Playlist „Sad Songs“ (Valenz  $M=0,28$ ; Energie  $M=0,31$ ). Hier sind lediglich 9 Songs außerhalb des Q3 einzuordnen. Bei der Playlist „Happy Hits“ (Valenz  $M=0,52$ ; Energie  $M=0,73$ ) sind fast die Hälfte der Songs außerhalb des Q4. Dies liegt vor allem an dem Valenz-Parameter, welcher sich häufig um 0,5 bewegt. Insgesamt zeigt sich jedoch anhand dieser ersten Analyse, dass die emotionale Einordnung funktioniert und daher für intelligente Systeme genutzt werden kann.

## VI. ZUSAMMENFASSUNG & AUSBLICK

Eine große Disruption führt zunehmend zu einer Veränderung des Musikmarktes. Konkrete Erscheinungsformen dieser Transformation sind die Entwicklung und zunehmende Nutzung von Musikstreamingdiensten wie Spotify, Apple Music, Amazon Music oder YouTube (Music). Diese Streaminganbieter bedienen den Nutzer mit einer Vielzahl von Musiktiteln, was den Auswahlprozess geeigneter Titel erschwert. Musikempfehlungen und nutzerzentrierte Playlists helfen, dieses Problem zu lösen. Darüber hinaus ist auch eine Veränderung des Nutzerverhaltens zu beobachten, da sie ihre Musik dank immer leistungsfähigerer mobiler Geräte zunehmend im mobilen Kontext konsumieren [4]. Demnach hören die Nutzer mittlerweile lieber Musik, welche die aktuelle Stimmungslage widerspiegelt und nicht mehr nur die favorisierten Songs aus den präferierten Genres [14].

Typische mobile Geräte wie Smartphones und -watches, die eine Vielzahl von Sensoren enthalten, können die Situation eines Benutzers beobachten und interpretieren [28]. So ist es beispielsweise möglich, das Biofeedback des Nutzers zu messen und daraus emotionale Zustände abzuleiten. Auf diese Weise können moderne mobile Geräte in Kombination mit intelligenten Algorithmen bei Musikstreamingdiensten einen Mehrwert für den Nutzer darstellen. Dadurch wird es möglich, die Musikauswahl an den aktuellen emotionalen Zustand des Benutzers anzupassen. Musik kann den emotionalen Zustand beeinflussen und der emotionale Zustand des Benutzers beeinflusst die Art der Musik, die er hören möchte. Emotionen sind stark mit dem Hörverhalten eines Benutzers verknüpft, was situative Emotionen zu einer nützlichen Grundlage für die Musikauswahl macht [29].

Die mobile Messung von Basisemotionen wie Wut oder Freude, basierend auf der Veränderung der Herzfrequenz, wurde bereits nachgewiesen und der biofeedbackbasierte und zweidimensionale Ansatz von Yamamoto et al. (2009) kann leicht an das vorgestellte Emotionsmodell angepasst werden. In diesem Fall entspricht die Herzfrequenz der Energie und die Hauttemperatur der Valenz [30]. Da Smartphones und Wearables immer leistungsfähiger werden und immer mehr Sensoren besitzen, stellt Biofeedback einen vielversprechenden Ansatz für benutzerbasierte emotionale Informationen dar. Diese Daten können mit Hilfe von künstlicher Intelligenz und Algorithmen mit den Musikparametern und Nutzerpräferenzen gematcht werden, um situative Empfehlungen zu ermöglichen.

## REFERENCES

- [1] T. DeNora, *Music in Everyday Life*, Cambridge University Press, 2011.
- [2] T.F. Pettijohn, G.M. Williams, T.C. Carter, "Music for the Seasons: Seasonal Music Preferences in College Students," in *Curr. Psychol.* 29, 2010, pp. 328–345.
- [3] Nielsen, *Time with Tunes: How Technology is Driving Music Consumption*, 2017. <http://www.nielsen.com/us/en/insights/news/2017/time-with-tunes-how-technology-is-driving-music-consumption> (accessed February 26, 2019).
- [4] M. Clement, *Studie zur Zukunft der Musik*, Lehrstuhl für Marketing & Media, Universität Hamburg, Hamburg, 2018. <https://www.wiso.uni-hamburg.de/projektbuero-angewandte-sozialforschung/aktuelles/2018-09-30-musikdialog/ergebnisse-der-studie-zum-musiknutzungsverhalten.pdf>.
- [5] IFPI, *Global Music Report - Annual state of the industry*, IFPI, 2018. <https://www.ifpi.org/downloads/GMR2018.pdf>.
- [6] Nielsen, *Total Album Equivalent Consumption in the U.S. Increased 23% in 2018*, 2019. <http://www.nielsen.com/us/en/insights/news/2019/total-album-equivalent-consumption-in-the-us-increased-23-percent-in-2018> (accessed February 20, 2019).
- [7] RIAA, *Mid-year 2019 RIAA Music Revenues Report*, 2019. <http://www.riaa.com/wp-content/uploads/2019/09/Mid-Year-2019-RIAA-Music-Revenues-Report.pdf>.
- [8] D. Arditi, "Digital Subscriptions: The Unending Consumption of Music in the Digital Era," in *Pop. Music Soc.* 41, 2018, pp. 302–318.
- [9] M. Schedl, P. Knees, F. Gouyon, "New Paths in Music Recommender Systems Research," in *Proc. Elev. ACM Conf. Recomm. Syst., ACM*, New York, NY, USA, 2017, pp. 392–393.
- [10] E.T. Gaston, "Dynamic Music Factors in Mood Change," in *Music Educ. J.* 37, 1951, pp. 42–44.
- [11] J.A. Sloboda, "Music in everyday life: The role of emotions," in P.N. Juslin, J. Sloboda (Eds.), *Handb. Music Emot. Theory Res. Appl.*, Oxford University Press, 2011.
- [12] B. den Brinker, R. van Dinther, J. Skowronek, "Expressed music mood classification compared with valence and arousal ratings," in *EURASIP J. Audio Speech Music Process.*, 2012, pp. 1–14.
- [13] N. Scaringella, G. Zoia, D. Mlynek, "Automatic genre classification of music content: a survey," in *IEEE Signal Process. Mag.* 23, 2006, pp. 133–141.
- [14] R. Prey, "Knowing Me, "Knowing You: Datafication on Music Streaming Platforms," in M. Ahlers, L. Grünwald-Schukalla, M. Lücke, M. Rauch (Eds.), *Big Data Musik Jahrb. Für Musik.*, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, 2019, pp. 9–21.
- [15] R. Jourdain, *Das wohltemperierte Gehirn: Wie Musik im Kopf entsteht und wirkt*, Springer Spektrum, 1998.
- [16] H. Schramm, R. Kopiez, H. Bruhn, R. Kopiez, A. Lehmann, "Die alltägliche Nutzung von Musik," in *Musikpsychol. Neue Handb.*, Rowohlt, Reinbek bei Hamburg, 2008, pp. 253–265. <https://www.zora.uzh.ch/id/eprint/13197/> (accessed September 12, 2019).
- [17] H. Gembris, "Musikhören und Entspannung. Theoretische und experimentelle Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen situativen Bedingungen und Effekten des Musikhörens," in 1. Aufl. 1985 *Reihe Beitr. Zur Syst. Musikwiss.*, Verlag der Musikalienbuchhandlung, Hamburg, 2006.
- [18] H.-P. Hesse, *Musik und Emotion: Wissenschaftliche Grundlagen des Musik-Erlebens*, Springer-Verlag, Wien, 2003.
- [19] H.-P. Hesse, G. Bernatzky, "Musik in der Pflege," in: R. Likar, G. Bernatzky, D. Märkert, W. Ilias (Eds.), *Schmerzther. Pflege Schulmedizinische Komplementäre Methoden*, Springer, Wien, 2009, pp. 373–385.
- [20] A. Jamdar, J. Abraham, K. Khanna, R. Dubey, "Emotion Analysis of Songs Based on Lyrical and Audio Features," in *Int. J. Artif. Intell. Appl.* 6, 2015, pp. 35–50.
- [21] E.A. Kensinger, "Remembering Emotional Experiences: The Contribution of Valence and Arousal," in *Rev. Neurosci.* 15, 2011, pp. 241–252.
- [22] J.A. Russell, "A circumplex model of affect," in *J. Pers. Soc. Psychol.* 39, 1980, pp. 1161–1178.
- [23] A.E. Krause, A.C. North, "Contextualized music listening: playlists and the Mehrabian and Russell model," in *Psychol. Well-Being.* 4, 2014, pp. 1–16.
- [24] A. Jamdar, J. Abraham, K. Khanna, R. Dubey, "Emotion Analysis of Songs Based on Lyrical and Audio Features," in *Int. J. Artif. Intell. Appl.* 6, 2015, pp. 35–50.
- [25] J. Kim, S. Lee, S. Kim, W.Y. Yoo, "Music mood classification model based on arousal-valence values," in *Int. Conf. Adv. Commun. Technol. ICACT*, 2011, pp. 292–295.
- [26] L. Pollacci, R. Guidotti, G. Rossetti, "Are we playing like Music-Stars? Placing Emerging Artists on the Italian Music Scene," in: *Int. Works. on Machine Learning and Music*, 2016.
- [27] Z. Fu, G. Lu, K.M. Ting, D. Zhang, "A Survey of Audio-Based Music Classification and Annotation," in *IEEE Trans. Multimed.* 13, 2011, pp. 303–319.
- [28] O. Yurur, C.H. Liu, Z. Sheng, V.C.M. Leung, W. Moreno, K.K. Leung, "Context-Awareness for Mobile Sensing: A Survey and Future Directions," in *IEEE Commun. Surv. Tutor.* 18, 2016, pp. 68–93.
- [29] B.-J. Han, S. Rho, S. Jun, E. Hwang, "Music emotion classification and context-based music recommendation," in *Multimed. Tools Appl.* 47, 2010, pp. 433–460.
- [30] J. Yamamoto, M. Kawazoe, J. Nakazawa, K. Takashio, T. Hideyuki, "MOLMOD: Analysis of Feelings based on Vital Information for Mood Acquisition," in *IEICE Tech. Rep. Inst. Electron. Inf. Commun. Eng.* 109, 2009, pp. 63–68.

## Authors Index

- Assmann, Tom, 3
- Badra, Hashem, 67
- Brunzel, Johannes, 53
- Fiedler, Malte, 29
- Galabov, Vassil, 11
- Gankova – Ivanova, Zvetelina, 41
- Gieva, Elitsa, 71
- Greulich, Peter, 61
- Grozdanova, Tomislava, 57
- Gunkel, Gero, 45
- Helmholz, Patrick, 89, 97
- Henke, Jutta, 37
- Hensel, Stefan, 75, 81
- Huttner, Jan-Paul, 85
- Kissling, Martin, 29
- Korova, Irina, 7
- Lamprecht, Jens, 49
- Manoeva, Devina, 3
- Marinov, Marin, 71, 75, 81
- Meyer, Michael, 89, 97
- Nikolov, Georgi, 71
- Nikolov, Petar, 11
- Nikolova, Boyanka, 71
- Noorzai, Wahied, 93
- Ovtcharova, Jivka, 67
- Robra-Bissantz, Susanne, 49, 85, 89, 93, 97
- Schilgen, David, 85
- Schmidt, Johannes, 53
- Schmidt, Stephan, 3
- Schmitt, Max, 81
- Siemon, Dominik, 93
- Sievert, Stefan, 93
- Sofke, Tim, 33
- Sprich, Florian, 75
- Stich, Maja Felicitas, 93
- Temps, Friedrich, 89
- von der Oelsnitz, Dietrich, 53