

GI-Edition



Lecture Notes in Informatics

Björn Gehlsen, André Schnackenburg (Hrsg.)

8. Fachtagung Rechts- und Verwaltungsinformatik (RVI 2025)

Impulse zur digitalen Zeitenwende:
Macht. Wirkung. Verantwortung.

23.–24. Oktober 2025
Hamburg, Deutschland

Proceedings

GESELLSCHAFT
FÜR INFORMATIK



Björn Gehlsen, André Schnackenburg (Hrsg.)

GI Edition Proceedings Band 374

**8. Fachtagung
Rechts- und Verwaltungsinformatik
(RVI 2025)**

**26. und 27. Oktober 2025
Hamburg, Deutschland**

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

Lecture Notes in Informatics (LNI) - Proceedings

Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)

Volume P-374

ISSN 2944-7682 (Online)

Volume Editors

Prof. Dr. Björn Gehlsen

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Berliner Tor 5, 20099 Hamburg, Deutschland

bjoern.gehlsen@haw-hamburg.de

Prof. Dr. André Schnackenburg

Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

Berliner Tor 5, 20099 Hamburg, Deutschland

andre.schnackenburg@haw-hamburg.de

Series Editorial Board

Andreas Oberweis, KIT Karlsruhe,

(Chairman, andreas.oberweis@kit.edu)

Torsten Brinda, Universität Duisburg-Essen, Germany

Dieter Fellner, Technische Universität Darmstadt, Germany

Ulrich Frank, Universität Duisburg-Essen, Germany

Barbara Hammer, Universität Bielefeld, Germany

Falk Schreiber, Universität Konstanz, Germany

Wolfgang Karl, KIT Karlsruhe, Germany

Michael Koch, Universität der Bundeswehr München, Germany

Heiko Roßnagel, Fraunhofer IAO Stuttgart, Germany

Kurt Schneider, Universität Hannover, Germany

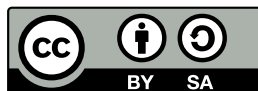
Andreas Thor, HFT Leipzig, Germany

Ingo Timm, Universität Trier, Germany

Karin Vosseberg, Hochschule Bremerhaven, Germany

Maria Wimmer, Universität Koblenz-Landau, Germany

© Gesellschaft für Informatik, Bonn 2025



This book is licensed under a Creative Commons BY-SA 4.0 licence.

Vorwort

Das Ziel der diesjährigen, nunmehr achten Fachtagung Rechts- und Verwaltungsinformatik (RVI 2025) ist es, „Impulse für eine digitale Zeitenwende“ zu generieren, zu diskutieren und in Wissenschaft und Gesellschaft zu transportieren. Sie bietet eine Plattform für den Austausch zwischen Wissenschaft, Verwaltung und Praxis, um Voraussetzungen für eine erfolgreiche Umsetzung innovativer Konzepte der Verwaltungsdigitalisierung zu schaffen. Die RVI 2025 steht damit in der Tradition insbesondere der beiden vorangehenden Fachtagungen des Fachbereichs Informatik in Recht und Öffentlicher Verwaltung (RVI) der Gesellschaft für Informatik in Dresden und Wiesbaden. In deren Nachgang wurden die im Rahmen der Tagungen zusammengestellten 20 Thesen in fünf Handlungsfeldern gruppiert und als „Dresdner Forderungen 2.0“ formuliert [DD2024]. Sie wirken seitdem u.a. als Katalysator für fachliche Diskussionen und finden Eingang in Digitalstrategien [vLu2024].

Die im Motto herausgehobenen Stichpunkte Macht, Wirkung und Verantwortung sollen zunächst den signifikanten Einfluss digitaler Technologien auf (nicht nur) staatliches Handeln verdeutlichen. Ein Verweigern der Beschäftigung und Nutzung digitaler Werkzeuge und Systeme ist schon lange keine Option mehr für Organisationen aller Art und Größenordnungen. Wie dieser Einfluss jedoch wirkt, in welchen Facetten, Reifegraden und mit welchen Auswirkungen auf Individuen, auf Gruppen und auf die Gesellschaft digitale Technologie zum Einsatz kommt, ist nicht trivial vorhersehbar und Gegenstand umfangreicher Betrachtungen im Rahmen der Technikfolgenabschätzung. Gerade im staatlichen und im Verwaltungskontext sind Entscheidungen dazu aber besonders weitreichend und daher mit großer Verantwortung verbunden. Um durch diese Verantwortung nicht unnötig gebremst und damit zum Hindernis von neuen Entwicklungen zu werden, ist eine fachliche Expertise und davor die stetige Weiterbildung unerlässlich, zu der auch die RVI 2025 beitragen möchte.

Was kurz- oder mittelfristig als Staatsmodernisierung angestrebt ist, kann lang- oder auch schon mittelfristig zur notwendigen Bedingung für eine funktionierende Verwaltung und damit zur Demokratiesicherung nicht nur beitragen, sondern auch erforderlich sein.

Der vorliegende Tagungsband dokumentiert die Beiträge der RVI 2025 in Hamburg. Neben den Workshop-Vorschlägen wurden für die diesjährige Tagung 26 wissenschaftliche Beiträge eingereicht, von denen die besten 12 für die Präsentation im wissenschaftlichen Teil der Tagung und den vorliegenden Tagungsband ausgewählt wurden. Das entspricht einer Annahmequote von 46,1 %. Im student track entstand eine Arbeit, die sich mit dem Quantencomputing einer besonders innovativen Technologie widmet und dabei Algorithmen beschreibt, die auch für den Einsatz im Verwaltungskontext aussichtsreich erscheinen.

Die Hochschule für Angewandte Wissenschaften (HAW) Hamburg freut sich, Gastgeberin für die RVI 2025 zu sein. Hier sind die Studiengänge Public Management (B.A. und M.A.) und E-Government (B.Sc.) an der neuen Fakultät Management, Governance und Medien beheimatet sind und wird die Rechts- und Verwaltungsinformatik als interdisziplinäres Lehr- und Forschungsgebiet im Spannungsfeld technischer, juristischer, wirtschafts- und sozialwissenschaftlicher Fragestellungen bewegt.

Unser besonderer Dank gilt allen Vortragenden der RVI 2025. Wir danken aber nicht minder allen Autorinnen, Autoren und weiteren Beteiligten, die zu einem gelungenen Austausch beitragen. Ohne Sie und Euch wäre die RVI 2025 nicht möglich.

Wir hoffen, dass dieser Tagungsband zur weiteren Diskussion anregt und als nachhaltige Dokumentation aktueller Entwicklungen in der Rechts- und Verwaltungsinformatik dient.

Hamburg, 14. Oktober 2025

Björn Gehlsen, André Schnackenburg

Literaturverzeichnis

- [DD2024] Dresdner Forderungen 2.0. <https://fb-rvi.gi.de/mitteilung/dresdner-forderungen-20>

- [vLu2024] von Lucke, J.: Dresdner Brainstorming für eine digitale Zeitenwende zur Staatsmodernisierung. In (von Lucke, J.; Pidun, T.): Modernisierung von Staat und Verwaltung durch künstliche Intelligenz und eine digitale Zeitenwende. The Open Government Institute, Vol. 25, Friedrichshafen, 2024.

Sponsoren

Wir danken den folgenden Unternehmen und Institutionen für die Unterstützung der Konferenz.

BearingPoint

BearingPoint

Dataport

dataport

Freie und Hansestadt Hamburg



Hochschule für Angewandte
Wissenschaften Hamburg

 **HAW
HAMBURG**

Tagungsleitung

Gesamtleitung:

Björn Gehlsen, HAW Hamburg
André Schnackenburg, HAW Hamburg

Programmkomitee

Benedikt Adelman	HAW Hamburg
Prof. Dr. Gunnar Auth,	HSF Meissen
Stefan Eder	Benn-Ibler Rechtsanwälte GmbH, Wien
Björn Gehlsen	HAW Hamburg
Steffen Gilge	Sächsische Staatskanzlei
Thomas Heinze	Duale Hochschule Gera-Eisenach
Holger Hünemohr	Hochschule RheinMain, Wiesbaden
Joscha Krah	HAW Hamburg
Tanja Krins	Stadt Köln
Marianne Mauch	Friedrich-Schiller-Universität Jena
Tim Pidun	HTW Dresden
Michael Räckers	Universität Münster
David Richter	Touro University Berlin
Christian Schachtner	Hochschule RheinMain, Wiesbaden
Marcus Schmidt	Hochschule Harz
André Schnackenburg	HAW Hamburg
Hendrik Scholta	Universität für Verwaltungswissenschaften, Speyer
Christoph Sorge	Universität des Saarlandes, Saarbrücken
Vera Spitzer	Universität Koblenz
Anne-Dore Uthe	Hochschule Harz
Maria A. Wimmer	Universität Koblenz

Organisationsteam

Benedikt Adelman	HAW Hamburg
Björn Gehlsen	HAW Hamburg
Joscha Krah	HAW Hamburg
André Schnackenburg	HAW Hamburg

Inhaltsverzeichnis

Daten im Netz und in der Cloud

Luca Bauer, Robin Fritzsche, Robin Dörnemann, Björn Niehaves

Social Network Analysis: An Exploratory Approach to Identify Brokers of the GovTech Ecosystem 13

Rebecca Finster, Linda Grogorick, Susanne Robra-Bissantz

Navigation im Cyberraum: Die NIS2-Umsetzung in der öffentlichen Verwaltung – mit KOMPASS und SEXTANT 27

Tim Pidun, Dirk Müller, Eric Freudenberg

Evaluation of as well as a Software for a Scoring Model for Public Administration Process Prioritization in Germany 41

Gunnar Auth, Holger Hünemohr, Jörg Schmittwilken, Tobias Siebenlist

Mapping the Research Landscape of Public Administration Digitalization: A Conceptual Framework from the National Perspective of Germany 57

Vera Spitzer, Maria Wimmer

From Print to Platform: Developing a Digital Health Guide 71

Kommune und Anwendung

Georg Opitz, Gunnar Auth

User Tracking auf kommunalen Webpräsenzen 87

Volker Frehe, Lars Sender, Jörg Laufkötter

Digitale Transformation der Kommunalverwaltungen – Herausforderungen und Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des OZG 101

Lina Neele Sophie Agnes Brückweh, Marie-Chantal Hakemeyer, Sarah Schön, Annika Marie Siefken, Ann-Marie Charlott Speckmann, Niklas Korte

Digitale Wahlen mit der BundID: Potenziale zur organisatorischen Entlastung kommunaler Verwaltungsprozesse 117

Marc Wyszynski, Steffen Fock, Björn Niehaves

Restoring Capacity at Work: Evaluating a Virtual Nature Experience for Public Administration Employees 129

Recht und Informatik

David Faber

Juridical Balancing Networks (JBNs) – Ein rechtsinformatischer Impuls für digitale Entscheidungen im Recht 143

Malte Weber, Balaramakrishna Paritala, Abhilash Reddy Rechu, Leila Feddoul, Suresh Kumar Bonagiri, Norman Klewer, Pirmin Mathias Karg, Christoph Unger, Marianne Mauch, Birgitta König-Ries

GerLeRB – German Legislative Retrieval Benchmark 157

Frank Binder, Chris Zenner, Lydia Müller, Lars Görner, Danny Lehmann, Claudia Glausch, Gerhard Heyer

Wie können Automatisierung und Künstliche Intelligenz die Justiz bestmöglich unterstützen? 169

Student Track

Lionel Kehl

Einführung in die Mathematik der Quantencomputer unter Berücksichtigung des Grover-Algorithmus 181

Daten im Netz und in der Cloud

Social Network Analysis: An Exploratory Approach to Identify Brokers of the GovTech Ecosystem

Luca T. Bauer ¹, Robin Fritzsche ², Robin Dörnemann³ and Björn Niehaves ⁴

Abstract: This study explores the structure of entrepreneurial GovTech ecosystems through social network analysis (SNA). Focusing on Germany, we examine how LinkedIn interaction data can represent relationships and regional clusters. While traditional assessments of ecosystems rely on interviews, our approach combines the qualitative and quantitative potentials of SNA. The analysis reveals three findings: (1) significant concentration around few central actors, (2) limited bridging connections between clusters, and (3) discrepancies between perceived and actual network structures. We discuss LinkedIn data as a proxy for public collaboration patterns, emphasizing its value for identifying policy-relevant network gaps despite limitations in capturing private-sector interactions. Our results demonstrate how SNA can operationalize entrepreneurial ecosystem theory to support targeted interventions for digital sovereignty and small- and medium-sized enterprise integration (SME), while highlighting methodological challenges in boundary specification for emerging tech domains. The framework provides actionable metrics for ecosystem orchestration, particularly in supporting SME competitiveness and informing cluster development initiatives.

Keywords: GovTech, Social Network Analysis, Entrepreneurial Ecosystem, Digital Policy, Innovation System

1 Introduction

In recent years, GovTech—a portmanteau of Government and Technology—has attracted significant academic interest [Bh22]. As policymakers recognize the potential of GovTech solutions, the demand for research in this field has intensified [Bh22; Co24], reflecting an emerging consensus on the need to investigate processes of technology diversification in digital government services [DT24]. GovTech’s momentum is further fueled by its distinctive provider landscape, characterized by partnerships between public organizations and small- to medium-sized enterprises (SMEs) [NK24; We25]. According to the European Commission, these collaborative ventures are designed to

¹ University of Bremen, Digital Public, Bibliothekstraße 5, 28359 Bremen, Germany, bauerl@uni-bremen.de,

 <https://orcid.org/0009-0003-6140-9918>

² University of Osnabrück, Institute for Cognitive Sciences, Wachsbleiche 27, 49090 Osnabrück, Germany,

rofritzsche@uni-osnabrueck.de  <https://orcid.org/0009-0002-8784-585X>

³ University of Bremen, Digital Public, Bibliothekstraße 5, 28359 Bremen, Germany, robdoe@uni-bremen.de,

⁴ University of Bremen, Digital Public, Bibliothekstraße 5, 28359 Bremen, Germany, niehaves@uni-bremen.de,  <https://orcid.org/0000-0002-2682-6009>

advance the digital transformation of government institutions [Co24]. In such partnerships, SMEs—often highly specialized technology startups—offer innovative solutions to the challenges faced by public administrations [Bh22; HG07].

The development of an effective GovTech ecosystem hinges not only on technology adoption, but also on the active involvement and contributions of providers, startups, and their founders [DHK25]. This entrepreneurial foundation positions GovTech squarely as an entrepreneurial ecosystem [Is16], where innovation and public-private collaboration are intricately linked. Each new digital solution represents an outcome of entrepreneurial initiative tailored to meet public sector needs [GV23]. Consequently, understanding GovTech requires examining it as a dynamic ecosystem that fosters technological advancement through entrepreneurial activity within public administration contexts dependent on brokerage actors [PWZ21].

A major challenge in evaluating this ecosystem is the reliance on traditional qualitative methods, such as interviews, which may introduce biases and fail to capture the full spectrum of interactions [Ca15; MN13; No18]. In response, a growing body of literature advocates for the use of comprehensive datasets and quantitative metrics to provide a clearer, more nuanced picture of GovTech dynamics [Me22]. Data-driven approaches like social network analysis (SNA) offer a promising avenue, as they allow for the assessment of both macro-level network structures and micro-level interactions, shedding light on startup activity, key stakeholders, and modes of inter-organizational cooperation [NK24].

***RQ:** How can social network analysis support digital policy by assessing formal structures and identifying central actors within entrepreneurial GovTech-ecosystems?*

In addressing this question, this study adopts a big-data approach using publicly available LinkedIn data, supplemented by additional sources. It is important to note that while LinkedIn mentions serve as accessible indicators of public interactions, they capture only the visible segment of the network, as many collaborations take place through private channels. This methodological limitation is openly discussed to ensure transparency in interpreting the empirical findings.

2 Conceptual Background

2.1 National Innovation Systems as Entrepreneurial Ecosystems

Innovation in the public sector increasingly depends on complex interactions between diverse stakeholders, including startups, public administrations, research institutions, and intermediaries [DT24]. This complexity can be understood through the lens of innovation systems and entrepreneurial ecosystems [NK24].

Innovation systems refer to networks of organizations and institutions whose interactions drive the development, diffusion, and use of innovations [EH00]. In the public sector, this involves policy frameworks, funding mechanisms, regulatory conditions, and most importantly the interplay between suppliers and users of technology. As technological complexity grows, so does the reliance on external innovators—particularly SMEs and startups—for specialized digital solutions [KDK22; NNU23]. Entrepreneurial ecosystems provide a more granular perspective by focusing on the conditions that support startup-led innovation in specific domains or regions. Popularized by Isenberg [Is16], this framework identifies six core pillars—policy, finance, culture, human capital, markets, and support structures as essential components to build interaction on. In the case of GovTech, these pillars converge around public sector demand and startup supply, mediated by regulatory and procurement environments [NK24; We25].

Importantly in our case, GovTech ecosystems differ from typical entrepreneurial systems in that the state is both regulator and market actor being part of (at least) two pillars of not more [NK24]. This dual role blurs boundaries between economic policy and public governance, requiring transparency and intentional orchestration to prevent conflicts of interest [CP19; Nä24]. To understand how digital transformation unfolds in this hybrid space, it becomes relevant to study not only who participates in which role, but how these actors are connected and collaborate across structural boundaries. Thus finding brokerage actors may enable target structural policy that does not have to decide whether to be economic or public digital transformation policy [PWZ21].

2.2 Social Media Based Social Network Analysis

Identifying otherwise invisible relationships has been one of the key factors leading to the development of network analysis methods. The analysis of systems represented as networks has been of prolonged research interest in different domains from sociology, economics and politics [Fr04; Ta18] to physics [Ci19], neuroscience [Ge14] and computer science [MP43], we focus on the social dimensions. Social network analysis (SNA) has roots in early 20th-century social theory. Coming from a formal sociology theory, interactionist approaches were developed that described the underlying formal structures of social life with the metaphor of connecting 'points' (nodes) and 'lines' (edges) to describe networks [Sc12]. Nodes represent entities and edges represent relations between these entities. These entities can be single persons, groups or also organizations like companies. SNA comprises many different methods that developed alongside the progress in computing power and more refined software systems.

According to Freeman the four guiding principles of SNA are "1. [SNA] is motivated by a structural intuition based on ties linking social actors, 2. It is grounded in systematic empirical data, 3. It draws heavily on graphic imagery, and 4. It relies on the use of mathematical and/or computational models" [Fr04]. Often social networks are accounted for as undirected graphs, where connections are symmetric because of bidirectional

relations. In this paper we are interested in directed graphs as we use mentions of persons and companies as measures of relational importance to other actors of the network.

Social media platforms like Facebook, Instagram, and LinkedIn gather massive amounts of data from their users. The application of SNA to social media data can provide insights into individual behavior and also enables the study of large-scale social dynamics, such as community formation, the spread of innovation, and labor market trends [Hi17]. LinkedIn is an especially interesting case, as the platform is focused on professional interaction [Br11]. Through their own participation, users provide detailed information on their educational and vocational backgrounds. Furthermore, networking behavior such as connection requests, endorsements, group memberships, and interactions in comment threads can be used to assess the structure and strength of user relations. This structured and unstructured data makes LinkedIn a particularly valuable source for Social Network Analysis (SNA). Companies use LinkedIn accounts and posts as a marketing tool to achieve a more prominent presence in the cyberspace. Especially startups use social media platforms as a cost efficient way to promote themselves and their products [Wa25]. As LinkedIn is based on public interaction and connection it provides valuable insight into the relations between different companies. In this paper we are interested in the application of SNA on data from LinkedIn to understand the relations between GovTech companies.

2.3 The Case for GovTech

Our case for this analysis—namely GovTech—aligns with a recent trend in European digital public policymaking [Co24]. GovTechs, short for government technology, are providers of digital solutions developed specifically for use in public administration, often by SMEs and startups [Bh22]. According to the European Union, GovTech includes technology-driven partnerships that support the digital transformation of public institutions, particularly through collaboration with startups and SMEs [Co24]. GovTech ecosystems bring together diverse actors—public administrations, private innovators, investors, research institutions, and intermediaries—to co-create public value through technology, and are thus a prime case of entrepreneurial ecosystems [NK24]. These ecosystems are simultaneously entrepreneurial (driven by startups and innovation) and institutional (shaped by policy, procurement, and public mandates) [Ku22; Me22; We25]. As such, they represent a hybrid form of innovation system that requires adapted coordination and governance.

The attributed role of startups in GovTech ecosystems lies in their agility and ability to address niche public sector needs through agile developed technologies [Bh22; Ku22]. However, their success depends on access to resources, supportive policies, and meaningful collaboration with public agencies. Identifying the structure and functioning of these ecosystems is therefore highly relevant for developing targeted interventions, whether through cluster policy, procurement reform, or digital sovereignty strategies

[DHK25; DT24; EH23]. To manage these ecosystems effectively, policymakers and researchers need tools that go beyond anecdotal evidence. A first entry point to analyze such are brokerage organizations that give access to further parts of the ecosystem [PWZ21]. Network-based approaches allow for the identification such, providing actionable insights into how digital transformation is being orchestrated in practice.

3 Method and Data Collection

3.1 Data Generation

To assess the relevant actors within the German GovTech ecosystem, a comprehensive data collection process was conducted in two steps. Initially, desk research was performed to compile a list of potential GovTech companies. This involved analyzing federal and national databases, such as the German Startup Monitor and official registries, as well as pertinent news outlets focusing on startups operating in the public sector. The selection criteria were based on the European Commission’s definition of GovTech [Co24]. Specifically, we targeted startups and SMEs developing technological solutions tailored for public administrations, thereby distinguishing them from larger enterprises and general tech companies. This resulted in a list of 213 potentially relevant actors. Additional GovTechs were identified through recommendations and snowball sampling during the research process, culminating in a total of 256 companies and over 400 founders. It is important to note that the identification of GovTechs was not based on LinkedIn data; rather, LinkedIn profiles were collected subsequently to facilitate further analysis.

Following, we employed social network analysis based on publicly accessible LinkedIn data to assess relationships and connections within the entrepreneurial GovTech ecosystem. While recognizing that LinkedIn interactions represent only publicly visible engagements and may not fully capture private collaborations, this approach provides valuable insights into the network structure [Br11; MN13]. Data collection was carried out in December 2023, resulting in a dataset that includes 256 LinkedIn profiles of GovTech companies and a total of 403 profiles of their founders. We utilize five key datasets to support our analysis. The *Companies Database* details 256 GovTech companies’ locations, sizes, and technological focuses. The *Persons Database* profiles 403 founders, including their professional and regional backgrounds. The *Person2Company Database* links founders to their companies, facilitating a comprehensive overview of entrepreneurial activity. The *Posts Database* records 13,614 LinkedIn posts with metadata (e.g., timestamps, likes, comments), while the *Mentions Database* captures 35,581 instances of public interactions among network actors. Nevertheless, we acknowledge that LinkedIn data only reflects publicly visible interactions and is thus limited.

3.2 Data Handling

The data handling process was designed for accuracy and transparency. First, a cleansing step removed duplicates and irrelevant entries, enhancing data quality. We limited the dataset to interactions up to December 2023 to reflect the current GovTech ecosystem rather than outdated structures [Ma18]. Only mentions where both the author and the mentioned entity were recognized GovTech companies or founders were retained, ensuring a focused examination of intra-ecosystem interactions. For aggregation, mentions of a company's founder were treated as mentions of the company itself; thus, if a founder from company A mentioned company B, it was recorded as an interaction between the two companies, in line with common SNA practices [Za00]. While additional influential actors (e.g., investors, policymakers, academic institutions) emerged, they were acknowledged but excluded from the quantitative network analysis [Me22; NK24]. Finally, although LinkedIn data only captures public interactions—omitting private communications—its professional nature justifies its use for this study [Br11; No18].

4 Results

4.1 Overall Centralities

Visualizing relevant actors in social network, in this case a GovTech-ecosystem, is best to be approached by measuring centralities [Ta18]. Accordingly we created barcharts that compare the top 5 companies for each of the three centrality measures: *Degree Centrality*, *Betweenness Centrality*, and *Eigenvector Centrality*, providing an overview of how different companies rank across these centralities, which reflect various aspects of influence within the GovTech-ecosystem. *Degree Centrality*: This metric measures how many direct connections a company has within the network. Companies with high degree centrality are well-connected and play a key role in facilitating interactions between other entities. *Betweenness Centrality*: This metric identifies companies that act as intermediaries or "bridges" between different parts of the network. These companies are crucial for maintaining communication and collaboration across otherwise disconnected groups. *Eigenvector Centrality*: This metric highlights companies that are connected to other well-connected entities. It reflects not only how many connections a company has but also the relevance and power of those connections.

The combined bar chart allows us to see which companies consistently rank highly across all three metrics, indicating their overall importance in the GovTech-ecosystem, see Fig. 1. The anonymized company names (e.g., gt_1, gt_2, etc.) are used to protect confidentiality while still providing insight into their relative influence.

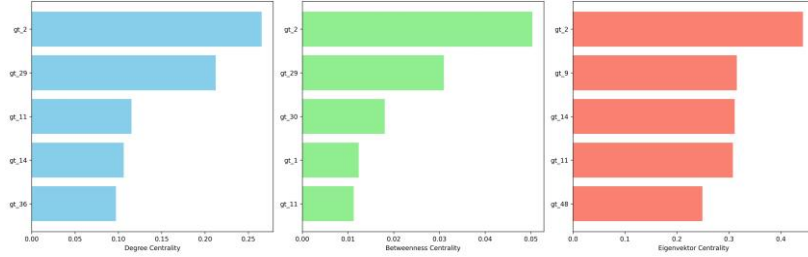


Fig. 1: Centrality Values for Top 5 GovTechs

The GovTech *gt_2* has the highest centrality across the measures of degree, betweenness and eigenvector centrality with values of 0.28, 0.06, and 0.43. Approaching the overall ecosystem evolution, we can deduce that *gt_2* plays a role relevant enough to have to be considered as starting point for interventions. Comparing the maximum centrality values shows gives another insight. The eigenvector centrality is highest with 0.43, showing that the best connected GovTechs share ties, are connected between each other, indicating a vibrant connection on the top level. The low level of betweenness centrality of 0.06 further supports such hypothesis for the ecosystem, as it shows that even the most well connected only seldomly play a bridging function between parts of the ecosystem. This may both be because the ecosystem as a whole is well connected or because regional clusters are weak.

4.2 Community Visualization

Providing information for digital policy is not only a question of handling data, but also how it can be made assessable to relevant stakeholders [Ma20]. To approach this, we visualized the network structures using community detection algorithms for each centrality measure. These visualizations help an intuitive understanding on how companies are grouped into communities based on their interactions and how central they are within them. In the following visualizations, the *node size* represents the centrality measure being analyzed (*Degree*, *Betweenness*, or *Eigenvector Centrality*). Larger nodes correspond to companies with higher centrality values, indicating their importance within the network. The *node color* indicates community membership, with each color representing a distinct group of companies that interact more frequently with each other than with companies outside their community. Finally, the *edges* represent the interactions between companies, where thicker edges signify stronger or more frequent interactions.

4.3 Social Network - Degree Centrality

The graph below depicts the top 20 companies by degree centrality, see Fig. 2. Nodes represent companies, and edges represent interactions between them. The size of each

node is proportional to its degree centrality, meaning that larger nodes have more direct connections. The nodes are colored based on their community membership, which was detected using the Louvain community detection algorithm [Me11].

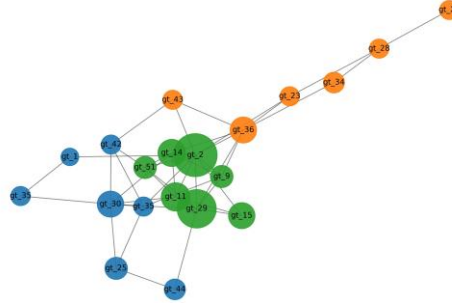


Fig. 2: Degree Centrality Visualized for Top 20 GovTechs

This visualization helps identify key players that are highly connected within their respective communities and across the entire network. As visible, we have three clusters within the top 20 in the network, marked in the colors blue green, and orange. Of those the green clusters has the largest GovTechs, with gt_2 once again showing the highest centrality and gt_29 coming second. This indicates a higher importance of their partial network, the cluster. Companies with large nodes in multiple communities may serve as important hubs for collaboration.

4.4 Social Network - Betweenness Centrality

The following graph shows the top 20 companies by betweenness centrality, see Fig. 3. In this case, node sizes reflect betweenness centrality values, meaning that larger nodes are more critical for connecting different parts of the network. The colors again represent community membership. This visualization highlights key intermediaries that facilitate communication between otherwise disconnected groups in the GovTech ecosystem. Once again gt_2 and gt_29 are visibly the most central actors, but this time we can see, that there are more clusters in blue, green, purple, orange, brown and red. Nevertheless, while others are partially connected, gt_2 has the highest number of ties overall. Companies with high betweenness centrality play a crucial role in maintaining the flow of information and resources across different parts of the network, serving as connectors between them.

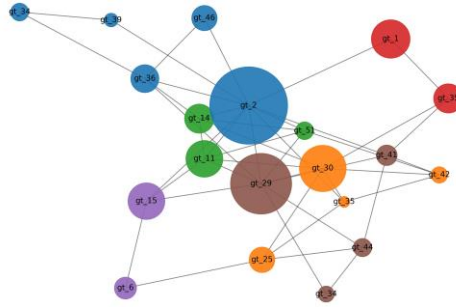


Fig. 3: Betweenness Centrality Visualized for Top 20 GovTechs

4.5 Social Network - Eigenvector Centrality

Finally, we present a network visualization based on eigenvector centrality, see Fig. 4. In this graph, node sizes reflect eigenvector centrality values, with larger nodes connected to other influential nodes. As before, colors indicate community membership.

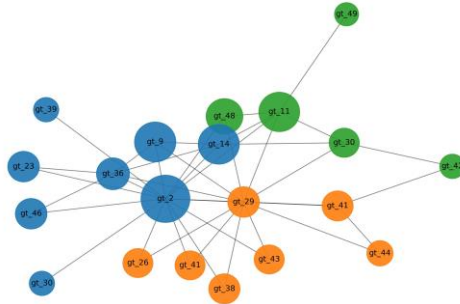


Fig. 4: Eigenvector Centrality Visualized for Top 20 GovTechs

As visible, gt_2 remains the most central GovTech, but the next ranked ones change drastically, while also reducing the difference in centrality between the first and third ranked GovTech. This visualization emphasizes influential actors also connected to other key players in the GovTech ecosystem. These companies hold sway over how information flows through their respective communities and beyond.

5 Discussion

This study demonstrates how social network analysis can be leveraged to support digital policy by assessing formal structures and identifying central actors within entrepreneurial GovTech ecosystems in Germany. By applying SNA to publicly available LinkedIn data, we were able to map the network dynamics of the German

GovTech ecosystem, identifying key actors, their relationships, and regional clusters. Our findings indicate that while SNA can effectively highlight central actors based on degree centrality, betweenness centrality, and eigenvector centrality [Ca15; We83], there are inherent limitations due to the reliance on publicly visible data. The analysis reveals a concentration around a few central actors and limited bridging connections between regional clusters, suggesting that the ecosystem, despite regional hubs, operates largely on a national level [Ma20; NK24]. Moreover, discrepancies between the perceived network structures and the actual network dynamics indicate that additional, perhaps informal or private, interactions play a significant role [Kr87]. Despite these limitations, SNA may provide valuable insights for digital policymakers aiming to develop targeted GovTech strategies. By identifying central actors and regional clusters, policymakers can tailor interventions to strengthen networks, support under-connected actors, and foster collaboration across regions. This data-driven approach aligns with the need for robust quantitative metrics to inform policy decisions in the rapidly evolving GovTech landscape [Me22]. In conclusion, the use of SNA offers a useful tool for understanding and enhancing GovTech ecosystems. It enables a nuanced assessment of the ecosystem's structural properties, facilitating informed policy-making that can drive innovation and digital transformation within the public sector.

6 Limitations and Outlook

This study highlights the potential of social network analysis (SNA) for mapping and understanding entrepreneurial GovTech ecosystems [NK24]. However, several limitations must be noted. First, LinkedIn data captures only publicly visible interactions, which may overrepresent communication-active actors and exclude key but less visible stakeholders. Second, the focus on startups and founders omits other important ecosystem participants—such as public agencies, investors, and intermediaries—limiting the scope of network analysis, as caused by our broker focus [PWZ21]. Third, centrality metrics offer structural insights but do not reflect the quality, depth, or intent behind interactions [Sc12]. Despite these constraints, the study provides a replicable framework for ecosystem monitoring using digital trace data. Seeing the results of our study as a possible proof of concept, future research should expand the actor base focusing specifically on which non-startup actors can be identified. Following, data can be used to map relevant public, private and civic organizations relevant to the GovTech ecosystem. Furthermore, enriching the analysis by incorporate textual analysis of content, and integrate policy or procurement data to better align network insights with public sector goals may be fruitful. A more comprehensive view of GovTech ecosystems will support data-informed governance and targeted digital policy interventions.

Bibliography

- [Bh22] Bharosa, N.: The rise of GovTech: Trojan horse or blessing in disguise? A research agenda. *Government Information Quarterly* 39, PP. 101692, 2022.
- [Br11] Bradbury, D.: Data mining with LinkedIn. *Computer Fraud & Security* 2011(10), PP. 5–8, 2011.
- [Ca15] Cao, J. et al.: A Systematic Review of Social Networks Research in Information Systems: Building a Foundation for Exciting Future Research. *Communications of the Association for Information Systems* 36, PP. 37, 2015.
- [Ci19] Cimini, G. et al.: The statistical physics of real-world networks. *Nature Reviews Physics* 1(1), PP. 58–71, 2019.
- [Co24] Commission of the European Union: Regulation (EU) 2024/903 of the European Parliament and of the Council of 13 March 2024 laying down measures for a high level of public sector interoperability across the Union (Interoperable Europe Act), 2024.
- [CP19] Cordella, A.; Paletti, A.: Government as a platform, orchestration, and public value creation: The Italian case. *Government Information Quarterly* 36, PP. 101409, 2019.
- [DHK25] Daßler, L.; Hein, A.; Krcmar, H.: GovTech Incubators: Bridging the Gap Between Prototypes and Long-Term Implementation. In (Lindgren, I. et al., Hrsg.): *Electronic Government. EGOV 2025. Lecture Notes in Computer Science*, vol 15944. Springer, Cham, PP. 164–179, 2025.
- [DT24] Degen, K.; Teubner, T.: Wallet wars or digital public infrastructure? Orchestrating a digital identity data ecosystem from a government perspective. *Electronic Markets* 34, PP. 50, 2024.
- [EH00] Edquist, C.; Hommen, L.: *Public Technology Procurement and Innovation Theory*. PP. 5– 70, 2000.
- [EH23] Exmeyer, P.C.; Hall, J.L.: High time for a higher-level look at high-technology: Plotting a course for managing government information in an age of governance. *Public Administration Review* 83, PP. 429–434, 2023.
- [Fr04] Freeman, L.C.: *The development of social network analysis: a study in the sociology of science*. Empirical Press, Vancouver, BC, 2004.
- [Ge14] Gerstner, W. et al.: *Neuronal Dynamics: From Single Neurons to Networks and Models of Cognition*. Cambridge University Press, 2014.
- [GV23] Giulio, M.D.; Vecchi, G.: Implementing digitalization in the public sector. Technologies, agency, and governance. *Public Policy and Administration* 38, PP. 133–158, 2023.

- [HG07] Hodge, G.A.; Greve, C.: Public–Private Partnerships: An International Performance Review. *Public Administration Review* 67, PP. 545–558, 2007.
- [Hi17] Himelboim, I.: Social Network Analysis In: *The International Encyclopedia of Communication Research Methods*. John Wiley & Sons, Ltd, PP. 1–15, 2017, Stand: 19.06.2025.
- [Is16] Isenberg, D.J.: Applying the Ecosystem Metaphor to Entrepreneurship. *The Antitrust Bulletin* 61, PP. 564–573, 2016.
- [KDK22] Kattel, R.; Drechsler, W.; Karo, E.: *How to make an entrepreneurial state: why innovation needs bureaucracy*. Yale University Press Publications, 2022.
- [Kr87] Krackhardt, D.: Cognitive social structures. *Social Networks* 9, PP. 109–134, 1987.
- [Ku22] Kuziemski, M. et al.: *GovTech Practices in the EU*, 2022.
- [Ma18] Malecki, E.J.: Entrepreneurship and entrepreneurial ecosystems. *Geography Compass* 12, 2018.
- [Ma20] Majeed, S. et al.: Social Network Analysis Visualization Tools: A Comparative Review. *Proceedings - 2020 23rd IEEE International Multi-Topic Conference*, 2020.
- [Me11] Meo, P.D. et al.: Generalized Louvain method for community detection in large networks. *International Conference on ISDA*, PP. 88–93, 2011.
- [Me22] Mergel, I. et al.: *Scoping GovTech dynamics in the EU*, 2022.
- [MN13] Mochalova, A.; Nanopoulos, A.: On The Role Of Centrality In Information Diffusion In Social Networks. *ECIS 2013 Completed Research*, 2013.
- [MP43] McCulloch, W.S.; Pitts, W.: A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics VOLUME* 5, 1943.
- [Nä24] Nätti, S. et al.: Orchestrating Customer-Oriented Public-Private Ecosystem. *Communications in Computer and Information Science* 2083 CCIS, PP. 223–230, 2024.
- [NK24] Niehaves, B.; Klassen, G.: *GovTech in Europe: influencing factors, common requirements and recommendations*, 2024.
- [NNU23] Nakamura, E.; Nakaoka, T.; Urakami, T.: Can Public-Private Partnership Bring Benefits in Shrinking Public Service? An Empirical Analysis of the Lock-In Effect Versus CostReducing Effect. Preprint, 2023.
- [No18] Nooraie, R.Y. et al.: Social Network Analysis: An Example of Fusion Between Quantitative and Qualitative Methods. <https://doi.org/10.1177/1558689818804060> 14, PP. 110–124, 2018.
- [PWZ21] Pittz, T.G.; White, R.; Zoller, T.: Entrepreneurial ecosystems and social network centrality: the power of regional dealmakers. *Small Business Economics* 56, PP. 1273–1286, 2021.

-
- [Sc12] Scott, J.: What is social network analysis? Bloomsbury Publishing Plc, 2012.
- [Ta18] Tabassum, S. et al.: Social network analysis: An overview. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Data Mining and Knowledge Discovery* 8, e1256, 2018.
- [Wa25] Wallop, H.: LinkedIn has changed but it's still a useful tool for start-ups. *The Times*, 2025.
- [We25] Westermann, J. et al.: Breaking Tech Monopolies: The Role of Public Procurement in Fostering SME-Led Innovation in Europe. In: *International Conference on Digital Government Research (dg.o 2025)*. Bd. 1, PP. 1–15, 2025.
- [We83] Wellman, B.: Network Analysis: Some Basic Principles. *Sociological Theory* 1, PP. 155, 1983.
- [Za00] Zack, M.H.: Researching organizational systems using social network analysis. *Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences*, PP. 195, 2000.

Navigation im Cyberraum: Die NIS2-Umsetzung in der öffentlichen Verwaltung - mit KOMPASS und SEXTANT

Rebecca Finster ¹, Linda Grogorick ² und Susanne Robra-Bissantz ¹

Abstract: Ohne Kompass und Sextant droht der Kursverlust – das gilt nicht nur auf hoher See, sondern auch für die NIS2-Transformation der öffentlichen Verwaltung. Während Organisationen ihren Sicherheitsreifeegrad strategisch planen müssen, hängt der Erfolg dieser Maßnahmen ebenso von den individuellen Kompetenzen der Mitarbeitenden ab. Mit SEXTANT und KOMPASS werden aktuell zwei Modelle entwickelt, die eine präzise Positionsbestimmung für die organisationale und individuelle NIS2-Reife ermöglichen. SEXTANT misst die Entwicklungen und Abweichungen vom strategischen Kurs, während KOMPASS die individuelle Kompetenzentwicklung anpeilen soll. Gemeinsam unterstützen sie die Organisation als Ganzes dabei, ihre Mitarbeitenden sicher durch die komplexen Anforderungen von NIS2 zu steuern.

Keywords: NIS2, Informationssicherheit, Kompetenz, Öffentliche Verwaltung, Reifegradmodell

1 Einleitung und Problemraum

Mit der steigenden Digitalisierung von Verwaltung, Wirtschaft und Gesellschaft und einer Verlagerung von Konflikten in den Cyberraum wächst die Notwendigkeit, auch diesen digitalen Raum immer weiter abzusichern. [Sc25] Die Europäische Kommission verfolgt dafür mit der NIS2-Richtlinie das Ziel eines einheitlich hohen Cybersicherheitsniveaus in allen Mitgliedstaaten. Wesentliche Neuerungen sind erweiterte Meldepflichten, Einbeziehung der öffentlichen Verwaltung als kritischer Sektor und verpflichtende Schulungen. Damit gewinnen nicht nur technische Sicherheitsvorkehrungen, sondern auch organisationsinterne Kompetenzen sowie die individuelle Befähigung von Mitarbeitenden an zentraler Bedeutung. Um die Anforderungen der NIS2-Richtlinie zu erfüllen, müssen Behörden nachweislich über bestimmte Kompetenzen verfügen, darunter Kenntnisse in Informationssicherheitsmanagement (ISMS), Business Continuity Management (BCM), rechtlichen Grundlagen, Meldeprozessen und technischen Schutzmaßnahmen. [Eu22a]

¹ Technische Universität Braunschweig, Inst. f. Wirtschaftsinformatik - Service-Informationssysteme, Mühlenpfordtstraße 23, 38106 Braunschweig, Deutschland, r.finster@tu-braunschweig.de,  <https://orcid.org/0000-0002-1686-9566> s.robra-bissantz@tu-braunschweig.de,  <https://orcid.org/0000-0001-9972-3935>

² Bergische Universität Wuppertal, Didaktik der Informatik, Gaußstraße 20, 42097 Wuppertal, Deutschland, grogorick@uni-wuppertal.de,  <https://orcid.org/0000-0003-0270-2666>

Bis Herbst 2027 muss jeder Mitgliedstaat die Umsetzung der NIS2-Richtlinie nachweisen [Eu22a]. In Deutschland stellt der Föderalismus dabei eine zusätzliche Herausforderung für die Landesverwaltungen dar, da die Umsetzung nicht zentral, sondern dezentral auf Ebene der Bundesländer erfolgt. Die Kommunen sind aktuell durch einen Beschluss des IT-Planungsrates von der NIS2-Umsetzung ausgenommen [It23].

Zum aktuellen Zeitpunkt ist die Gesetzgebung auf Bundesebene allerdings noch nicht abgeschlossen und die EU hat noch keine detaillierten Informationen zu den Nachweispflichten veröffentlicht, sodass die Bundesländer bei der Umsetzung bisher auf sich allein gestellt sind. Als ein möglicher Ansatz zur Unterstützung der Umsetzung werden von den Arbeitsgruppen der Länder, wie z.B. in der UAG NIS2 des IT-Planungsrates, Reifegradmodelle diskutiert.

1.1 Reifegradmodelle

Ein Reifegradmodell ermöglicht die Analyse des aktuellen Reifegrads einer Organisation und die gezielte Planung von Verbesserungsmaßnahmen durch standardisierte Bewertungsmethoden. Der Ursprung der Reifegradmodelle liegt im IT-Management, wo sie zur Stärkung von Governance und Effizienz beigetragen haben [BKP09; We12]. Laut Becker; Knackstedt; Pöppelbuß [BKP09] beschreibt ein Reifegradmodell eine Abfolge von Entwicklungsstufen für eine Objektklasse, die einen angestrebten Fortschritt vom Anfangsstadium bis zur vollständigen Reife abbildet.

Im Bereich der Informations- und Cybersicherheit werden Reifegradmodelle eingesetzt, um den spezifischen Anforderungen an die Sicherung digitaler Infrastrukturen gerecht zu werden. Zum Beispiel entwickelten Al-Matari et al. [Al21] ein Modell, das Organisationen basierend auf der Technologienutzung und Prozessfähigkeit, mit dem Ziel, systematisch Lücken in der Reaktionsfähigkeit im Bereich Cybersicherheit abzubauen, kategorisiert. Im Gegensatz dazu fokussiert sich das Modell von Zammani; Razali; Singh [ZRS21] auf ein umfassenderes Informationssicherheitsmanagement, das nicht nur technologische, sondern auch organisatorische und strategische Faktoren einbezieht. Im regulatorischen Kontext führten Drivas et al. [Dr20] ein Rahmenwerk ein, das mit der NIS1-Richtlinie konform ist und die Ausrichtung des Modells auf strenge regulatorische Anforderungen zeigt. Rehbohm; Moses [RM23] analysierten, wie die NIS2-Anforderungen die Cybersicherheitsarchitekturen auf staatlicher Ebene beeinflussen und welche Anpassungen notwendig sind, um ein effektives Kontroll- und Steuerungsinstrument für die Umsetzung dieser Vorgaben zu schaffen. Ihr Fokus lag dabei auf der Integration von Reifegradmodellen als Mittel zur Bewertung und Weiterentwicklung von Sicherheitsmaßnahmen in Behörden und kritischen Infrastrukturen auf organisationaler Ebene. Auch das RUN-Rahmenwerk des BSI bietet eine standardisierte Methode zur Reifegradbewertung kritischer Infrastrukturen im Kontext der NIS2-Anforderungen und verweist auf aktuelle regulatorische Entwicklungen [BS25]. Im amerikanischen Raum ist das Cybersecurity-Framework (CSF) des National Institute of Standards and Technology

(NIST) verbreitet, welches eine risikobasierte Taxonomie mit Cybersicherheits-Outcomes und Reifegraden beinhaltet [Na24].

Die Entwicklung von Reifegradmodellen folgt oft einem Design Science-Ansatz [BB22; We12], der darauf abzielt, innovative Artefakte zu entwickeln, um die Fähigkeiten von Individuen und Organisationen zu erweitern. Dieser iterative Problemlösungsprozess umfasst die Gestaltung, Evaluierung und Anpassung von Modellen, um spezifische Herausforderungen effektiv zu adressieren [He04; Me11]. Mettler [Me11] beschreibt die Entwicklung von Reifegradmodellen im Design Science-Ansatz als mehrstufigen Prozess: Zuerst wird der Bedarf analysiert und der Problemraum definiert. Daraufhin folgt die Festlegung des Anwendungsbereichs und der Maßnahmen zur praktischen Umsetzung und Anwendung des Modells. Anschließend wird das Modell implementiert, evaluiert und kontinuierlich verbessert, um eine nachhaltige Nutzung sicherzustellen.

Er hebt auch hervor, dass Reifegradmodelle oft an der praktischen Umsetzung scheitern, da Organisationen Schwierigkeiten haben, Wissen in konkrete Handlungen zu überführen (Knowing-Doing-Gap). Beispielsweise kennen Organisationen zwar Sicherheitsrichtlinien und Best Practices, können diese aber selten effektiv umsetzen. Die Integration persönlicher Bereitschaft in Reifegradmodelle erhöht deren Effektivität, indem sie sicherstellt, dass Wissen direkt in konkrete Maßnahmen umgesetzt wird [Bo24]. Die persönliche Bereitschaft ist gerade in der Informationssicherheit entscheidend, da Einzelpersonen innerhalb einer Organisation gut geschult, bewusst und darauf vorbereitet sein müssen, Sicherheit praktisch umzusetzen [Fi23]. Um der Knowing-Doing-Gap entgegenzuwirken, definiert Mettler [Me11] mehrere Entscheidungsparameter für die Entwicklung von Reifegradmodellen: den spezifischen Anwendungsbereich, die Zielgruppe, die Modellstruktur, die Skalierbarkeit und die Evaluationsmethoden.

1.2 Kompetenzanforderungen der NIS2-Richtlinie

Vor dem Hintergrund der Knowing-Doing-Gap rückt die systematische Entwicklung individueller Sicherheitskompetenzen in den Fokus regulatorischer und organisatorischer Ansätze. Das Digital Competence Framework for Citizens (DigComp) der Europäischen Kommission bietet eine geeignete Struktur, um die für eine NIS2-konforme Sicherheitskultur erforderlichen Fähigkeiten systematisch einzuordnen. Insbesondere die Bereiche „Sicherheit“, „Informations- und Datenkompetenz“ sowie „Problemlösung“ adressieren jene Fähigkeiten, die notwendig sind, um individuelles Wissen in wirksames Handeln zu überführen. Finster et al. [Fi23] argumentieren, dass Sicherheitsbewusstsein als Teil digitaler Basiskompetenz nicht punktuell adressiert werden dürfe, sondern Teil einer kontinuierlich zu entwickelnden Kompetenzstrategie sei, die individuelles Handeln, organisationales Lernen und strategische Sicherheitsziele verbindet.

Dieser Anspruch zeigt sich exemplarisch im Bereich „Sicherheit“, der nicht nur technisches Schutzwissen, sondern auch Datenschutzbewusstsein, Risikowahrnehmung und resilientes Verhalten umfassen kann. Studien wie die von Burström; Petersson

[BP24] sowie Rehnstam; Winquist; Hacks [RWH25] verdeutlichen, dass genau hier, insbesondere bei Zuständigkeiten, interner Kommunikation und strategischer Steuerung, häufig Defizite bestehen. Die Dimension „Problemlösung“ spiegelt die Fähigkeit wider, Sicherheitsvorfälle zu bewältigen, Schwachstellen systematisch zu behandeln und kontinuierliche Verbesserungsprozesse in Sicherheitsstrukturen zu verankern. Technische Kompetenzen wie Netzwerksicherheit, Monitoring oder sichere Konfigurationen wiederum können der DigComp-Dimension „Informations- und Datenkompetenz“ zugeordnet werden, sofern sie auf die strukturierte Erfassung, Bewertung und Handhabung sicherheitsrelevanter Informationen zielen. Zur strukturierten Operationalisierung solcher Kompetenzen stellt die ENISA mit dem European Cybersecurity Skills Framework (ECSF) ein erweitertes Rollenmodell bereit, das Wissen, Fähigkeiten und Aufgabenprofile in sicherheitsrelevanten Funktionen systematisch zuordnet [Eu22b]. Die strategische Relevanz solcher Kompetenzentwicklungen ist auch in den übergeordneten EU-Digitalstrategien, wie dem Digital Education Action Plan 2021–2027 [Eu20], verankert. Sie verdeutlichen, dass effektive Cybersicherheit nicht allein von Technik und Prozessen getragen wird, sondern ebenso auf handlungsfähige und -bereite Individuen angewiesen ist. Die Einbindung etablierter Kompetenzrahmen und Reifegradmodelle bietet hier eine operationalisierbare Grundlage, um organisatorische Reife mit menschlicher Wirksamkeit zu verbinden.

1.3 Forschungsfrage und Aufbau des Beitrags

Vor diesem Hintergrund geht der Beitrag der Frage nach, wie Reifegradmodelle zur Unterstützung von Behörden bei der Umsetzung der NIS2-Richtlinie, insbesondere bei der systematischen Steuerung, Dokumentation und Evaluation, sowohl auf organisatorischer als auch individueller Ebene eingesetzt werden können. Dazu wird ein Ansatz vorgestellt, der mithilfe zweier komplementärer Reifegradmodelle die NIS2-Transformation in einer Landesverwaltung messbar und steuerbar macht. Wir präsentieren und diskutieren in den nächsten Abschnitten die aktuell laufende iterative gestaltungsorientierte Entwicklung der Modelle KOMPASS und SEXTANT (vgl. Abbildung 1) und skizzieren zum Abschluss die nächsten Schritte, in denen eine länderübergreifende Verbreitung und Verbesserung dieses Ansatzes angestrebt wird.

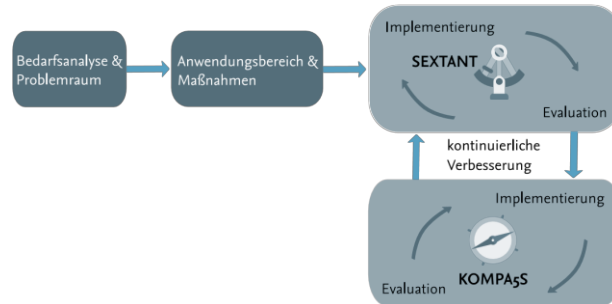


Abb. 1: Iterativer Entwicklungsprozess

2 Methodik: Anwendungsbereich und Maßnahmen

Reifegradmodelle sind ein etabliertes Mittel, um komplexe Anforderungen systematisch zu operationalisieren und Organisationen strukturierte Entwicklungswege aufzuzeigen. Im Kontext der NIS2-Richtlinie zielt die Entwicklung eines Cybersicherheits-Reifegradmodells darauf ab, regulatorische Vorgaben praxisnah in bewertbare Zustände und konkrete Handlungsempfehlungen zu überführen, insbesondere mit Fokus auf Risikomanagement und Vorfallsbehandlung [Eu22a]. Darüber hinaus kann die Einbindung von Maßnahmen zur Cybersicherheitsresilienz, wie von Bejarano et al. [BRM21] vorgeschlagen, die Anwendbarkeit des Modells im Kontext NIS2 verbessern.

Die ursprüngliche Zielsetzung war die Entwicklung eines Reifegradmodells (SEXTANT), das die organisatorische und prozessuale Dimension der NIS2-Anforderungen abbildet. Erste Evaluationen und Feedbackrunden zeigten jedoch, dass individuelle Kompetenzen der beteiligten Mitarbeitenden bislang vernachlässigt wurden, obwohl sie entscheidend für die Umsetzung und Wirksamkeit organisatorischer Maßnahmen sind. Parallel zur Entwicklung wurden zudem neue Rahmenwerke wie das RUN-Modell [BS25] veröffentlicht, das neue Ansatzpunkte für Erweiterungen bietet. Dies führt zu einer Weiterentwicklung des Modells in Form eines zweiten Artefakts, genannt KOMPASS, das insbesondere die individuelle Reife adressiert und somit als komplementäre Erweiterung zu SEXTANT fungiert.

Damit folgt die Modellentwicklung einem iterativen und adaptiven Vorgehen im Sinne des Design-Science-Ansatzes. Bei den hier vorgestellten Modellen wurden folgende Dimensionen aus den Entscheidungsparametern zur Modellentwicklung von Mettler [Me11] gewählt: Es handelt sich um eine spezifische Herausforderung im interorganisationalen fortschreitenden Kontext für eine gemischte Zielgruppe, mit dem Ziel, die Modelle bereitwillig zu teilen. Dabei wird eine Kombination aus personen- und prozessorientiertem Design angewendet, welches in einem ein- und einem mehrdimensionalen Modell resultiert. Dabei werden sowohl Theorie als auch praktische Erfahrungen berücksichtigt. Als Ergebnis gibt es sowohl eine schriftliche Dokumentation als auch ein

Erhebungsinstrument zur Selbstauskunft mit der Option auf externe Unterstützung. Zielgruppe sind sämtliche Mitarbeitenden in Landesverwaltungen, die bei Entscheidungen zur NIS2-Umsetzung involviert sind, z.B. Organisations- und IT-Leitung, aber auch Informationssicherheitsbeauftragte und IT-Notfallmanagement. Für die Evaluation der Modelle wird sowohl der Entwicklungsprozess im Austausch mit Expert:innen als auch das Feedback aus semi-strukturierten Interviews im wiederholten praktischen Einsatz betrachtet. Dabei können sowohl Form als auch Inhalt Ziel von Anpassungen und Verbesserungen sein.

SEXTANT soll insbesondere bei der Maßnahmenplanung auf strategisch-taktischer Ebene unterstützen, während KOMPASS auf taktisch-operative Entscheidungen ausgerichtet ist. Insbesondere an Schnittstellen sollte für eine ganzheitliche Betrachtung auf die Erkenntnisse aus beiden Modellen zurückgegriffen werden (vgl. Abb. 2). Im Folgenden werden die beiden Modelle sowie deren zugrunde liegende Konzeptionen vorgestellt.

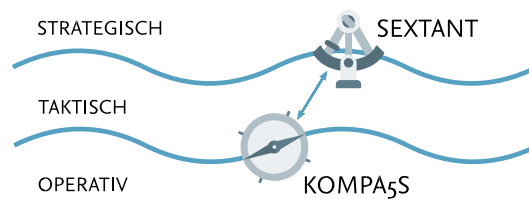


Abb. 2: Modellpositionierung innerhalb der Managementebenen

3 SEXTANT: Systematisches Evaluationsmodell für iteratives Tracking und Analyse der NIS2-Transformation

SEXTANT ist ein Reifegradmodell mit Erhebungsinstrument, welches auf Basis des Reifegradmodells für den BSI IT-Grundschutz [BS24a] und dem NIS2-Umsetzungsrechtsakt [Eu24] entwickelt wurde. Der BSI IT-Grundschutz ist im vorliegenden Fall das empfohlene Rahmenwerk, sodass das amerikanische CSF [Na24] nicht weiter berücksichtigt wurde.

Implementierung Es wurde zunächst ein Fragebogen mit festen Antwortoptionen entwickelt. Grundsätzlich wurden die abgefragten Aspekte dem NIS2-Umsetzungsrechtsakt [Eu24] entnommen und dann in den einzelnen Teilbereichen mit Standards des BSI und verwandten Anwendungsfeldern verglichen. Der NIS2-Umsetzungsrechtsakt ist in mehrere Teilbereiche mit vorgeschriebenen Maßnahmen für IKT-Dienstleister aufgeteilt, die auch für alle anderen von der NIS2-betroffenen Einrichtungen eine hilfreiche Richtlinie für die Umsetzung bieten. Für die Erhebung wurden entsprechend die Teilbereiche Informationssicherheitsmanagementsystem (ISMS), IT-Notfallmanagement (BCM) und Schulungen auf organisationaler Ebene ausgewählt. Ergänzt um eine Frage

zum generellen NIS2-Bewusstsein, um herauszufinden, inwiefern die neuen Anforderungen der NIS2 in den einzelnen Einrichtungen angekommen sind.

Für den Bereich ISMS wurden die abgefragten Bereiche mit dem Leitfaden für eine BSI IS-Kurzrevision [BS21] angepasst, während der Bereich BCM aus dem BCM-Praktiker-Curriculum [BS24a] stammt. Der Bereich Schulung wurde außerdem an das Awareness Program Maturity Model (APMM) von Majewski [Ma22] angelehnt. Hier werden Durchführungszyklus, Teilnahmequoten und Art der Evaluation sowie Wissensüberprüfung erhoben. In Tabelle 1 sind die BSI-Reifegradstufen, die als Grundlage für die Antwortoptionen herangezogen wurden, abgebildet.

Aus diesem Fragebogen kann ein Bericht zur erreichten Reifegradstufe mit allgemeinen und organisationsspezifischen Handlungsempfehlungen generiert werden, der den untersuchten Behörden Ansatzpunkte für die weitere Umsetzung liefert. Eine visuelle Aufbereitung des Reifegrads ermöglicht den Vergleich mit dem landesweiten Durchschnitt (vgl. Abb. 3).

Stufe	Reifegrad
0	Es wurden keine Maßnahmen ergriffen.
1	Es gibt Planungen, aber noch keine Umsetzung.
2	Teilweise Umsetzung und Dokumentation.
3	Vollständige Umsetzung und Dokumentation.
4	Vollständige Umsetzung und Dokumentation mit regelmäßiger Überprüfung.

Tabelle 1: Reifegradstufen gemäß BSI [BS24b]

Die Handlungsempfehlungen wurden von zertifizierten BSI IT-Grundschutz und Didaktikexpert:innen für jeden Reifegrad erarbeitet.

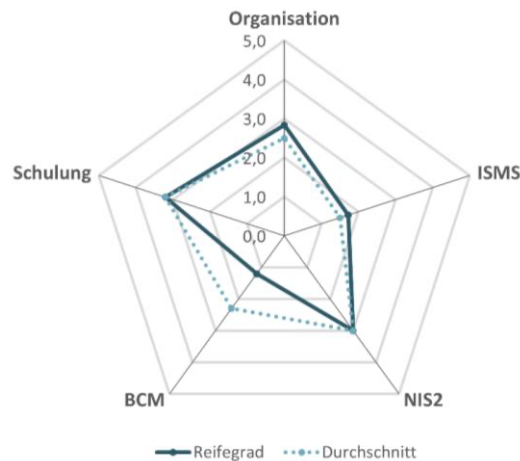


Abb. 3: Beispielhafte Visualisierung des Reifegrads

Eine quartalsweise Durchführung der Erhebung zielt darauf ab, sowohl den Fortschritt innerhalb einzelner Behörden als auch den Vergleich mit dem landesweiten Durchschnitt abzubilden. Aufgrund der spezifischen Vertraulichkeitsanforderungen, Strukturen und Kommunikationswege von Behörden, insbesondere in der Landesverwaltung, basiert die Datenerhebung primär auf Selbstauskünften. Um Verzerrungen durch bewusste oder unbewusste Über- bzw. Untertreibungen zu minimieren, ist die Schaffung eines vertraulichen und vertrauensvollen Erhebungsumfelds sowie eine klare Verknüpfung mit langfristigen, auch politisch gesteuerten, Zielsetzungen essenziell.

Pilotierung und Evaluation In einer ersten Iteration in Q4/2024 bis Q1/2025 wurde der Fragebogen an die Informationssicherheitsbeauftragten der aktuell 15 von der NIS2 betroffenen Behörden verteilt und in Einzelterminen in semistrukturierten Interviews durchgesprochen, um festzustellen, ob die Fragestellungen sowie Sinn und Zweck der Abfrage verständlich sind und welche Verbesserungsvorschläge es gibt.

In den Evaluationsgesprächen wurde bei mindestens zwei Dritteln der befragten Behörden angemerkt, dass gerade bei neueren Mitarbeitenden im Bereich der Informationssicherheit durchaus Kompetenzen fehlen, um die jeweiligen Bereiche einschätzen zu können, und es unklar ist, was die eigenen Aufgaben und benötigten Fähigkeiten sind. Dies hat gezeigt, dass es nicht ausreicht, die organisationale Reife zu erheben, sondern ebenfalls die personelle Ebene betrachtet werden muss, um eine erfolgreiche Umsetzung der NIS2 zu gewährleisten, weshalb in einer weiteren Iteration die Entwicklung von KOMPASS begonnen wurde. Dieses soll insbesondere die individuelle Reife adressieren und somit als komplementäre Erweiterung zu SEXTANT fungieren.

Bei einem Drittel der befragten Behörden wurden die vorgegebenen Antwortmöglichkeiten auf Basis der sechs Reifegrade kritisiert, da so im Fragebogen keine Möglichkeit bestand, anzugeben, ob ein Bereich zentral umgesetzt wird, falls die befragte Behörde deshalb keine Aussage treffen kann. Dies wird in der nächsten Iteration insbesondere bei operativ-technischen Aspekten und dem Bereich Schulungsorganisation angepasst. Durch die Entwicklung des individuellen Erhebungsinstruments KOMPASS kann außerdem der Bereich NIS2-Bewusstsein verschoben werden. In der initialen Version konnten darüber hinaus die Anforderungen vom RUN des BSI [BS25] noch nicht berücksichtigt werden, da dieses erst nach dem Start der ersten Iteration vom BSI veröffentlicht wurde und in jeder Iteration ein einheitlicher Fragebogen für alle Betroffenen genutzt werden soll, um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten. Dieses wird in der nächsten Version von SEXTANT ebenfalls mit einbezogen, um die Fragen den aktuellen politischen und regulatorischen Anforderungen gemäß zu schärfen.

4 KOMPASS: Kompetenzorientiertes Maturity Modell für Public Administration in fünf Stufen

Dieser Abschnitt stellt das erste Grobkonzept von KOMPASS vor, einem kompetenzorientierten Reifegradmodell für die öffentliche Verwaltung, das in fünf Stufen die erforderlichen Kompetenzen der Entscheidungstragenden für eine erfolgreiche NIS2-Umsetzung in einer Landesverwaltung abbilden soll.

Implementierung Ziel ist es, Schulungs- und Unterstützungsangebote gezielt zu entwickeln und operative Maßnahmen priorisiert zu fördern. Statt einer eindimensionalen Überprüfung entlang empfohlener Standards, wie dem BSI-Grundsatz, fokussiert das Modell spezifische Teilbereiche. Dabei wird untersucht, inwieweit sowohl die individuelle Kompetenz – von theoretischem Wissen bis zur praktischen Anwendung (angelehnt an Krathwohl; Anderson [KA01]) – als auch die Funktion als Multiplikatoren innerhalb und zwischen Organisationen ausgeprägt ist (vgl. Abb. 4).

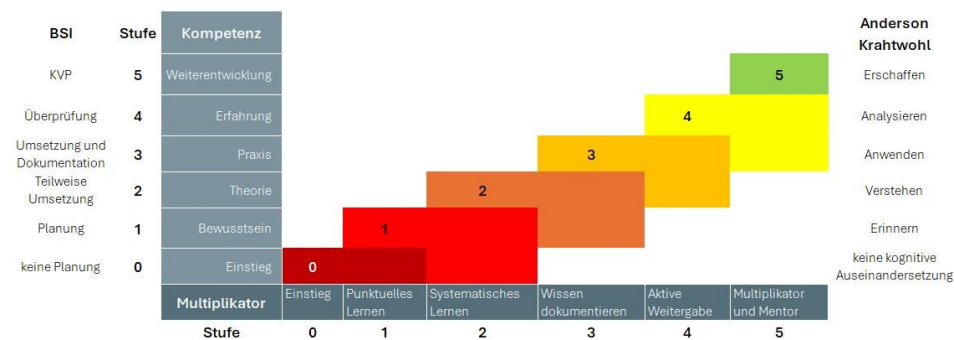


Abb. 4: KOMPASS-Treppe

Insbesondere in der öffentlichen Verwaltung mit regulierten Ressourcen in Bezug auf Personal und Schulungen ist es wichtig, den Bereich Kooperation und Wissensaustausch ebenso zu fördern, wie den individuellen Wissenserwerb. Die niedrigere Stufe in einer der beiden Dimensionen bestimmt dabei den Gesamtreifegrad im jeweiligen Bereich, um eine partizipative und kooperative Kultur der Informationssicherheit zu fördern. Dabei ist es unabhängig davon, ob die Personen in der Leitungsebene oder im operativen Bereich beschäftigt sind. Der in Abschnitt 1.2 vorgestellte Kompetenzrahmen bildet dabei die Grundlage. Neben dem theoretischen Wissen sollen deshalb auch die entsprechenden Kompetenzen im Bereich der Kommunikation, Eigeninitiative und Teamfähigkeit erhoben werden [Fi23]. Im Bereich der fachlichen Kompetenzen werden auch die Anforderungen aus der NIS2 in den Bereichen Informationssicherheits- und IT-Notfall-Management im Rahmen des DigComp-Frameworks [VKP22] erfasst. Dazu gehören u.a. Prozessidentifikation und -dokumentation, Risikoerkennung und -bewertung, Verfassen und Kommunizieren von Richtlinien. [Eu22a; Eu24; Ra22]

Um die Verständlichkeit und Praxistauglichkeit des Modells für Mitarbeitende im öffentlichen Dienst zu erhöhen, wurden die Bezeichnungen der einzelnen Stufen in der Kompetenzdimension alltagsnah umformuliert. Dadurch wird eine Anwendung des Modells auch ohne Kenntnisse didaktischer Konzepte ermöglicht. Tabelle 2 zeigt die Zuordnung der neuen Bezeichnungen zu den kognitiven Prozessdimensionen nach Krathwohl; Anderson [KA01] mit einer kurzen Herleitung. Der KOMPASS-Ansatz adaptiert Mettlers Erkenntnisse über die ‚Knowing-Doing-Gap‘, indem er Kompetenzentwicklungen nicht nur als statische Wissensverfügbarkeit, sondern als abgestufte Anwendungspraxis modelliert (Stufe 1: Einstieg – Stufe 5: Multiplikator). Deshalb werden die Wissensdimensionen nicht aus der Taxonomie [KA01] übernommen, sondern die Reife als Multiplikator im Wissenstransfer betrachtet. Die jeweiligen Stufen der Multiplikator-Dimension sind eine Eigenentwicklung und müssen in der Pilotierung auf ihre Wirksamkeit und Gültigkeit überprüft werden. Die Idee ist, dass von der individuellen punktuellen und systematischen Auseinandersetzung eine Dokumentation der eigenen Erfahrungen und schließlich eine Weitergabe und Vermittlung an andere erfolgen sollte, um den Wissenstransfer in einer Organisation zu fördern.

Stufe	Kompetenz	Reifegrad
5	Weiterentwicklung	Erschaffen: Vorhandene Standards, wie z.B. der BSI IT-Grundsatz, sollen nicht nur angewendet, sondern für den jeweiligen Bedarf angepasst, weiter- oder neu entwickelt werden.
4	Erfahrung	Analysieren und Evaluieren: Erfahrung ist der kontinuierliche Prozess der Analyse und Evaluation, um z.B. im Bereich Sicherheit auf einem aktuellen Stand zu bleiben.
3	Praxis	Anwenden: Das theoretische Wissen wird durch Anwenden von Fähigkeiten und Fertigkeiten in die Praxis umgesetzt.
2	Theorie	Verstehen: Durch das Verstehen von Konzepten und Zusammenhängen werden Theoretische Grundlagen angeeignet.
1	Bewusstsein	Erinnern: Als erste Stufe ist es wichtig sich der Sicherheit bewusst zu sein und sich immer wieder daran zu erinnern.
0	Einstieg	Keine Auseinandersetzung.

Tabelle 2: KOMPASS: Kompetenz basierend auf Krathwohl; Anderson [KA01]

In der aktuell laufenden Iteration des gestaltungsorientierten Vorgehens sollen zunächst für jede Dimension und Stufe konkrete Lernziele [KA01] definiert werden, die den angestrebten Kompetenzaufbau widerspiegeln. Ein darauf abgestimmtes Erhebungsinstrument, bestehend aus Selbsteinschätzungen mit qualitativen und quantitativen Elementen, soll die Bewertung des eigenen Kompetenzniveaus ermöglichen und die kontinuierliche Weiterentwicklung unterstützen – nicht nur im Sinne eines Statusberichts, sondern als lernförderndes Steuerungsinstrument. Auch hier sollen bei der Auswertung allgemeine und individuelle Handlungsempfehlungen mitgegeben werden.

Pilotierung und Evaluation Das Modell und sein Erhebungsinstrument sollen bis Q3/2025 so weit entwickelt worden sein, dass eine erste Anwendung und Evaluation im Rahmen einer Pilotierung mit ausgewählten Organisationseinheiten, ergänzt durch

Workshops und Experteninterviews, innerhalb der untersuchten Landesverwaltung durchgeführt werden können.

5 Fazit

Informations- und Cybersicherheit ist ein dynamisches Feld, das kontinuierliche Anpassungen erfordert. Mit den hier vorgestellten Modellen – SEXTANT und dem darauf aufbauenden KOMPASS – soll mittelfristig ein Instrument geschaffen werden, die NIS2-Umsetzung nachhaltig zu unterstützen und zu dokumentieren. Die zusammengeführten Ergebnisse der eng verzahnten Modelle ermöglichen eine systematische Bewertung der NIS2-Reife, wobei beide Modelle regelmäßig zu überprüfen und anzupassen sind.

Bislang steht nur eine begrenzte Anzahl empirischer Studien zur Verfügung, die sich mit der praktischen Umsetzung der NIS2-Richtlinie und dem Aufbau entsprechender Sicherheitskompetenzen in Organisationen befassen. Dies ist nicht zuletzt auf die Aktualität des Regelwerks und die teilweise noch ausstehende nationale Umsetzung zurückzuführen. Außerdem handelt es sich um ein hoch volatiles Forschungsfeld, in dem nachhaltige und praxisrelevante Erkenntnisse nur in enger Zusammenarbeit mit betroffenen Organisationen gewonnen werden können. Die geringe Studienlage wird dadurch verstärkt, dass praktische Forschung häufig durch eingeschränkten Zugang zu sensiblen Informationen, begrenzte Erhebungsmöglichkeiten und organisationsspezifische Rahmenbedingungen erschwert wird.

Dieser Beitrag hat Reifegradmodelle in der Informations- und Cybersicherheit, insbesondere als Teil der NIS2-Umsetzung in der öffentlichen Verwaltung, betrachtet und die erste iterative Entwicklungsphase von dem strategisch-taktischen Reifegradmodell SEXTANT vorgestellt und den Beginn der zweiten Iteration mit den vorgesehenen Anpassungen an SEXTANT und dem Beginn der Entwicklung des taktisch-operativen, auf individuelle Aspekte zugeschnittenen KOMPASS-Modell behandelt. Als nächster Schritt wird die zweite Iteration fortgeführt. Eine Verteilung von SEXTANT 2.0 an weitere interessierte Landesverwaltungen mit entsprechender Dokumentation und Auswertungswerkzeugen ist ebenfalls angedacht. Darüber hinaus ist die Entwicklung eines Schulungskonzepts auf Grundlage der KOMPASS-Ergebnisse geplant. Dieses soll gemeinsam mit den strategisch taktischen Empfehlungen aus SEXTANT in der Landesverwaltung implementiert werden.

Literaturverzeichnis

- [Al21] Al-Matari, O.M. et al.: Adopting Security Maturity Model to the Organizations' Capability Model. *Egyptian Informatics Journal* 22(2), S. 193–199, 2021, Stand: 07.03.2025.
- [BB22] Benlhabib, H.; Berrado, A.: A Review about Maturity Models Development Process, Case of Performance Management in Education. In: *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. IEOM Society International, Istanbul, Turkey, S. 2419–2430, 2022.
- [BKP09] Becker, J.; Knackstedt, R.; Pöppelbuß, J.: Entwicklung von Reifegradmodellen für das IT-Management. *WIRTSCHAFTSINFORMATIK* 51(3), S. 249–260, 2009.
- [Bo24] Bosbach, J. et al.: Mitarbeitende im Fokus – ein angepasstes Reifegradmodell zur Messung der digitalen Transformation im Handwerk. *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik* 61(6), S. 1405–1423, 2024.
- [BP24] Burström, L.; Petersson, A.: A Case Study of Conditions for NIS2-compliance. 2024.
- [BRM21] Bejarano, M.H.; Rodríguez, R.J.; Merseguer, J.: A Vision for Improving Business Continuity through Cyber-resilience Mechanisms and Frameworks. In: *2021 16th Iberian Conference on Information Systems and Technologies (CISTI)*. S. 1–5, 2021.
- [BS21] BSI: Leitfaden IS-Revision, 2021, https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Oeffentliche-Verwaltung/Sicherheitspruefungen/ISRevision/Leitfaden/leitfaden_node.html, Stand: 25.03.2025.
- [BS24a] BSI: Curriculum für die Schulung zum BCM-Praktiker, 2024, https://www.bsi.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/BSI/Grundschatz/IT-GS-Berater/curriculum_1_1.pdf, Stand: 25.03.2025.
- [BS24b] BSI: Lerneinheit 9.4: Reifegradmodelle, 2024, https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/Unternehmen-und-Organisationen/Standards-und-Zertifizierung/IT-Grundschatz/zertifizierte-Informationssicherheit/IT-Grundschatzschulung/Online-Kurs-IT-Grundschatz/Lektion_9_Aufrechterhaltung/Lektion_9_04/Lektion_9_04_node.html, Stand: 25.03.2025.
- [BS25] BSI: RUN – Konkretisierte Reifegrade für KRITIS-Prüfungen ab dem 1. April 2025, 2025.
- [Dr20] Drivas, G. et al.: A NIS Directive Compliant Cybersecurity Maturity Assessment Framework. In: *2020 IEEE 44th Annual Computers, Software, and Applications Conference (COMPSAC)*. S. 1641–1646, 2020.
- [Eu20] European Commission: Digital Education Action Plan 2021-2027 Resetting Education and Training for the Digital Age, 2020.
- [Eu22a] Europäische Kommission: Directive (EU) 2022/2555 of the European Parliament and of the Council of 14 December 2022 on Measures for a High Common Level of

- Cybersecurity across the Union, Amending Regulation (EU) No 910/2014 and Directive (EU) 2018/1972, and Repealing Directive (EU) 2016/1148 (NIS 2 Directive), 2022.
- [Eu22b] European Union Agency for Cybersecurity: European Cybersecurity Skills Framework (ECSF): User Manual. Publications Office, LU, 2022.
- [Eu24] Europäische Kommission: Cybersecurity Risk Management & Reporting Obligations for Digital Infrastructure, Providers and ICT Service Managers, 2024, https://ec.europa.eu/info/law/better-regulation/have-your-say/initiatives/14241-Cybersecurity-risk-management-reporting-obligations-for-digital-infrastructure-providers-and-ict-service-managers_en, Stand: 25.03.2025.
- [Fi23] Finster, R. et al.: Information Security Awareness: die kompetente Essenz für eine gesicherte digitale Zukunft. In: GeNeMe 2023. 2023.
- [He04] Hevner, A.R. et al.: Design Science in Information Systems Research. MIS Quarterly 28(1), S. 75–105, 2004, JSTOR: 25148625.
- [It23] IT-Planungsrat: Beschluss 2023/39 - Umsetzung NIS-2-Richtlinie. URL <https://www.it-planungsrat.de/beschluss/beschluss-2023-39>, Stand: 29.08.2025.
- [KA01] Krathwohl, D.R.; Anderson, L.W.: A Taxonomy for Learning, Teaching, and Assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives. Longman, 2001.
- [Ma22] Majewski, M.: Security Awareness Program Builder: Practical Guidelines for Building Your Information Security Awareness Program & Prep Guide for the Security Awareness and Culture Professional (SACP)TM, 2022.
- [Me11] Mettler, T.: Maturity Assessment Models: A Design Science Research Approach. International Journal of Society Systems Science 3(1/2), S. 81, 2011.
- [Na24] National Institute of Standards and Technology: The NIST Cybersecurity Framework (CSF) 2.0, Techn. Ber. NIST CSWP 29, Gaithersburg, MD: National Institute of Standards and Technology, 2024, NIST CSWP 29.
- [Ra22] Rampold, F. et al.: Are You Aware of Your Competencies?—The Potentials of Competence Research to Design Effective SETA Programs. 2022.
- [RM23] Rehbohm, T.; Moses, F.: Federal Cybersecurity Architecture and Information Security Management - Adoption and Diffusion of the NIS-2 Requirements. In: 6. Fachtagung Rechts- Und Verwaltungsinformatik (RVI 2023). Gesellschaft für Informatik e.V., S. 14–28, 2023.
- [RWH25] Rehnstam, E.; Winquist, W.; Hacks, S.: NIS2 Directive in Sweden: A Report on the Readiness of Swedish Critical Infrastructure. In (Horn Iwaya, L. et al., Hrsg.): Secure IT Systems. Springer Nature Switzerland, Cham, S. 176–195, 2025.
- [Sc25] Schubert, P.: Mehrheit der Deutschen fürchtet Cyber-Angriffe und Cyber-Krieg. Behörden Spiegel, 2025.
- [VKP22] Vuorikari, R.; Kluzer, S.; Punie, Y.: DigComp 2.2: The Digital Competence Framework for Citizens - With New Examples of Knowledge, Skills and Attitudes,

- 2022, <https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/handle/JRC128415>, Stand: 31.05.2022.
- [We12] Wendler, R.: The Maturity of Maturity Model Research: A Systematic Mapping Study. *Information and Software Technology, Special Section on Software Reliability and Security* 54(12), S. 1317–1339, 2012.
- [ZRS21] Zammani, M.; Razali, R.; Singh, D.: Organisational Information Security Management Maturity Model. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications (IJACSA)* 12(9), 2021, Stand: 07.03.2025. [Ez10] Ezgarani, O.: *The Magic Format – Your Way to Pretty Books*. Noah & Sons, 2010.

Evaluation of as well as a Software for a Scoring Model for Public Administration Process Prioritization in Germany

Tim Pidun¹, Dirk Müller², Eric Freudenberg³

Abstract. We apply the IS Success Model to the domain of public administration in Germany to formulate an alternative approach as well as a matching scoring model to overcome the prevailing political prioritization of public service processes. The proposed score that had been developed and explained already in previous work, is evaluated in six case settings in this contribution, featuring four administrative levels, using three different methods and two views on implementation. Moreover, an appropriate application software to calculate the score is proposed and the results of the evaluation in the context of usability is discussed. Finally, potential developments as well as future research suggestions frame the paper.

Keywords: eGovernment, Digitalization, Public Service, Administration, Informatics, Score

1 Introduction

Digitalization is one of the major worldwide technological trends in the 21st century (e.g. [Ha22]). Also Germany as the economically leading country in the European Union [In23] is following this approach. The pace of this transformation, however, is significantly falling behind several other EU countries [Eu22]. This is especially true in the domain of public administration [Fu22]. Reasons could be complex decision processes due a historically motivated well-balanced administrative structure [Pa49], a lack of IT professionals [Mc23] and the German Angst of (technological) change, especially in the political level [Ne23]. Though, there are some central legislative initiatives in order to accelerate the digitalization in public administration in Germany, the most prominent being the “Onlinezugangsgesetz” (OZG, Act for the Improvement of Online Access to Public Services, [Bu17]) and its subsequent legislative amendments [Bu23], originally supposed to be fully implemented by the end of 2022. All in all, the Federal Ministry of the Interior and Community (Bundesministerium des Inneren und für Heimat, BMI) as

¹ HTWD University of Applied Sciences, Chair of Information Systems/Digital Administration, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden, Germany, tim.pidun@htw-dresden.de,
<https://orcid.org/0000-0003-1331-1732>

² HTWD University of Applied Sciences, Chair of Software Technology/Operating Systems, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden, Germany, dirk.mueller@htw-dresden.de

³ HTWD University of Applied Sciences, Faculty of Informatics / Mathematics, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden, Germany, eric.freudenberg@stud.htw-dresden.de

OZG process responsible counts 1780 administrative services in Germany that potentially can be digitized, both facing the citizen and featuring internal administrative processes [Bu23]. The OZG refers only to service processes that directly affect the citizen and hence, 575 “OZG-Processes” were defined. They are distributed among the federal, the state and the municipal level in Germany. Every OZG Process is organized and implemented by one leading federal ministry and as for the rest of the (internal) processes, the “Einer für Alle” principle (EfA, One for all) is recommended, which means that a public service process that has been set up already must also be re-used and not be set up again in different formats or instances in the different administrative levels. The original distinction of OZG process priorities was aligned exclusively to the citizen’s demand of the services – demand by the citizens in real life, via the central service phone line and out of the European regulation and guideline “Single Digital Gateway” [SH18, S. 15], which meant that every service process was considered to be as “digital-to-be” important as the others, thus lacking a common sense on proper prioritization, because back then and still today (and despite the review of the OZG that is ongoing at the moment in Germany), the multitude of OZG-services is prioritized only by political will. In September 2023, the federal government in Germany proposed to prioritize fifteen so-called “Focus”-Services [Bu23]; every state was entitled to fully digitalize one OZG Process for direct re-use by the other states and players. Previously in 2022 and in the light of the then coming deadline, thirteen so-called “Booster”-OZG-Processes were defined and prioritized but unfortunately not implemented in its entirety. In the domain of Business and Administrative informatics, it is very common to consider service processes as well as their technical implementation as Information Systems (IS) in the meaning of a sociotechnical system that is built to automate tasks [GRB04]. Thus, we used the common IS Success Model [DM92] to describe Success Drivers and hence an approach for prioritization in the domain of public service in Germany [PM23], originally focused to the citizen-centered OZG processes. In the following, we will briefly explain this approach and a proposal for a formula to calculate a score quantifying the priority of the respective process in Chapter 2, evaluate it with six different examples as well with the introduction of a software for score calculation in Chapter 3 and discuss results, extensions and future research in Chapter 4.

2 Approach

2.1 Political, administrative and user background

As mentioned before, all prioritizations of public services were mainly driven by political will, hence we retain this approach in the proposed scoring model with an “political” operator of importance, ranging from 0 to 2 as highest importance. Moreover, the amount of cases drove the importance of processes in the past, hence we also address the amount of annual cases as additional operator in logarithmic scale. From the political perspective, there is also no distinction into a higher importance to implement real digitalization than to put a simplistic digitization of public service processes in place. Ac-

cording to Bogumil et al. [Jö22], there are three different levels of process execution in public service: First, the mere electronification of analog documents and processes in a digital form (e.g. the offer of a web form or a PDF), second the digitalization of service structures and processes to implement a fully digital communication (e.g. the application for and decision of a service) and third a transformation of authorities by adaption of staff and qualification structures as well as full institutional cultural change (but as the transformative change level cannot be addressed mainly by an information systems approach, it will not be considered further).

Though, the goal of digitalization (in the context of the industry roughly comparable to an automated process without basic action of a person) is favorable in our view and hence of higher priority because it fits the “Once Only” approach, coming from another legal requirement in Germany, the “Registermodernisierungsgesetz” (RegMoG, Law introducing and using an identification number in public administration and amending other laws, [Bu21]). The RegMoG demands to re-use datasets of citizens instead of keeping multiple copies for different purposes, which would be the case if every public service process requires to fill in the same personal data into its own PDF. Hence, we assume a certain sustainability if the process contributes to the “Once Only” or the “One for all” principle. Moreover, we prefer the full digitalization as favorable “automation” of processes, comparable to the process flow featuring very few contact points to administrative officers or their personal work (cf. Chapter 3). If the process still is mainly covered by personal work of administrative officers, we assume the level of simplistic electronification.

If the service process is coming from the citizen-centered OZG process set, a more detailed “maturity level for OZG service processes” from 0 to 4 can be applied, but we propose to evaluate every service process according to its “customer” centricity (in this case: other internal users of the service) if applicable. The importance of the process rises with its shift of maturity levels, hence a process that shifts an analog process to full-service automated communication with the citizen (Level 3) is of higher priority than a process that features the provision of a web page with information (Level 1). These thoughts also point to the need to consider two different levels of technology acceptance in public service: The organizational and the individual level (see also [WCM07]), representing the professional users in administration as well as the citizen users. Hence, we claim to consider to expand the set of affected users: the professional user in public administration on the one hand (aka key users, public employees or officer) whose day-to-day tasks are about to be automated (and who are traditionally are the only user group in information systems’ design) and the citizen user that occasionally uses information systems to interact with the public administration. In this context, the professional users in administration need appropriate application systems and infrastructural Hard- and Software (technical systems), the citizen user needs appropriate and accessible infrastructure, e.g. their own mobile devices with access to the publicly available application systems.

2.2 Information Systems Success Model and Operationalization

From April to June 2023, we performed a structured review in multiple databases along the search terms (“IS” or “Information Systems”) and (“success” or “evaluation”) and (“public” or “administration”) that resulted in seven papers which were containing an overview on the most common IS evaluation approaches used in public service. Summing up, most of the applications of IS evaluations in the public sector use the Information Systems Success Model [DM03]; therefore we also suggest to use the ISSM as validated theory transporting model. Moreover, in this previous research [PM23] we also showed that our assumed selective aspects for Public Administration in Germany actually are driving the input as well as the output of IS Success (drivers) via generic intermediate Success Drivers [PDM13]. We therefor propose the following causal model, the original ISSM being outlined in light grey, the selective aspects in black (Fig. 1):

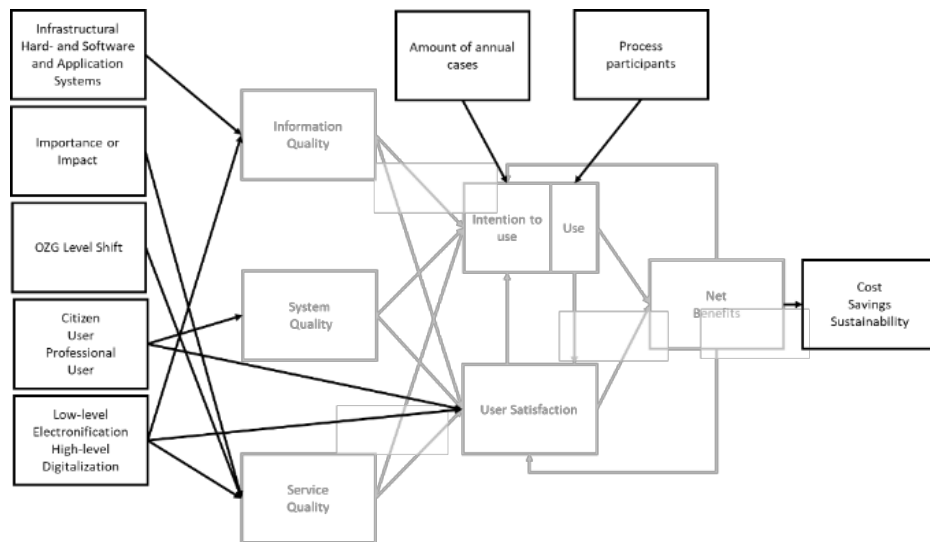


Fig. 1. Causal ISSM model for Public Administration in Germany

In this model, we use the following definition of the selective aspects:

Citizen User and Professional User (u) explain whether an IS is designed to only serve the citizen user or at the same time the internal professional user. In this case, the impact and visibility of the process is much higher and hence the priority should rise. If only Professional Users are affected: multiply the values by 1, if also Citizen Users are affected: multiply by 2.

Amount of annual cases (e) describe the link between the amount of cases the process needs to cover and the higher importance and automation potential of the process. If e is below 10: plus 0. Below 100: plus 1 etc. along a logarithmic scale ($e = \text{int}(\lg(\text{cases}))$).

Process participants (p): The more process participants, the more complex the process will be and hence the more potential for optimization and automation rises. This also covers processes that interact between state and federal level. If there are below 5 participants we suggest to calculate plus 0, below 10: plus 1, below 15 plus 2, below 20 plus 3, above 20 plus 4.

Low level electronification and high-level digitalization (d) points to the problem that if the process is just set up to imitate the common analogue process, the effort and success are lower than the digitalized, customer-faced process. If only electronification is used, we suggest to multiply the value by 1, if a digitalization approach is applied, multiply by 2.

Importance or impact (i) is the political adjusting screw that can be used to prioritize manually. It should be used in a conscious manner and only a balanced set of processes should be of high or critical prioritization. We suggest normal process prioritization by multiplying the values by 1, high priority processes multiply by 2 and critical processes by 3.

OZG level shift (o) is the delta between the initial OZG (citizen oriented) level of the process and its level after implementation. Hence, a value of 0-4 should be added. This shift value can also be used if the process stays purely internal without OZG relevant citizen contact, e.g. does the digital process feature a shift from paperwork to digital document transfer (Shift from 0 to 1) or to from separated digital applications by the citizen user to automated processing between authorities (from 1 to 2). Note that in case that no level shift can be obtained and so, an OZG improvement cannot be assumed at all (which ultimately is the goal of the OZG), $o=0$ and subsequently, the first factor would result in 0 as well, thus negating the impact of the entire process change in principle. This depicts the necessity to strive for tangible changes in process digitization, measured in OZG levels. In this case or if OZG levels cannot be applied for other reasons, the alternative use of d alone can be considered.

Infrastructural Software, Hardware and Application Systems (t) point to the problem that in public service information systems, infrastructural Soft- and Hardware as well as new Applications are needed, for both professional and citizen users. Every functional entity counts 1, if citizen users are involved: multiply by 2. Integrated Information Systems or Devices that cover a multitude of functional entities (e.g. Software suites with more than one application or Mobile Phones with more than one sensor) can be considered as one functional entity.

Cost (c) points to the projected (ex ante) or real cost (ex post) only of the digital project implementation. Cost and Savings (s) must both be compared from the same perspective and including all cost categories such as material, labor etc. and are calculated as amount in €.

Savings (s) are considered as cost that disappears permanently due to the implementation, as the focus of the prioritization is the (potential) implementation of digital process-

es, not daily business efficiency. Moreover, It might be a good idea to round the scores to at least integer values or to multiples of ten (e.g. 20 instead of 21.2) in order not to pretend a level of accuracy that is not achievable by this simplistic approach.

Sustainability (y) is given if the project contributes to the “Once Only” or the “One for all” principle. In this case, multiply the savings by 2. If cost or savings are not well measurable or not directly related to some benefit, the calculation may be limited to the consideration of sustainability as only output value.

We must also mention that if such variations (as well as e.g. rounding conventions or estimations) are applied to the scoring model in the individual prioritization project, all the processes in comparison have to use the same algorithm in order to be comparable and hence, to be sortable.

Combining the success dimension, their drivers and the selective aspects, we use them as operators to form a prioritization approach with the goal is to form an indicator that can easily be put into an order to be compared to other processes. Hence, we argue to rise the indicator if input complexity rises as well as the ratio between savings and cost; both as addition put down to following formula (for further details please refer to [PM23]):

$$\text{Prio} = \text{Input} + \text{Output} \quad (1)$$

$$\text{Input} = (o \cdot i \cdot d) + (u \cdot ((e + p) + t)) \quad (2)$$

$$\text{Output} = \frac{s \cdot y}{c} \quad (3)$$

3 Evaluation

3.1 Methodological Background

In a first step, we applied the Scoring model to one real and one potential case out of the administrative level of the municipalities in June 2023. One case referred to a rather urban area with many inhabitants and good infrastructure and the other case to a rather rural area with long ways to the central administration, both leading to meaningful results. As we only briefly mentioned the application and considered the concept as applicable in principle [PM23], this contribution features the full process description as cases 1 and 2. Moreover, we projected the evaluation in practice in the next step, thus defining the frame for cases 3 and 4. We therefor adopted a data and method triangulation approach in order to generate diverse and individual results that can be considered as proof of concept and blueprint in both different administrative levels and applications or settings. Besides this simple application of the concept to two cases, we used the methods of Transdisciplinary Workshops and Expert Interviews.

A Transdisciplinary Workshop is defined as a workshop featuring both scientists as well as external experts that are practically applying the scientific results in their own setting of professional knowledge or discipline and according to their unique perspective to the scientific problem [DD14, S. 71]. If the external experts are either only object of investigation or audience, they are not part of a Transdisciplinary Workshop. The characterizing elements of a TW are consent on the goals and the process of working together, the integration of individual contributions and obtained results into one common knowledge base and the diffusion of the results in an appropriate and usable way. Case 3 was compiled in a Transdisciplinary Workshop with 21 participants in November 2023 in Berlin, where practitioners from administration, business and science met for workshops in the context of eGovernment and Governance/Administrative Informatics. The goal of the workshop was to evaluate the applicability and usability of the aforementioned Scoring model. The case points to a process on the state level of administration, thus expanding the data set to two administrative levels. Some more hints on potential proof of concept/application were given in these workshops and found entry in the descriptions of the model in this contribution up to now.

Third, Expert Interviews use the method of a problem-centered interview to extract qualitative data from experts, whereas the definition of an expert ranges from rather vague to highly domain-specified descriptions. They demand a continuous reflection on the content and methodological approach to the body of investigation, the design and analysis of the questions and answers and the validation and modification of the results. Hence, the expert interview features an iterative way of exploring and interpreting insights [JR09, S. 35]. By performing a certain number of expert interviews, scientists may find common statements and consensual opinions of the interviewed community to some extent. In Case 4, we performed an expert interview with a leading responsible person for digitalization on the federal level, located at the Federal Ministry of the Interior and Community in Germany in December 2023. The case refers to a process that only addresses the federal level, thus embodying a service for all affected citizens.

Case 5 refers to a case that features a “greenfield” implementation for an all-new process, collected during a TW with 20 participants in August 2024 in Merseburg, Saxony-Anhalt, Germany. Case 6 is the result of a TW in September 2024 in Berlin with about 30 participants and features another new perspective for the model implementation: There, a consulting company had to re-model a process for a State in Germany. Finally, we developed a software prototype from March 2024 to January 2025 that enables users of the scoring model to automate the calculation of the score by simply typing in the appropriate values as well as to bulk import csv or Excel tables with values.

3.2 Case 1: Dog license fee for the City of Munich

In this case, citizens are applying for a dog license via an online registration process on the city’s web site. Using the usual internal process, the application regularly leads to a license notification that is being sent to the citizen in paper form. Hence, both citizen and

professional users are affected, this u being set to 2. There are more than 40,000 dog owners in Munich [Wa22]. About 2/3 of them used online registration in 2022, which results in about 26,000 online use cases. Hence, we should set $e = \text{int}(\lg(26,000)) = 4$ for this huge amount. As relevant process participants, there is only the citizens of Munich and the municipality of Munich, being represented to one officer which is clearly less than 5. So, we set $p = 0$. Evidently, $d = 2$ has to be assumed because of a high-level digitalization implemented here due to the automation of the process input, coming only with a final check from the officer. The digitalization of dog fee processes is of a medium political importance, yielding $i = 2$. The OZG level will be shifted from level 1 to level 3. Previously, there was basic electrification with simple PDF documents. It will be level 3 but not level 4 (fully digital-both-way communication) since conventional postal service will still be required in exceptional cases like returning dog fee badges or communicating sensitive personal health data for registering assistance dogs. There is neither new hard- nor software required for the infrastructure, browsers supporting PDF are assumed being available. Only an app will be newly needed, both on the citizen and professional side. This gives a $t = (0 + 0 + 1) * 2$ of 2. Hence, we obtain as input a value of $(2 * 2 * 2) + (2 * ((4 + 0) + 2)) = 20$.

As for the output side, cost is estimated to 1,000,000 €, and savings to 600,000 €. But due to the reusable contributions for input management and for electronic files (“E-Akte”) [Wa22], sustainability is clearly given, yielding an effective doubling in savings. Hence, there is a usable output of $(600,000 * 2) / 1,000,000 = 1.2$.

The sum of input and output results in a score of $20 + 1.2 \approx 21$ for the dog license fee process in Munich.

3.3 Case 2: Car registration in the Uckermark district

In this case, we projected the potential digitalization of the registration process for cars in the rural Uckermark district, because in this largest region in Germany, citizens could better be supported by offering an online process in comparison to traveling to the central district administration in person. Both citizen and professional user are affected, hence u is set to 2. We estimated the number of annual car registrations in the Uckermark region to 8,000 based on 40,000 cars for the 120,000 inhabitants and an estimated change of ownership of a car every five years. So, an $e = \text{int}(\lg(8,000)) = 3$ should be chosen. There are many participants on all levels of administration in the process of car registration, from the processing district officers, payment and production stakeholders to the license holder registration at the Federal Motor Transport Authority that holds a central database for severe traffic violations. We estimate this number to be 10 to 14, yielding the parameter $p = 2$. The management of cars is considered critical in the political context of prioritization, so, the impact variable i is 3. In this case, we project a high-level digitalization with full process automation, hence $d = 2$. The OZG level will be shifted from level 1 to level 3 because physical output is necessary and cannot be avoided.

This gives $o=2$. We need new hardware, software and apps on the citizen and the professional side. Hence, $t=(1+1+1)*2=6$. As input, we obtain $(2*3*2)+(2*((3+2)+6)))=34$.

The output in this case is estimated with costs of 2,000,000 € due to necessary hard- and software investment, the savings could reach 1,000,000 €. Based on the fact that an electronic ID card is obligatory for this process on the citizen side, sustainability is clearly given. Hence, we obtain an output of $(1,000,000*2)/2,000,000=1$.

Finally, the score as the sum of input and output is $34+1=35$ for the Uckermark car registration.

3.4 Case 3: Issuing “Authorisations to examine Minors” in North Rhine-Westphalia

In Germany, the “Jugendarbeitsschutzgesetz” (Youth Labor Protection Law) requires that a minor has to be explicitly examined by a doctor to state his/her fitness to work, the cost for the examination being borne by the minor’s state of residence. This Authorisation to examine Minors (“Untersuchungsberechtigungsschein”, UBS) states that the entitled person has the right to visit a doctor in this context and this doctor may bill the federal state for his service. Prior to the digitalization of the process, the minor applied in person for an UBS at his/her local municipality. After authentication with his/her ID document, the license was granted in paper form. The doctor filled in the license and billed the state. This process has been digitalized by the state of North Rhine-Westphalia as one of the OZG Focus Processes (every state had to implement one process for the rest of Germany). The amount of annual cases was well described with 30,000, thus $e=\text{int}(\lg(30,000))=4$. The process stakeholders were the Federal Administration (the process being presented at the federal administration processes portal), the affected state and municipality as well as the applying person. After a review of the process documentation in the workshop, two additional participants were identified (>5): the doctor and the health billing company, thus resulting in $p=1$. The consideration of both professional as well as citizen users lead to $u=2$. As the basic design of the OZG Focus processes had to be fully automated, we set $d=2$. The OZG was lifted from level 0 to 4 ($o=4$) because as a result, only a unique UBS-ID is generated in a newly implemented database and no physical information carriers are needed. The Application issues an UBS-ID to the minor, the doctor checks the UBS-ID in the database, approves the examination of the connected person via updating the UBS-ID Status and bills the state of North Rhine-Westphalia via the billing company - finally the state checks the approval of the UBS-ID and releases the payment. The UBS-ID is set to be no longer valid. No new hardware is needed, only a new database and web application for the user side was generated, moreover a central identification component was used ($t=3$). The priority was assumed to be medium as previously generated technical components could be used and the implementation was rather easy ($i=2$). Summing up, the input score is $(4*2*2)+(2*((4+1)+3)))=32$.

The process implementation results in estimated savings of about 780,000 € with an invest of about 300,000 €. Thus, the Output score $((750000*2)/300000)$ is 5.

Finally, the score as the sum of input and output is $32+5=37$ for the process. Though it was implemented for only one state, it could and should be used by all states as federal process due to the EfA requirement.

3.5 Case 4: Central federal “Application for an admission to an integration course”

Under certain circumstances, immigrants to and foreigners in Germany are entitled to attend an integration course that features language lessons as well as knowledge about culture and the political system. The Application has to be posed at the Federal Office for Migration and Refugees (“Bundesamt für Migration und Flüchtlinge”, BAMF). Up to now, the application was available as paper-based or PDF Document at the BAMF offices and web pages as well as other sources, and had to be handed in/send to the local BAMF office according to the immigrant’s state of residence in Germany. Hundreds of thousands of applications are reaching the BAMF every year, thus setting $e=5$ ($<1M$). During the revision of this process, the application was centralized into the federal administration portal that is hosted by the Federal Ministry of the Interior and Community. Avoiding a PDF form, the user keys in all relevant data of the application into one single web form directly, thus setting $t=1$ and $o=1$ as the Level shifts from 1 to 2 (featuring a digital application). After submission, this dataset is sent to a central BAMF entry point where the application is reviewed and queued in to the regular, but subsequent internal process of admission and scheduling (which is not part of the process of application in this case), thus restricting p to 1 because only the BAMF is process participant as it was before and $d=1$ because the process input is processed manually, not automatically. y is set to 1 as the submitted data is not being used elsewhere. u is 2 because both professional and citizen users are affected of the process. i remains 1 as the process was not of high political priority. All in all, Input scores $(1*1*1) + ((2*((5+1)+1)))=15$.

The relation of cost and savings of the process are not exactly quantifiable (technical cost of implementation was roughly in the five figure range), but they also of minor importance because the first and foremost focus of the process is the citizen user; efficiency gains are mostly on the side of the applicant and irrelevant to the subsequent administration process that basically stays the same. This process is unique and not re-usable, thus not promoting sustainability. Hence, there is no more output score to add to the final score of this entirely federal process, therefor it is set to 15.

3.6 Case 5: “Accommodation tax” for the City of Halle/Saale

In Germany, there has been observed a significant underfunding of municipalities for many years. Hence, they have become quite creative in terms of finding new sources for

filling financial gaps. A very popular approach is the introduction of accommodation taxes for hotel guests. In order to facilitate a smooth, modern and not too expensive process, the digitalization of this taxation had to be performed via a web site to be filled in with data by the accommodation facilities of the city of Halle/Saale.

Clearly, both professional and citizen users are affected, the hoteliers and the hotel guests, yielding a value of $u=2$. From official statistics, we find about 30,000 annual applicable cases. So, we obtain $e=4$ ($<100k$). Another factor of complexity is the number of process participants. It is estimated to amount at least 15, but less than 20, hence we set $p=3$. The choice of $d=2$ is appropriate since the web site should serve as an all-in-one solution without any discontinuity of media. Next, the process is intended to support taxation which is crucial for the public sector. This can be represented by an $i=2$. The OZG level will be significantly raised (there has never been a process before) with $o=3$. The project clearly needs a web server, new software and new applications, but only for the professional users, not for the citizen users. Hence, we set $t=3$. This gives an input score of 32 by calculating $(3*2*2)+((2*((4+3)+3)))$, with all seven input parameters being estimated mutually by the case giver and the research team during the TW.

On the process output side, costs of about 25,000 € were calculated with estimated savings of about 50,000 €. Unfortunately, no sustainability approach was applied, so $y=1$. The output score is 2 $((50,000*1)/25,000)$. Finally, we obtain the process prioritization score of 34 for the accommodation tax process.

3.7 Case 6: Financial help for after-school Childcare in North Rhine-Westphalia

All-day care for pupils is getting more and more popular in Germany. It facilitates better professional career chances for families. But for poorer families, it can be quite challenging to pay for afternoon care additional fees. Hence, the federal state North Rhine-Westphalia (NRW) wants to support such families financially. This citizen support process shall be digitalized centrally, but according to the individual statutory law of the communities. In this case, a consulting company was in charge of the process implementation, thus also shifting the perspective from the 'internal' administration view to the 'external' view of a supplier that serves an administrative customer.

Again, this is a process with citizen users involved and, thus, $u=2$. It is estimated to have 1,000 cases per year, thus scoring $e=3$. Involved parties are the citizen itself, the clerk and the payout point; $p=3$ is the resulting value. There are new hardware, software and applications required only on the professional user side (in this case, it is remarkable that many re-usable or integrated information systems were implemented in this process, namely the central authentication component of the German federal government (BundID) and a state-of-the-art service platform of the consulting company), and thus $t=3$ is obtained from this consideration. The OZG level shift o remained at 0 (and therefore, will be omitted) because the data that had to be put in the system remains the same to the citizen, but will be processed in different internal information systems. In fact, instead of

just providing PDF files of the paper forms, a more advanced data processing is the goal, so $d=2$. Hence, the main goal of the process rework was to gain efficiency through throughput speed and the use of central standardized components. As there was no direct choice of importance from the project state of the consulting company, we leave $i=1$. In summary, we score an input value of 20 by calculating $2 + ((2 * ((3 + 3) + 3)))$. As cost and savings figures were not disclosed by the consultant company, the output side of the score remains empty. In total, the final score remains at 20.

3.8 Software prototype

The software (working title “PAPP” as for “Public Administration Process Priorization”) was developed using C# in MS Visual Studio 2022 in a MS Windows 10 ecosystem, using .Net Framework v4.7.2, Windows Forms as GUI and as SourceCodeControl (SCC) Tortoise SVN. We developed the application according to the rules of Extreme Programming [Be12]. This approach prefers the direct and immediate solution of the programming task to formal procedures of developing software. The target application is also designed to run on Windows 10 machines as a standalone application.

The actual working language is German, as the Application to date is mainly designed to be used in Germany. Figures 2 and 3 depict the level of development so far; Figure 2 shows the main input page and Fig. 3 the import and results page. To import Excel and Access datasets, we used the MS Excel COM interface (MS Excel 16.0 Object Library v2.8) and MS Access OLDBC Jet Driver 4.0 & ACE 12.0.

Fig. 2. PAPP Software prototype input page

ID	Priority	Input	Output	Users (u)	Cases (e)	Participants (p)	Dig.-level (D)	Adjustme
1	21,20	20	1,20	2	4	0	2	2
2	35,00	34	1,00	2	3	2	2	3

Fig. 3. PAPP Software prototype results page

The software is running without critical problem by the date of this contribution, hence, in the next round of evaluation, we are seeking for public service beta testers that test and challenge the software usability and usefulness. Moreover, we seek for professional review rounds in further transdisciplinary workshops.

4 Results, Discussion and Outlook

In the first place, we can conclude that the scoring model is consistently applicable in various applications and within the entire range of public administration levels in Germany: federal, state, district and municipal, thus demonstrating the usability of the approach to some extent. We used a multi-method approach and collected views of both internal administrative stakeholders as well as commercial consulting firms serving administration from the outside. Experts and workshop participants stated their satisfaction with the proposed model in principle during quick spotlight feedback sessions. They discussed adaptations as well as potential applications, thus considering this tool as valuable and with a certain intention to use. It expands the knowledge on public service process digitalization, its drivers and emphases from the political priority, which was the main leading indicator and the OZG maturity level, which was the main lagging indicator of digitalization success in the past into a multitude of aspects that describe different supportive views of prioritization, both from the input as well as from the output side. Though, the application in the four levels during the different evaluative approaches reveal a certain distinction between necessary and more or less optional viewpoints.

We consider to apply the model in some given practical settings in the federal states of Brandenburg, Saxony and Thuringia in Germany in the context of a longer-running case study, thus actually prioritizing a set of processes in one administrative level. Moreover, a comparative study of publicly available EfA-Processes (central service processes that can be used by other states or municipalities, cf. Chapter 1) vs. actually given processes and implementations in the various states could offer additional insights on applicability of success drivers and operators in different settings.

According to the demand that we had experienced during the transdisciplinary workshops and interviews, we decided to develop the Software described in Chapter 3.8. Although we are aware that the prioritization approach features a rather straightforward artefact with the proposed formula that is not very complicated and also not very complicated to put down an algorithm and data processing steps, we released the application for two reasons: Not all professional users might be aware of the possibility to calculate the score, to sort and document the result and the subsequent measures for the digitalization processes themselves or are not able to use appropriate technical support. So, we have designed a supportive application that might be easier to use compared to inventing a calculation sheet on their own.

It might also be thinkable to expand the software into an even easier-to-use OS-independent Web based application. Secondly, during the follow-up release cycle of the software, future features may include explanations during the operator input or appropriate drop-down menus that pre-select and support the user when in doubt, hence to further support the professional user in their prioritization task. Future development will be in that direction, backed up by the input of research with users and beta-testers during potential workshops and test rounds as well as the case studies in the federal states.

All in all, we again invite practitioners and scientists to evaluate and challenge the scoring model in order to refine and further develop it together, especially to use it in other countries and settings.

References

- [Be12] Beck, K.: Extreme programming explained. Embrace change. Addison-Wesley, Boston, 2012.
- [Bu17] Bundestag: Gesetz zur Verbesserung des Onlinezugangs zu Verwaltungsleistungen (Onlinezugangsgesetz - OZG), 2017.
- [Bu21] Bundestag: Gesetz zur Einführung und Verwendung einer Identifikationsnummer in der öffentlichen Verwaltung und zur Änderung weiterer Gesetze (Registermodernisierungsgesetz - RegMoG), 2021.
- [Bu23] Bundesregierung: Der Deutschland-Pakt.
<https://www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/deutschland-pakt-2221564>, Stand: 13.12.2023.
- [Bu23]: Entwurf eines Gesetzes zur Änderung des Onlinezugangsgesetzes sowie weiterer Vorschriften zur Digitalisierung der Verwaltung. OZG-Änderungsgesetz – OZGÄndG, 2023.
- [Bu23] Bundesministerium des Innern und für Heimat: Digitale Umsetzung des OZG-Umsetzungskataloges. <https://informationsplattform.ozg-umsetzung.de/iNG/app/intro>, Stand: 14.12.2023.
- [DD14] Defila, R.; Di Giulio, A.: Methodische Gestaltung transdisziplinärer Workshops. In (Niederberger, M.; Wassermann, S. Hrsg.): Methoden der experten- und stakeholdereinbindung in der sozialwissenschaftlichen forschung. Springer VS, Wiesbaden, S. 69–93, 2014.
- [DM03] DeLone, W. H.; McLean, E. R.: The DeLone and McLean model of information systems success: a ten-year update. *Journal of Management Information Systems* 4/19, S. 9–30, 2003.
- [DM92] DeLone, W.; McLean, E.: Information Systems Success: The Quest for the Dependent Variable. *Information Systems Research* 1/3, S. 60–95, 1992.
- [Eu22] European Commission: The Digital Economy and Society Index (DESI), 2022.

-
- [Fu22] Funke, C.: DIGITIZATION, FAST AND SLOW; Comparing the creation of digital public services in Denmark, France and Germany. Phdthesis, 2022.
 - [GRB04] Grob, H. L.; Reepmeyer, J.-A.; Bensberg, F.: Einführung in die Wirtschaftsinformatik. Vahlen, 2004.
 - [Ha22] Harwardt, M.: Digitalisierung und digitale Transformation. In (Harwardt, M. Hrsg.): Management der digitalen Transformation. Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S. 1–18, 2022.
 - [In23] International Monetary Fund. Research Dept.: World Economic Outlook, April 2023: A Rocky Recovery. International Monetary Fund, 2023.
 - [Jö22] Jörg Bogumil et al.: Bürgernahe Verwaltung digital? Digitalisierung und Automatisierung im Praxistest. Bonn Friedrich-Ebert-Stiftung, 2022.
 - [JR09] Jäger, U.; Reinecke, S.: Expertengespräch. In (Baumgarth, C. Hrsg.): Empirische Mastertechniken. Eine anwendungsorientierte Einführung für die Marketing- und Managementforschung. Gabler, Wiesbaden, S. 31–76, 2009.
 - [Mc23] McKinsey & Company: Studie: Im öffentlichen Dienst fehlen bis 2030 140.000 IT-Fachkräfte. <https://www.mckinsey.de/news/presse/2023-01-25-it-talent-im-public-sector>, Stand: 2023-08-25.
 - [Ne23] Barometer Digitale Verwaltung. Zwischen Anforderungen der Gegenwart und Herausforderungen der Zukunft, 2023.
 - [Pa49] Parlamentarischer Rat: Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland, 1949.
 - [PDM13] Petter, S.; DeLone, W.; McLean, E. R.: Information Systems Success: The Quest for the Independent Variables. Journal of Management Information Systems 4/29, S. 7–61, 2013.
 - [PM23] Pidun, T.; Müller, D.: A Scoring Model for Public Administration Process Prioritization in Germany. In (Auth, G.; Pidun, T. Hrsg.): Fachtagung Rechts- und Verwaltungsinformatik (RVI 2023). Gesellschaft für Informatik e.V, Bonn, S. 82–96, 2023.
 - [SH18] Stocksmeier, D.; Hunnius, S.: OZG-Umsetzungskatalog. Digitale Verwaltungsleistungen im Sinne des Onlinezugangsgesetzes, Berlin, 2018.
 - [Wa22] Wagner, E.: Abschied von der Hundemarke? Mehr Online-Service bei der Hundesteuer. <https://muenchen.digital/blog/mehr-online-service-bei-der-hundesteuer/>, Stand: 19.06.2023.
 - [WCM07] Wimmer, M. A.; Codagnone, C.; Ma, X.: Developing an E-Government Research Roadmap: Method and Example from E-GovRTD2020. In (Wimmer, M. A.; Scholl, J.; Grönlund, Å. Hrsg.): Electronic Government. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 1–12, 2007.

Mapping the Research Landscape of Public Administration Digitalization

A Conceptual Framework from the National Perspective of Germany

Gunnar Auth ¹, Holger Hünemohr², Jörg Schmittwilken ³ und Tobias Siebenlist ⁴

Abstract: The digital transformation of public administration is a complex and dynamic challenge that continues to generate new research questions and practical needs. Despite growing academic engagement, the visibility, accessibility, and transferability of research findings to administrative practice remain limited. This paper addresses how the research landscape on public sector digitalization in the German context can be systematically captured and structured to support effective knowledge transfer. The preliminary study develops a conceptual framework that identifies key entities, attributes, and relationships in the research domain. A multimodal methodology combines a structured literature review, an online survey, and an analysis of public datasets. First findings from work in progress highlight the fragmented nature of the information landscape and the challenges this poses for the knowledge transfer from research to implementation.

Keywords: Public Administration Digitalization, Digital Administration, E-Government, Research Information, Research Landscape, Knowledge Transfer

1 Introduction

Since at least 2016, it has been repeatedly stated in Germany that e-government and the digitalization of public administration face “no knowledge problem, but an implementation problem”⁵ [hi16], [IN21]. Although this is likely an intentional exaggeration to emphasize the challenges of implementation, such a statement may be interpreted to mean that the necessary knowledge for successful implementation is already fully avail-

¹ HSF Meissen University of Applied Sciences, Department Digital Administration, Herbert-Boehme-Strasse 11, 01662 Meissen, gunnar.auth@hsf-meissen.de, <https://orcid.org/0000-0002-3013-2739>

² RheinMain University of Applied Sciences, Faculty of Design Computer Sciences Media, Unter den Eichen 5, 65195 Wiesbaden, holger.huenemohr@hs-rm.de

³ HSBund, Federal University of Applied Administrative Sciences, Department of Administrative Information Systems, Mecklenbecker Str. 235, 48163 Münster, joerg.schmittwilken@vit-bund.de, <https://orcid.org/0009-0009-4424-3008>

⁴ Rhine-Waal University of Applied Sciences, Faculty Communication and Environment, Friedrich-Heinrich-Allee 25, 47475 Kamp-Lintfort, tobias.siebenlist@hochschule-rhein-waal.de, <https://orcid.org/0000-0001-9435-910X>

⁵ All quotations translated from German.

able and that there is no further need for scientific research. This interpretation should, and must, be questioned.

As a dynamic phenomenon, public sector digitalization is better understood as a moving target [Pe03], in which external conditions and internal influencing factors are constantly evolving. These factors include, for instance, technological progress, legislation and regulatory changes, novel approaches to work organization and management (such as New Work or agile methods), as well as changing expectations from various stakeholders. These ongoing developments continuously generate new problems and questions that require scientific investigation and can only be adequately addressed through research-based insights. The need for robust knowledge is also evidenced, for example, by a literature recommendation on the digitalization of public administration compiled by the Library of the German Bundestag. This recommendation highlights selected academic publications on topics “currently being discussed in the Bundestag, that are politically relevant, or are receiving media attention” from the years 2022 to 2024 [Bi24].

Multiple disciplines contribute to knowledge generation in public sector digitalization. These include public administration, political science, law, social sciences, economics, and computer science – with particular emphasis on administrative, legal, and business informatics. Due to this diversity of disciplines, it is difficult to generate a comprehensive picture of existing findings, new results, or ongoing research projects that would reflect the current state of research. As a result, research knowledge is often difficult for public administration practitioners to find and access, and the potential for knowledge transfer between research and practice remains underutilized.

Therefore, this paper addresses the research question: *How can the research landscape on public sector digitalization be captured and structured to provide a better foundation for effective knowledge transfer?* The overarching objective is to accelerate and improve the translation of theoretical knowledge into practical solutions and to enable more focused research on relevant problems.

To this end, the paper first develops a conceptual framework that analyses, categorizes, and describes key concepts, characteristics, and relationships in German public sector digitalization research within the broader European context. This framework then serves as a conceptual basis for initial analyses of academic literature and the examination of empirical data.

2 Theoretical Background and Related Work

The research field of public administration digitalization is characterized by a high degree of intra-, inter-, multi-, and transdisciplinarity, which makes clear-cut boundaries difficult to define (cf. [Wi20a]). This paper primarily approaches public administration digitalization from the perspective of applied computer science, with a particular focus on business and administrative informatics [Di19], [HHR07], [Lu21].

2.1 Public Administration Digitalization and Digital Administration

In terms of content, the field focuses on the digital transformation of the public administration of the Federal Republic of Germany (FRG) in its entirety. Rather than distinguishing between federal levels (e.g., national vs. municipal), subdomains such as regulatory or service administration, or separating it from other parts of the public sector like security agencies (e.g., police and fire departments), public administration digitalization is examined here from both a product/outcome perspective and a related process perspective. As a point of reference, the German Online Access Act (Onlinezugangsgesetz, OZG) is used. Enacted in 2017, it obliges the federal and state governments to “also offer their administrative services electronically via administrative portals.” The specific services concerned were defined in 2018 through the OZG Implementation Catalogue, which is based on the earlier Public Administration Service Catalogue (Leistungskatalog, LeiKa) [SH18]. This includes cross-border integration of administrative services in the European Union (EU), for example, the use of a common maturity model to define the level of digitalization, with the highest level signifying end-to-end digitalization and once-only submission of user data [Bu25]. This highest maturity level is also the target for OZG implementation [Bu25].

From a process perspective, public administration must undergo a digital transformation to achieve the envisioned state of a fully digital government [Me19], [SS21]. This target state is a classic moving target [Pe03], continuously shifting due to the advancement of digital technologies and other dynamic drivers of change. The transformation process is further complicated by the ongoing acceleration of external developments (e.g., in technology), which demand increased adaptability and willingness to change on the part of public institutions. In terms of organizational capabilities, this necessitates the establishment and continuous development of strategic, tactical, and operational digitalization management concepts (e.g., business process management, service and architecture management, agile product development), as well as the enhancement of digital competencies among public sector employees. Ultimately, a comprehensive cultural shift is considered indispensable to achieving the sustainable impact of this far-reaching and profound transformation process.

2.2 E-Government as a Foundation for Public Administration Digitalization

The field of public administration digitalization has evolved from e-government research, but the two are not entirely synonymous. The scope of public administration digitalization is more narrowly defined, focusing on service and organizational administration and the transformative implications of digital technologies. Whereas early e-government focused primarily on the supportive role of information and communication technology [LR00], today’s applied concept of digitalization emphasizes the strategic and organizational implications of digital innovation [Al18]. Alongside the term e-government, the term digital government has become widely used with largely synonymous meaning [Sc22].

Yildiz [Yi07] has observed a certain vagueness in the definition of e-government and criticized the research focus on project outcomes without sufficient attention to the underlying political processes. His suggestions for overcoming these limitations have, however, not led to a unified conceptual understanding to date. Instead, the field has seen the emergence of closely related concepts such as e-governance [MG03], connected government [Sa12], open government [LG22], and smart government [SGF19]. Further complicating the definitional clarity is the lack of consistency in the naming of relevant academic programs. The content related to public sector digitalization is taught under various program titles such as E-Government, Digital Administration, Administrative Informatics, Legal Informatics, or Administrative and Business Informatics [De24]. Numerous publications exist that attempt to structure and define the research field of e-government from different perspectives. In 2007, Heeks and Bailur [HB07] observed a rapid increase in research output and conducted a content analysis using both theoretical and practical categories. They addressed the same boundary issues seen in public sector digitalization by focusing on the disciplines of information systems and public management. Notably, H. J. Scholl has studied the evolution of digital government for decades and, often with co-authors, published numerous studies on the topic, e.g., [Sc22], [Sc20]. A major outcome of his work has been the Digital Government Reference Library (DGRL), initiated in 2006. This is a thematic collection of peer-reviewed, English-language academic publications [Sc21], [Sc24], [SD14]. Of interest for the development of terminology is the fact that the DGRL was originally founded under the name Electronic Government Reference Library and only renamed in 2018 [Sc24]. The German perspective on e-government research was discussed in 2012 through a symposium initiated by J. von Lucke and H. Krcmar, whose contributions were later published in an edited volume [Lu14b]. Of particular relevance to this paper is von Lucke's study on the actors involved in German e-government research, which also addresses its connections to other disciplines [Lu14a]. In subsequent years, developments in e-government research have primarily been discussed at events organized by the Informatics in Law and Public Administration (RVI) division of the German Informatics Society (GI). To date, however, there has been no systematic investigation into the research landscape of public sector digitalization.

3 Methodology

This study employs a multimodal approach to comprehensively capture and systematically represent the research landscape of public sector digitalization in German-speaking countries. The process is divided into multiple phases that combine both qualitative and quantitative methods. The first step involved a preparatory literature review to develop a foundational understanding of the subject area and to gain an initial overview of existing scholarly work. This preliminary research focused on identifying suitable keywords and relevant sources in order to lay the groundwork for a more in-depth literature analysis. Both German and English terms were considered, since the international visibility of research in the fields of e-government and public sector digitalization often leads to

publications in English. In the next phase, a narrative analysis of international literature on the structure of the e-government research discipline was conducted. The aim was to identify existing research trends, key actors and institutions, and relevant thematic areas. Particular attention was paid to literature dealing with public sector digitalization and its scientific foundations. With the help of academic publications, web research, and peer exchange, relevant data sources were identified to capture the German research landscape (see section 5.1). Another key component of the methodology was the implementation of an online survey conducted between August 11, 2024, and December 15, 2024. The survey was promoted by the authors in collaboration with NEGZ (National E-Government Competence Center) through established email distribution lists and the social network LinkedIn. Its purpose was to identify individuals and institutions engaged in e-government research and to gain an up-to-date view of the research landscape. A total of 58 individuals participated in the survey. Based on the data and insights gathered, a conceptual framework for structuring research on public sector digitalization was developed. This framework focuses on enhancing the transfer of knowledge into practice and outlines key entities, attributes, and their relationships — including actors, publication media, and research institutions. The framework was subsequently tested as a foundation for a first iteration of structured literature research in the field of public sector digitalization. For database searches, the search string was derived directly from the “domain” element of the framework, using the terms shown in Listing 1.

The search was conducted using the databases Web of Science, Scopus, EBSCOhost, and Springer Link. The objective of this search was to establish a foundational dataset for further (including recurring and comparative) analyses that provide insights into key aspects such as research topics, actors, institutions, and developments.

Administrative Informatics, Administrative Digitalization, Digital Administration, E-Government, Public Sector, Digital Transformation, Smart Government, Open Government, GovTech, Digital Public Services, Electronic Public Administration, Digital Government Services, Networked Administration, Digital Governance, Intelligent Public Services

Listing 1 Search Terms for the Literature Review⁶

Since, even in German-speaking contexts, peer-reviewed publications are frequently written in English due to the visibility and reputation of prominent top journals and conferences, both German and English equivalents were generated for most of the search terms. Established technical terms were used in their fixed form without translation. To ensure the most comprehensive coverage of relevant literature, the search strategy made use of truncations, proximity operators, and systematic term combinations. The database queries were designed using the respective syntax rules to produce as broad a set of results as possible – incorporating variations in spelling and inflection through truncation techniques. Furthermore, where possible, the search was conducted across the title, ab-

⁶ Translated from German.

stract, and keyword fields. The search was limited to the period from 2020 to 2025 and geographically focused on the German-speaking region. An overview of the number of publications identified through the literature search is provided in Tab 1.

Our analysis of existing sources, surveys, and literature revealed issues related to the visibility and discoverability of research at the data and information level. (see section 5.3). These issues serve as illustrative examples of the highly heterogeneous nature of the information landscape surrounding public sector digitalization, which makes it difficult to develop a clear and comprehensive overview. In conclusion, the concept of a Research Information System (RIS) is outlined as a potential solution. Such a system would enable the continuous and up-to-date collection and provision of research-related information. It is conceived as a kind of Living Literature Review – regularly updated and aligned with current developments in the field of public administration digitalization.

Web of Science	Scopus	EBSCOhost	SpringerLink
454	606	342	1,997

Tab 1: Results of Literature Search in Databases (Number of Publications)

4 A Conceptual Framework for Research on Administrative Digitalization

As a starting point and conceptual foundation for a structured exploration, the framework depicted in section 3 outlines the key concepts and their interrelations within the domain of application-oriented research on administrative digitalization. The central focus lies on generating knowledge through the practical investigation of relevant problems, with the overarching goal of enabling the implementation of value-creating solutions (cf. [Wi20b]). A prerequisite for the application of scientific findings is their dissemination through quality-assured publications, ideally supported by active science communication. The transfer of research insights into practice (e.g., through prototypes or pilot projects) enables their commercial or strategic exploitation, either as internal solutions or as marketable products.

The substantive core of the **research domain** of administrative digitalization is defined in the present framework by the concepts listed in Fig. 1. These concepts, derived from the literature as overarching categories, delineate a conceptual space that can be purposefully refined through specialization. The socio-technical nature of the transformation is reflected in the core characteristics mentioned, which manifest as defining attributes of this change process. **Stakeholders** interact with research organizations guided by their respective claims and interests, from which dynamically evolving, converging or diverging objectives and agendas emerge. Building on the application-oriented nature of the field, the overarching term users refers to a broad spectrum of entities—including public authorities, administrative bodies, and both public and private sector organizations (e.g., consulting firms) – that make practical use of research findings. Research findings reach

users through **communication**. Ensuring compliance with scientific quality standards (cf. [BSS11]) requires formal publication in research outlets. This documentation also serves the purposes of knowledge preservation and dissemination. In contrast, the term science communication refers to informing decision makers about the consequences of their choices (e.g., benefits, risks, costs) based on evidence [Fi13]. Dissemination involves both practices with the common purpose of maximizing range and impact. Due to the personnel and resource requirements involved, research activities are typically carried out within institutional **structures** such as universities or non-university research institutes [PH24]. These institutions consolidate research tasks and actors in a purpose-driven manner - both within functional line organizations and in temporary project-based structures. In line with an understanding of science that emphasizes a close link between research and teaching (e.g. [Lu21]), current research findings feed into both academic **education** at universities and vocational training and continuing education. Higher education institutions also produce scientifically qualified early-career professionals for both research and practice. **Information** about research is key to identifying and accessing scientific knowledge. By leveraging information technology (IT) – for example, through the development of research information systems (RIS, cf. [HS16]) – up-to-date research information can now be made available independent of time and location.

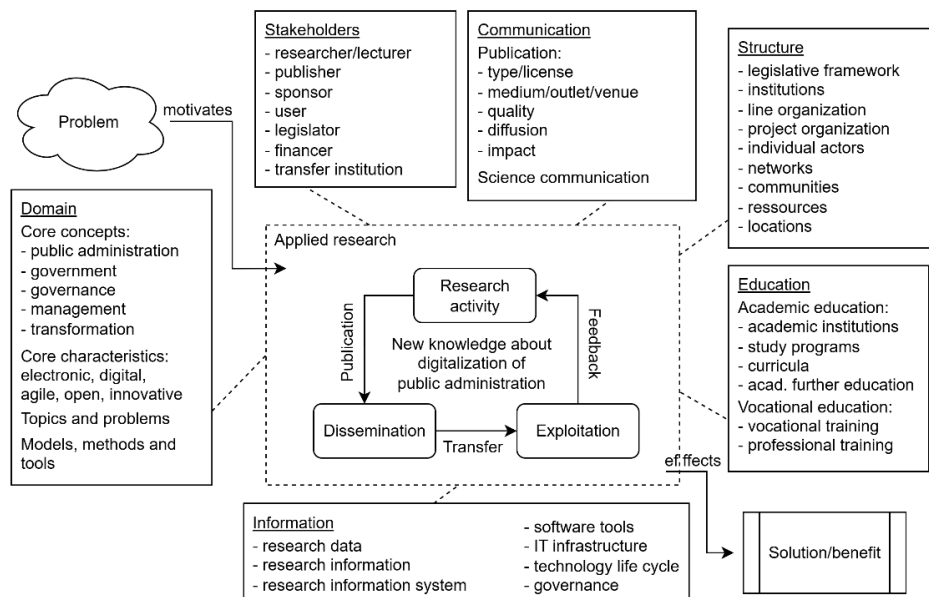


Fig. 1: Conceptual framework for research on administrative digitalization

5 Initial Results and Emerging Challenges

The following provides an overview of the results achieved so far as well as the identified challenges. Research in this area is ongoing and therefore not yet conclusive.

5.1 Catalogues, Stakeholders, and Institutions

Our research identified the public catalogues of researchers and institutions related to administrative digitalization research listed in Tab 2 as relevant sources within the framework. The data collections of the catalogues were manually compiled by the respective authors / editors. Furthermore, the online survey of the authors yields insights of the research community.

Author/editor	Title / source	Date	# R	# I
DFG	DFG-funded projects on administrative digitalization / administrative informatics / e-government	2024	0	7
eGov-Campus	Bildungsnavigator: Study and continuing education programs, https://egov-campus.org/studium-weiterbildung/bildungsnavigator	2024	0	29
RKHöD	Research institutions at public administration authorities, https://rkhoed.de/angewandte-forschung-transfer/	2025-02-28	0	27
Scholl, H. J. et al.	Digital Government Reference Library, https://faculty.washington.edu/jscholl/dgrl/	2024-12-18 (v20.5)	tbd	tbd
Thapa, B.	Research institutions of digital administration, https://padlet.com/thapabasanta/forschungseinrichtungen-der-digitalen-verwaltung-p3ghli0ow9m2k4fi	2024	0	12
von Lucke, J.	Actors from academia related to the digitalization of state and administration 2024, Session of the RVI Department (GI), Salzburg	2024-02-16	78	69
	Online-Survey	2024-12-15	56	68
Adjusted sum			122	101

Tab 2: Public catalogues of researchers and institutions in the field of public administration Digitalization with number of identified researchers (# R) and institutions (# I)

By analyzing and integrating these data sources the number of researchers and research institutions was determined. They are given in columns # R and # I of Tab 2. The last row of the table presents the adjusted sum after removing duplicates.

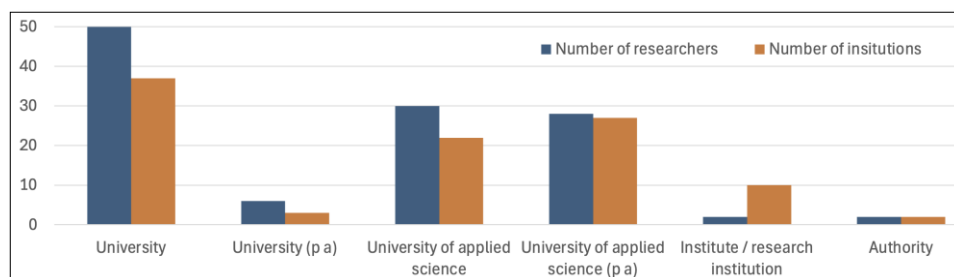


Fig. 2: Number of researchers (blue, left bars) and institutions (orange, right bars) of different kinds of institutions. Educational facilities for public administration (p a) are detached

Fig. 2 illustrates the distribution of researchers and institutions across different types of organizations. Educational institutions for the public sector (p a) are listed detached.

5.2 Journals and Conferences

An initial evaluation of the literature search in scientific databases reveals considerable divergence among the indexed publications. For a preliminary overview, the top 10 publication venues were identified from the collected data exports. A summary of this data can be found in in Tab 3.

No.	Web of Science	Scopus	EBSCOhost	SpringerLink
1	Government Information Quarterly	ACM Int. Conf. Proceeding Series	Azerbaijan Monthly ICT Monitoring	Innovative Verwaltung
2	Proceedings DGO 2022	Lecture Notes in Computer Science (LNCS) ⁷	Information Technology & People	Datenschutz und Datensicherheit - DuD
3	Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences	Lecture Notes in Informatics (LNI), Proceedings Series of the Gesellschaft für Informatik (GI)	Digital Policy, Regulation and Governance	Handbuch Digitalisierung in Staat und Verwaltung
4	Proceedings HICSS 57	Government Information Quarterly	Int. Review of Administrative Sciences	Environment, Development and Sustainability
5	Sustainability	CEUR Workshop Proceedings	Int. Journal of Public Administration	Electronic Government

⁷ Incl. LNCS subseries of Artificial Intelligence and Bioinformatics.

6	Proceedings DGO 2023	Proc. of the Annual Hawaii Int. Conf. on System Sciences	Business Wire (English)	Global Encyclopedia of Public Administration, Public Policy, and Governance
7	Proceedings EGOV 2022	Public Administration and Information Technology	International Journal of Information Management	Environmental Science and Pollution Research
8	Proceedings ICEGOV 2024	Philophical Transactions A	Information Technology for Development	Journal of the Knowledge Economy
9	International Journal of Public Administration	Communications in Computer and Information Science	Information Research	Scientific Reports
10	Proceedings DGO 2024	Jusletter IT	PR Newswire US	Humanities and Social Sciences Communications

Tab 3: Top10 publication outlets based on literature review

Several additional publication venues have the same number of publications as those listed. For the sake of completeness, these are listed in Tab 4. Furthermore, it is noticeable that conference proceedings are also included. For this initial overview, no further filtering between journals and proceedings was applied. Consequently, the picture varies similarly when considering the evaluation of conferences. The scientific databases used also differ in their coverage in this regard.

Index	Venues
Web of Science	Proceedings EPART 2021, Information Polity
Scopus	Lecture Notes in Networks and Systems
EBSCOhost	Social Science Computer Review, Frontiers in Psychology, Resources Policy, Information & Management
SpringerLink	-

Tab 4: Additional venues with same number of publications

5.3 Challenges and Limitations

The methodology described in chapter 3 is already reflected in, and supported by, the results presented in sections 5.1 and 5.2. To gain an overview of research on administrative digitalization in Germany, multiple sources are necessary, whose data must be consolidated and cleaned to form a common database. Depending on the type, language, and indexing, different sources contain various artifacts, many of which appear only in a single source. The survey also showed that obtaining an overview of actors and their research activities is not straightforward. The search terms used for the literature review form the basis for data collection. This selection was based on the framework shown in Fig. 1 and should not be regarded as exhaustive, but rather as a dynamic set of relevant

terms. Additional sources that could help outline the German research landscape on administrative digitalization are certainly to be found in non-scientific literature, such as magazines, conferences, edited volumes, annual reports, and others. A comprehensive search and corresponding analysis of these sources is still pending. These methodological challenges directly support our framework's emphasis on Information systems. The fragmented landscape identified in sections 5.1 and 5.2 demonstrates the urgent need for the proposed RIS, which would address exactly these visibility and integration issues. This study focuses on German-speaking research and may miss international perspectives. The search terms, while comprehensive, cannot capture all relevant work. Manual compilation of catalogues introduces potential selection bias, and the survey's reach was limited to established networks. Furthermore, the automatic mapping of known researcher to authors of publications by their name is fuzzy due to ambiguities, inconsistent spelling, change of name, and abbreviation of first name.

6 Conclusion and Future Research

In the highly relevant and timely field of public administration digitalization, the diversity of research perspectives, providers, and topics currently leads to a lack of overview and orientation within the research landscape. As a result, targeted knowledge transfer from research to practice is hindered, and the full potential of applied research cannot be realized. This paper presented a conceptual framework for research in the area of public administration digitalization, which served as the basis for a systematic literature review aimed at identifying researchers and publication channels. In addition, public directories were analyzed to map researchers and research institutions.

Initial evaluation results from the literature review clearly confirm the challenges involved in attempting to capture the research landscape and the current state of knowledge in this domain. Although much of the data is digitally available today, its collection and integration require considerable effort. The reasons for this lie both at the semantic level – in the wide range of involved disciplines, terminologies, and research topics – and at the syntactic level – in differing technical and bibliographic standards. Currently, the questions remain: What do we see – and what do we not? How large is the “blind spot”?

A promising solution to this non-trivial issue could be the development of a Research Information System (RIS). Such systems have already proven effective at the institutional level in universities and research organizations [HS16], and even across institutions for entire research domains (e.g., the RIS for Mobility and Transport⁸). A similar system for public administration digitalization would contribute to efficiency, help avoid duplication of research efforts, enhance the visibility of research activities, and strengthen the sovereignty of the public sector. The RIS should be complemented by an appropriate

⁸ <https://www.forschungsinformationssystem.de/>, accessed 25.06.2025.

governance system and structures to support targeted research transfer. Design science research offers the appropriate models and methods for the development, implementation, and operation of such an ambitious RIS and should precede its practical realization. Further investigations and extended literature analyses are required. The underlying conceptual framework has been outlined in this preliminary study.

References

- [Al18] Alt, R.: Electronic Markets on digitalization. *Electronic Markets* 4/28, 397–402, 2018.
- [Bi24] Bibliothek des Deutschen Bundestages: Literaturtipp Digitalisierung der Verwaltung. Literaturauswahl 2022 - 2024. <https://www.bundestag.de/resource/blob/992410/4fd956a705e891628f064bf5f1af735d/L-474-Digitalisierung-der-Verwaltung.pdf>, accessed 22.05.2025.
- [BSS11] Balzert, H.; Schröder, M.; Schäfer, C.: *Wissenschaftliches Arbeiten. Ethik, Inhalt & Form wiss. Arbeiten, Handwerkszeug, Quellen, Projektmanagement, Präsentation.* W3L-Verl., Herdecke, 2011.
- [Bu25] Bundesministerium für Digitales und Staatsmodernisierung: Reifegradmodell. <https://www.digitale-verwaltung.de/Webs/DV/DE/onlinezugangsgesetz/ozg-grundlagen/info-reifegradmodell/info-reifegradmodell-node.html>, accessed 28.06.2025.
- [De24] Deutsche Universität für Verwaltungswissenschaften Speyer: Bildungsnavigator. EGov-Campus. <https://egov-campus.org/studium-weiterbildung/bildungsnavigator>, accessed 05.07.2025.
- [Di19] Disterer, G.: Was ist Verwaltungsinformatik? In (Schmid, A. ed.): *Verwaltung, eGovernment und Digitalisierung.* Springer, Wiesbaden, 41–51, 2019.
- [Fi13] Fischhoff, B.: The sciences of science communication. *Proc. of the National Academy of Sciences of the United States of America Suppl* 3/110, 14033–14039, 2013.
- [HB07] Heeks, R.; Bailur, S.: Analyzing e-government research: Perspectives, philosophies, theories, methods, and practice. *Government Information Quarterly* 2/24, 243–265, 2007.
- [HHR07] Heinrich, L. J.; Heinzl, A.; Roithmayr, F.: *Wirtschaftsinformatik. Einführung und Grundlegung.* Oldenbourg, München, Wien, 2007.
- [hi16] hib: „E-Government gibt es de facto nicht“. Ausschuss Digitale Agenda — Ausschuss — hib 245/2016. <https://www.bundestag.de/webarchiv/presse/hib/201604/420654-420654>, accessed 25.06.2025.
- [HS16] Herwig, S.; Schlattmann, S.: Eine wirtschaftsinformatische Standortbestimmung von Forschungsinformationssystemen. In (Mayr, H. C.; Pinzger, M. eds.): *INFORMATIK 2016.* Gesellschaft für Informatik, Bonn, 901–914, 2016.
- [IN21] INSM: 11 Fakten zur Digitalisierung. <https://insm.de/aktuelles/publikationen/11-fakten-zur-digitalisierung>, accessed 25.06.2025.

- [LG22] Lucke, J. v.; Gollasch, K.: Open Government. In (Lucke, J. v.; Gollasch, K. eds.): Open Government. Springer, Wiesbaden, 1–24, 2022.
- [LR00] Lucke, J. v.; Reinermann, H.: Speyerer Definition von Electronic Government. <https://www.joernvonlucke.de/ruvii/Sp-EGov.pdf>, accessed 25.06.2025.
- [Lu14a] Lucke, J. v.: Akteure der E-Government-Forschung in Deutschland. Grenzberührung mit anderen Wissenschaften. In (Lucke, J. v. eds.): Gute E-Government-Forschung. Wissenschaftliches Symposium. epubli, Berlin, 99–128, 2014.
- [Lu14b] Lucke, J.v. Hrsg.: Gute E-Government-Forschung. Wissenschaftliches Symposium. epubli, Berlin, 2014.
- [Lu21] Lucke, J. v.: Die Wissenschaft Verwaltungsinformatik und das Onlinezugangsgesetz. In (Seckelmann, M.; Brunzel, M. eds.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Springer, Berlin, Heidelberg, 119–143, 2021.
- [Me19] Mergel, I.: Digitale Transformation als Reformvorhaben der deutschen öffentlichen Verwaltung. der moderne staat – Zeitschrift für Public Policy, Recht und Management 1-2019/12, 162–171, 2019.
- [MG03] Matthias Finger; Gaelle Pecoud: From e-Government to e-Governance? Towards a model of e-Governance. Electronic Journal of e-Government 1/1, 52-62, 2003.
- [Pe03] Perez, C.: Technological change and opportunities for development as a moving target. In (Toye, J. eds.): Trade and Development. Edward Elgar Publishing, 2003.
- [PH24] Pichler, R.; Heinze, T.: Forschungstätigkeit, Organisationsformen und institutioneller Kontext. In (Pichler, R.; Heinze, T. eds.): Organisationsformen der Erkenntnisgewinnung. Springer, Wiesbaden, 1–28, 2024.
- [Sa12] Saha, P.: Connected Government as the New Normal. In (Saha, P. ed.): Enterprise Architecture for Connected E-Government. IGI Global, 1–55, 2012.
- [Sc20] Scholl, H. J.: Digital Government: Looking Back and Ahead on a Fascinating Domain of Research and Practice. Digital Government: Research and Practice 1/1, 1–12, 2020.
- [Sc21] Scholl, H. J.: The Digital Government Reference Library (DGRL) and its potential formative impact on Digital Government Research (DGR). Government Information Quarterly 4/38, 101613, 2021.
- [Sc22] Scholl, H. J.: Digital Government Research: A Diverse Domain. In (Charalabidis, Y.; Flak, L. S.; Viale Pereira, G. eds.): Scientific Foundations of Digital Governance and Transformation. Springer, Cham, 51–71, 2022.
- [Sc24] Scholl, H. J.: The Digital Government Reference Library (DGRL). Versions 20.0-20.5. <http://faculty.washington.edu/jscholl/dgrrl/>, accessed 08.06.2025.
- [SD14] Scholl, H. J.; Dwivedi, Y. K.: Forums for electronic government scholars: Insights from a 2012/2013 study. Government Information Quarterly 2/31, 229–242, 2014.
- [SGF19] Schedler, K.; Guenduez, A. A.; Frischknecht, R.: How smart can government be? Exploring barriers to the adoption of smart government. Information Polity 1/24, 3–20, 2019.

- [SH18] Stocksmeier, D.; Hunnius, S.: OZG-Umsetzungskatalog. Digitale Verwaltungsleistungen im Sinne des Onlinezugangsgesetzes. Version 0.98. https://www.it-planungsrat.de/fileadmin/beschluesse/2018/Beschluss2018-22_TOP2_Anlage_OZGUmsetzungskatalog.pdf, accessed 08.06.2025.
- [SS21] Stich, R.; Schwiertz, F.: Digitale Transformation: Der Wandel der Arbeitswelt und der Führung in der digitalen Verwaltung. In (Seckelmann, M.; Brunzel, M. eds.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Springer, Berlin, Heidelberg, 441–462, 2021.
- [Wi20a] Wissenschaftsrat: Wissenschaft im Spannungsfeld von Disziplinarität und Interdisziplinarität. Positionspapier. <https://www.wissenschaftsrat.de/download/2020/8694-20.pdf>, accessed 08.06.2025.
- [Wi20b] Wissenschaftsrat: Anwendungsorientierung in der Forschung. Positionspapier. <https://www.wissenschaftsrat.de/download/2020/8289-20.html>, accessed 03.07.2025.
- [Yi07] Yildiz, M.: E-government research: Reviewing the literature, limitations, and ways forward. *Government Information Quarterly* 3/24, 646–665, 2007.

From Print to Platform: Developing a Digital Health Guide

Vera Spitzer ¹, Maria A. Wimmer ¹

Abstract: Rural regions in Germany are facing increasing difficulties in ensuring equitable access to healthcare, driven by demographic change, a growing shortage of medical professionals, and fragmented health information infrastructures. To address these challenges, a team of students, working within the Smart City project of Linz am Rhein, conducted a comprehensive analysis and developed a digital health guide tailored to the needs of a rural municipal territory. This initiative replaced an outdated PDF-based brochure with a dynamic, web-based platform designed through a user-centered, low-code development process using Drupal. The platform features interactive decision trees to support orientation during health-related issues, a geolocated mapping function for local healthcare services, and decentralized data entry to allow providers of healthcare services to manage their own data entries. The development process involved close collaboration with key regional and medical stakeholders, ensuring that the platform with the digital health guide aligned with real-world needs and practices. The prototype was evaluated both technically and in terms of usability, with input from healthcare providers. The project demonstrates how digital navigation tools can help in closing accessibility gaps in rural healthcare systems. It provides a practical, scalable model that other municipalities can adopt to improve healthcare access and coordination through digital innovation.

Keywords: E-health, digital transformation, platform, digital health guide, smart region

1 Introduction

Digitalization in healthcare—hereafter referred to as e-health—is considered a key driver for improving the accessibility, efficiency, and sustainability of health service delivery, particularly in structurally disadvantaged and rural regions [Br22, Ra23, We12]. The targeted use of information and communication technologies (ICT) can help address systemic challenges such as workforce shortages, uneven distribution of services, and demographic shifts [Ja24, Ru23]. Despite this potential, the digital transformation of healthcare in Germany remains slow. Recent studies highlight persistent implementation barriers, including high administrative costs, unclear cost-benefit outcomes, technological uncertainty, and insufficient support for healthcare providers [Br22, Ka23]. These challenges are not limited to healthcare institutions alone. Municipalities also face increasing pressure to replace outdated analogue health information guidance with sustainable, user-friendly, and maintainable digital solutions that are up to date [Ja22]. Particularly in the public health domain, there is a growing demand for reliable, locally rele-

¹ University of Koblenz, Computer Science/E-Government, Universitätsstraße 1, Koblenz, 56070, vesp91@uni-koblenz.de,  <https://orcid.org/0000-0002-5866-2694> wimmer@uni-koblenz.de,  <https://orcid.org/0000-0002-8460-1027>

vant, and easily accessible information on healthcare services—both for citizens and healthcare professionals [De03]. Digital health guides can serve as low-threshold tools to strengthen regional health literacy, improve navigation through care structures, and support decentralized information management [Fi23]. In Germany, the Smart City pilot project in Linz am Rhein exemplifies how these needs can be addressed. In this region, an [analogue health guide](#) was published in 2013 as a printed brochure and accompanying PDF file but has not been updated since. Due to the static nature of the format and high editorial workload, regular updates were infeasible. This illustrates the limitations of traditional information formats: low flexibility, high maintenance effort, and limited relevance in the context of dynamic service environments. As part of a Smart City strategy funded by the federal program [on Model Projects Smart City \(MPSC\)](#), a digital concept is developed to replace the analogue format with a dynamic, web-based platform.

The objective of this research is to design and prototype a responsive digital health guide that enables decentralized data entry and maintenance by local healthcare providers. This approach reduces administrative overhead and increases the timeliness and accuracy of publicly available health information. The initiative is embedded in a regional digitalization strategy aimed at enhancing healthcare infrastructure, attracting young medical professionals, and strengthening the visibility and resilience of local services amid demographic and workforce-related challenges. A central innovation of the platform is its decentralized content management, which allows healthcare providers to manage their own data through a system of defined roles and permissions. The prototype also integrates interactive navigation tools—such as a map-based search and patient decision aids—expanding the platform’s function beyond simple information provision. The system is conceptualized and developed as part of a student-led project in close collaboration with the regional administration. This paper presents the methodological foundation, design process, and technical implementation of the resulting prototype. It also discusses key lessons learned during development, and it outlines transferable recommendations for municipalities aiming to implement similar tools in rural or semi-urban contexts.

The paper is structured as follows: Chapter 2 outlines the methodological framework of the project. Chapter 3 presents the theoretical background on e-health and challenges in Germany. Chapter 4 reviews relevant examples of digital health directories and their design principles. Chapter 5 discusses the results of the current-state analysis and derives key platform requirements. Chapter 6 details the conceptual design and implementation of the prototype. Finally, Chapter 7 concludes the contribution with offering practical recommendations and reflecting on the transferability of the approach to other regions.

2 Methodology

To develop a digital, web-based health guide, we applied soft systems methodology with an iterative approach, based on established principles of systems analysis and user-

centered design [CP20, KBL13]. The methodology integrates elements of current-state analysis, requirements engineering, conceptual design, and prototypical implementation, involving relevant stakeholders throughout the process.

As-Is Analysis and Desk Research: The process started with a qualitative analysis of the municipality's existing analogue health guide (PDF format). A heuristic evaluation assessed its structure, content, timeliness, and usability. This was complemented by a desk research phase examining national and international digital health directories to identify best-practice guides and to evaluate their relevance for local implementation [RS04]. Additionally, structured background research on the Smart Region model project ensured that the proposed solution aligns with broader regional development goals.

Requirements Analysis and Target-State Design: Based on the identified shortcomings along the As-Is analysis, a comprehensive requirement list of functional and non-functional requirements was developed in close coordination with local stakeholders (municipal representatives and healthcare actors). Requirements were elicited according to [Pa98] and enriched through qualitative stakeholder interviews. These requirements were continuously reviewed and prioritized using the MoSCoW method [KBS22]. The derived Target-State concept included key components such as a decentralized role and permission model, a structured data model for healthcare providers, and design requirements for accessibility, responsiveness, and interactivity. Based on this, a modular system architecture was proposed, featuring search and filter functions, and an interactive map.

Prototyping and Technical Implementation: To implement the prototype, an agile approach with SCRUM was applied, with sprints among the project team and with the stakeholders every 2-4 weeks [Az17]. Furthermore, qualitative interviews with local stakeholders were conducted to validate initial mockups and click dummies. The feedback was used to improve the concept and click dummies, and to refine the requirements iteratively. The prototype was implemented using the open-source content management system Drupal in its version 10. Drupal was selected for its high flexibility in modeling complex content structures and managing user roles and permissions.

Data on regional healthcare providers was collected through desk research, then structured and integrated into the CMS data structures. The prototype was configured in a virtual machine (VM) environment for technical testing and deployment. Important requirements relating to data protection, IT security and user-friendliness were systematically addressed throughout the implementation process.

In this paper, we present selected findings from the As-Is analysis and Target-State concept and prototype, with a focus on the existing data from the paper-based health guide, a comparative review of established health platforms, the requirements analysis and the resulting prototype. Each of these steps was carried out in close coordination with stakeholders from the Smart City Linz project through regular feedback and collaboration.

3 Foundations: E-Health and Challenges in Germany

E-health, often used interchangeably with the digitalization of healthcare, emerged in the late 1990s as an extension of “e-business” into the medical field [Fr20, Pa05, Sc22]. To date, no universally accepted definition exists, largely due to the wide range of stakeholders and disciplinary perspectives involved [Fr20, Oh05]. Related terms—digital health, m-health, telemedicine, and telematics—are also interpreted differently across contexts [Lu17, Na15]. Telematics forms the technical foundation of digital healthcare, notably in Germany through the telematics infrastructure (TI), regulated under the E-Health Act [Lu17, Ra17]. The German Ministry of Health defines e-health as ICT-based applications supporting medical care, while the WHO expands this to emphasize the safe, cost-effective use of technologies such as AI, big data, and IoT [Wo21]. [Ey01] describes e-health as a blend of medical informatics, public health, and business, as well as a mindset geared toward global, networked collaboration. According [Oh05], a shared core of e-health is the use of ICT, while [Lu17] highlights its functional aspects—stakeholder networking, process integration, and system interoperability. E-health can thus be seen as a sociotechnical system involving dynamic interactions between humans and technologies [LR7]. Subdomains include m-health (mobile apps and wearables) and telemedicine (care delivery across distance) [Ph19, So07]. Broader concepts like telehealth and telecare also cover non-medical and caregiving services [No01].

In summary, digital health is the most encompassing term, including e-health, which in turn covers m-health and telehealth, with subcategories such as telemedicine and telecare. Across all areas, telematics—such as Germany’s TI—is the core infrastructure.

In Germany, the introduction of the electronic health card was officially decided with the 2003 Statutory Health Insurance Modernization Act. A key milestone followed in 2005 with the founding of gematik GmbH, tasked with developing the telematics infrastructure (TI), the technical foundation for e-health in Germany [Br22]. However, implementation remained fragmented for years. Binding regulations for core digital services—such as the electronic medication plan, emergency data management, and telemedicine—were only introduced with the 2015 E-Health Act [Bu15, LM22]. One aim of this was to improve care in rural areas. Additional legislation followed, including the Digital Healthcare Act, the Patient Data Protection Act, and in 2023, the Health Data Use Act and the Digital Act. Despite this progress, Germany still lags internationally—mainly due to limited interoperability, strategic gaps, and the lack of incentives for adoption [Br22, Ca19, No18]. Resistance among healthcare providers remains a key barrier. While digital tools are broadly acknowledged as valuable, concerns persist around high implementation costs, time demands, low digital literacy, and legal uncertainties [Br22, Schö21, Sc24]. A 2023 survey by the National Association of Statutory Health Insurance Physicians found that only 13% of general practitioners and 20% of specialists saw tangible benefits from digitalization in daily practice [Al23].

In sum, political support for e-health in Germany is strong, but its impact is limited by structural hurdles and low acceptance. For digital transformation to succeed, robust in-

frastructure must be paired with investments in digital health literacy. Digital solutions must clearly demonstrate benefits to all stakeholders in the healthcare system.

4 Foundations and Review of Digital Examples of Health Guides

A health guide is a structured guide designed to help citizens navigate the healthcare system by providing essential information on medical services, legal frameworks, insurance, and support resources [WLG09]. Its main goal is to offer low-threshold orientation in situations of health-related uncertainty or emergency. The guide serves several key functions in public health communication. It offers basic first-aid guidance, emergency contacts, and local medical facility details. It also helps users identify appropriate medical specialists, supports care coordination, and refers individuals to psychosocial services like counseling or self-help groups. Additionally, a well-integrated guide connects users with broader social support systems, including financial aid and community services. A good example of such a health guide is provided via the portal gesund.bund.de.

As part of the As-Is analysis in the project, existing health information services in the municipality were systematically evaluated for their functional, structural, and user-centered strengths and weaknesses. The aim was to derive concrete requirements for developing a digital, user-focused health guide. Initially, the analogue PDF-based guide was analyzed alongside digital content on the municipality's official website. To identify problems systematically, established methods such as Rich Picture and CATWOE [CP20] were used, supplemented by feedback from the regional Smart Region pilot project, incorporating input from citizens and healthcare providers. Further, twelve national and international digital health guides were reviewed—including gesund.bund.de, [NetDoktor](https://netdoktor.de), patient.info, and regional portals from cities like Munich, Neumünster, and Ortenaukreis. The objective was to identify best practices and extract technical, content-related, and design criteria to inform future development. This evaluation combined heuristic and systematic methods based on predefined quality standards. A comparison with these criteria revealed key findings as shown in Table 1.

The analysis revealed several major shortcomings: current formats are largely non-interactive, only partially responsive, and rely heavily on static content like PDFs. Key issues include the lack of integration with local providers, poor accessibility, and limited options for personalized information filtering. Emergency services are inconsistently visible, and digital guidance is often unclear. A critical gap is the absence of structural links between health-related content and local service providers. This issue is evident even on national platforms like gesund.bund.de, which offer comprehensive information but lacks local navigation and seamless user pathways. Content is centrally managed by the ministry and scientific institutions, without local provider input—marking a key difference from the approach of our project. In sum, while individual solutions exist, there is no comprehensive, low-threshold, interactive, and accessible digital platform that offers locally relevant health and counseling information. The findings from the As-

Is analysis thus formed the foundation for defining requirements and designing the new digital health guide.

Table 1 – Comparison of main criteria in different health guides in Germany

Criteria	Findings from As-Is analysis
Information provision	Emergency numbers are often not prominently placed. A positive example is Münster, where such information is visible on page two of the PDF. Digital formats should make this content easily accessible.
First-aid guidance	Decision trees are included in the PDF of the project's example, but presented statically. A dynamic data structure is recommended for easier maintenance and updates in digital formats.
Advisory function	Decision trees are suitable for non-acute advisory scenarios. The implementation should guide, not diagnose. NetDoktor serves as a technical reference, though it lacks local adaptation.
Supportive function	The Bochum health guide uses emotionally resonant visuals for sensitive topics (e.g., Parkinson's disease), positively influencing user engagement. This design strategy is transferable.
Connection to external resources	The PDF of the project's example lists relevant contacts and application forms, but the content is difficult to maintain. Integration with structured data sources (e.g., OpenData, institutional registries) is essential.

5 Assessment of the Current Situation and Future Vision

This As-Is analysis is based on a case study from a rural municipality in Germany and forms the foundation for designing a digital health guide. As part of the federal [MPSC program](#), the region was selected as a pilot area for digital transformation, aiming to implement sustainable, digitally supported solutions across key sectors, including healthcare. The local "Smart Region Strategy" takes an integrated approach, combining digital infrastructure, civic participation, and public service improvement to address challenges like demographic change, medical staff shortages, and limited healthcare access in rural areas. During the strategy phase (January 2022 to June 2023), five priority areas were defined: smart public services, smart mobility, smart healthcare, climate adaptation, and urban revitalization. The "Smart Healthcare" field specifically targets accessibility and resilience in underserved areas through a digital health platform, health literacy training, and a coordinating service unit. The region serves as a model for piloting and scaling digital health solutions under real-world conditions, supported by strong regional and national partnerships for sustainable knowledge transfer.

In parallel, the existing local healthcare information landscape was assessed, focusing on two legacy health directories: a 2013 PDF version (over 120 pages) and a 2021 web-based version. While the PDF offered basic tools like decision trees and provider listings

(Figure 1), the digital version was incomplete and technically unreliable, featuring broken links and missing content.

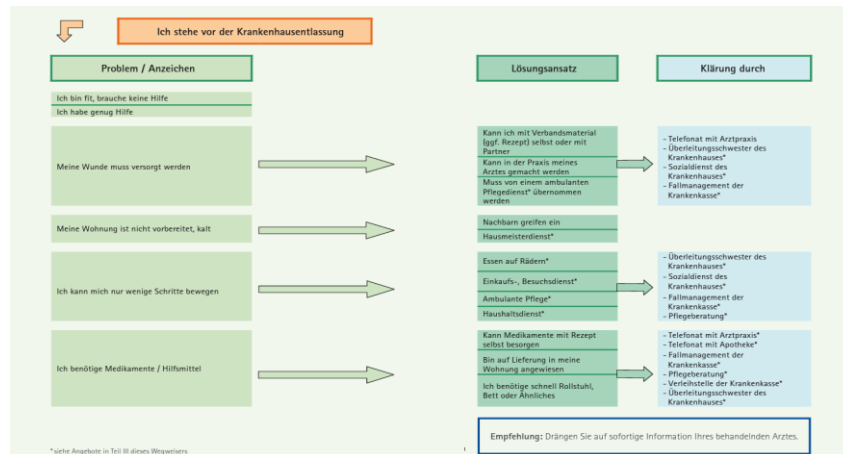


Figure 1 – Decision tree from the [Health Guide PDF](#)

To contextualize these findings, national and international best practices—such as [gesund.bund.de](#), [Neumünster's health guide](#), and [patient.info](#)—were analyzed based on criteria like interactivity, search functionality, accessibility, and information design. Compared to these, the local guide showed significant issues in usability, performance, and audience engagement. These insights were reinforced by stakeholder feedback gathered through participatory formats in the Smart City program. Both, citizens and healthcare providers expressed a clear need for a low-threshold, reliable digital platform offering practical guidance—especially in emergencies and initial healthcare interactions.

To sum up, the region provides strong strategic and structural conditions for developing a user-centered digital health guide. With institutional support, targeted funding, and public openness to digital innovation, it offers an ideal setting for prototyping and evaluating solutions that could serve as models for other rural areas. Subsequently, requirements analysis served as key methodological link between the As-Is analysis of the analogue health guide and the development of the digital prototype. Its goal was to identify weaknesses and to translate them into actionable, user-centered requirements. This process included reviewing gaps in the existing solution and benchmarking against comparable directories from cities like Münster and Linz am Rhein, as well as digital tools like [NetDoktor's symptom checker](#). Requirements were collected and organized using a spreadsheet, applying the MoSCoW prioritization method (Must have, Should have, Could have, Won't have this time). Each entry was numbered, named, and classified as either functional or non-functional, and grouped into categories such as “Decision Tree,” “Filtering,” “Data Management,” and “Accessibility.” A priority scale from 1 (high) to 3 (low), supported by color-coding, helped guide implementation [KBS22].

A total of 52 requirements were documented, most of them functional. Key "Must have" items included login-free usage (A008), a dynamic decision tree (A001, A004), and the integration of local provider maps (A003). Non-functional requirements addressed design, legal, and technical aspects—for example, accessibility compliance (A049), imprint regulations (A007), and corporate design consistency (A042). WCAG-compliant components and zoom functions were successfully implemented. A feasibility analysis categorized requirements as fully implementable, partially implementable, or not currently viable. Of the 52 items, 45 were fully implemented, four partially, and three postponed. The latter three—including an external symptom checker (A020) and curated third-party content (A021)—faced legal barriers. Notably, all high-priority (must-have) items were fully implemented. Examples include the successful implementation of A003, enabling direct links from the decision tree to local service providers, and partial delivery of A017, which allows filtering by specialization and facility type. The structured, priority-driven approach proved effective in delivering a functional, user-focused digital prototype, even within a university project setting. The traceability of each feature to a documented system weakness offers a solid model for replication in other municipalities, while the remaining lower-priority items provide opportunities for future.

6 Design Blueprint for a Digital Health Guide

The digital platform was developed using the Drupal 10 content management system (see Figure 2). The goal was to create a modular, accessible, and user-friendly web application for structured delivery of health-related information within the region. It offers different perspectives: the end user can search for suitable healthcare providers or use the health guide to find answers to simple medical questions. The perspective of healthcare providers enables them to create and maintain their own profiles, thus ensuring that the data is regularly updated. Finally, the administrators are responsible for complete backend maintenance. This results in clear role-based access control on the platform.

The technical implementation followed a low-code/no-code (LCNC) approach, prioritizing visual configuration and prebuilt modules over custom programming [RK22]. This allows for efficient development and long-term maintenance by non-technical staff. The system uses six custom content types to represent different types of healthcare facilities (e.g., medical practices, care facilities, therapeutic services, self-help groups). Each content type is based on a predefined data model and consists of fields grouped by category (e.g., name, address, opening hours, contact). These fields are configured with specific data types (text, number, geolocation, etc.) and assigned clear and unique system names

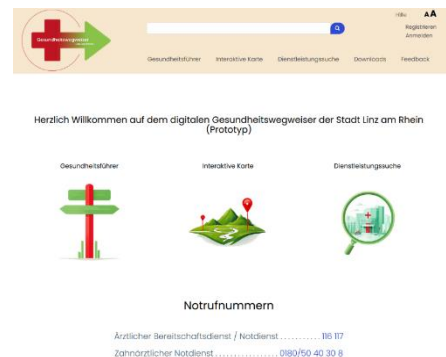
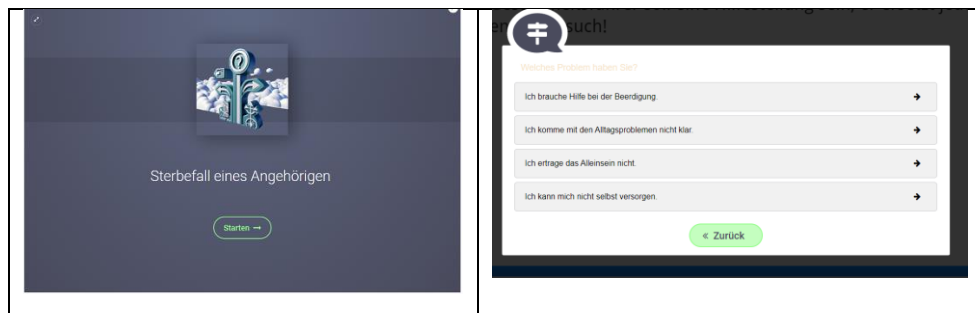


Figure 2 – First look of the prototype

to ensure proper linkage with data entry forms. To manage complexity, repeatable entities like addresses or healthcare professionals were limited to a realistic maximum (e.g., three locations, four practitioners



per facility), based on local conditions.

Figure 3 – H5P implementation of decision trees in health guides

Data entry is handled through the Webform module, which allows for detailed configuration of field types, validation rules, and layout. In combination with the Webform Content Creator, submitted form data is automatically converted into structured content types and displayed on the website. The form display serves as an editing interface, enabling healthcare providers to update their entries themselves—an essential feature for decentralized maintenance and ongoing data accuracy. To implement interactive decision support, the H5P module was used, specifically its “Branching Scenario” component, which transformed static decision trees into dynamic user pathways (“health guides”) with guided questions and recommendations. Edit rights for these modules are restricted to administrators and qualified medical professionals to ensure content integrity. Figure 3 shows an example of one of the decision trees. In this case, citizens can access information step by step in the event of an urgency, ultimately being directed to the relevant contact details. The decision tree is designed to avoid any medical decisions being made.

Geographic data is visualized using the Leaflet module in combination with GeoField, GeoPHP, and GeoLocation. Up to three sets of coordinates can be assigned per facility, shown on detail pages and on a centralized interactive map. The map includes filter and search functionality, and users can toggle between map view and a tabular directory, with filters retained across views. Modules such



Figure 4 – Interactive selection page

as Views Filters Populate and Autocomplete Filters enhance usability. The platform follows a mobile-first design [Mu15] and adapts to different screen sizes using media queries and the meta viewport tag. It was tested across major browsers and operating systems (Android, iOS, Windows) to ensure correct rendering of text, forms, tables, and interactive elements. Instead of a fully fluid grid, fixed breakpoints were used for layout control. To support data quality, a centralized feedback system was implemented, i.e. users can report outdated or incorrect information via a modified contact form—either centrally or directly on each facility’s page. Submissions are anonymous, compliant with data protection standards, and reviewed by the platform administrators.

7 Discussion and Conclusion

The implementation of the digital health guide in a rural German municipality presented both content-related and technical challenges, which were progressively addressed throughout the project. One of the first hurdles was determining how to collect data from regional healthcare providers. Initially, the team planned to conduct interviews based on a structured guide. However, this approach proved too time-consuming and impractical for broad coverage. As a result, the method was revised: direct data collection through an online submission form was implemented, complemented by desk research on publicly available provider websites. This combination enabled a more scalable and efficient approach to gathering relevant service information while minimizing the burden on providers. On the technical side, the Drupal Layout Builder posed limitations, particularly when representing complex provider structures, such as multi-location practices. Due to time constraints, switching to a different tool was not feasible. As the project progressed, not all planned features could be implemented; instead, the focus shifted to viable alternatives such as autocomplete search, WCAG compliance improvements, and clickable navigation icons. Some final visual enhancements—such as aligning H5P decision trees with the platform’s corporate design—could not be completed before the project ended. Despite these constraints, the team successfully delivered core platform features: a searchable service directory, an interactive map, dynamic decision trees, click-to-call emergency numbers, and a mail-based data collection process for digitally less experienced providers. In addition, clear usage instructions and a feedback system for reporting outdated data were implemented. Internally, the team faced challenges related to time estimation and coordination, but the iterative process fostered strong collaboration and practical learning in agile project management. Based on the project experience, the following recommendations were developed for future expansion:

- Governance: Define clear inclusion criteria and establish a standardized verification process for healthcare providers.
- Content: Validate existing decision tree content medically and incorporate feedback from stakeholder interviews.
- Usability: Conduct external usability testing and use findings to refine design and functionality.

- Features: Consider future enhancements like appointment booking, AI-supported chats, and more advanced filtering options (e.g., as in Munich's health guide).
- Accessibility: Offer multilingual versions reflecting the region's demographics—prioritizing languages like English, Arabic, Turkish, French, Russian, and Spanish.
- Security: Set up preconfigured provider accounts to reduce onboarding friction.
- Integration: Integrate the platform into the overarching structure of the city/municipality so that the solution is included alongside other citizen services.

Further technical suggestions include visually integrating decision trees, adding captcha to feedback forms to omit spam, adapt provider profile layouts from column to row format, and hide unused location fields. Given the limitations of the current Layout Builder, a more flexible layout tool is recommended for future development.

In conclusion, the project successfully delivered a functional, user-centered prototype for a municipal-level digital health guide. With further development and institutional support, the guide has strong potential to become a core component of a digitally supported, patient-centered healthcare infrastructure. The current prototype implementation has restrictions on scope, depth, and sustainability, which need to be realized in a fully fledged solution. Furthermore, the integration of such a digital health guide into municipal digital ecosystems is subject to structural and administrative constraints defined by the Smart City program itself. Despite these boundaries, the interactive decision trees stand out as a valuable contribution—helping to relieve healthcare providers by offering patients initial guidance and orientation prior to direct contact.

References

- [Az17] Azanha, A. et al.: Agile project management with Scrum. In: *International Journal of Managing Projects in Business* (1), 2017.
- [Al23] Albrecht, M. et al.: PraxisBarometer Digitalisierung 2023. *Befragung von Vertragsärztinnen/-ärzten und Vertragspsychotherapeutinnen/-psychotherapeuten im Auftrag der Kassenärztlichen Bundesvereinigung (KBV) (Kurzbericht)*, 2023.
- [Br22] Bratan, T. et al.: E-Health in Deutschland-Entwicklungsperspektiven und internationaler Vergleich. In: *Expertenkommission Forschung und Innovation (EFI)*, 2022.
- [Bu15] Bundesministerium für Gesundheit (BMG): Entwurf eines Gesetzes für sichere digitale Kommunikation und Anwendungen im Gesundheitswesen. In: *18. Wahlperiode, Deutscher Bundestag*, 2015.
- [Ca19] Caumanns, J.: Zur Diskussion: Stand der Digitalisierung im deutschen Gesundheitswesen. In: *Zeitschrift für Evidenz, Fortbildung und Qualität im Gesundheitswesen* 143, 2019.

- [CP20] Checkland, P.; Poulter, J.: Soft Systems Methodology. In: *Systems Approaches to Making Change: A Practical Guide, Second Edition*, 2020.
- [De03] Detmer, D.E.: Building the national health information infrastructure for personal health, health care services, public health, and research. In: *BMC Medical Informatics and Decision Making* 3, 2003.
- [Ey01] Eysenbach, G.: What is e-health? *Journal of Medical Internet Research* 3(2), 2001.
- [Fi23] Fitzpatrick, P. J.: Improving health literacy using the power of digital communications to achieve better health outcomes for patients and practitioners. *Frontiers i. D. Health* 5, 2023.
- [Fr20] Fricke, A. et al.: *Digitale-Versorgung-Gesetz BT - Digitalisierung im Gesundheitswesen: Ein kompakter Streifzug durch Recht, Technik und Ethik* 23, 2020.
- [Ja24] Jane Osareme, O. et al.: Demographic shifts and healthcare: A review of aging populations and systemic challenges. *Intern. Journal of Science and Research Archive* 11(1), 2024.
- [Ja22] Javed, A. R. et al.: Future smart cities requirements, emerging technologies, applications, challenges, and future aspects. *Cities* 129, 2022.
- [KBS22] Kravchenko, T., Bogdanova, T., Shevgunov, T.: Ranking Requirements Using MoSCoW Methodology in Practice. In: Silhavy, R. (eds) *Cybernetics Perspectives in Systems. CSOC 2022. LNNS vol 503*, Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-09073-8_18
- [KBL13] Krallmann, H.; Bobrik, A.; Levina, O.: *Systemanalyse im Unternehmen*. München : Oldenbourg Wissenschaftsverlag, 2013.
- [Ka23] Kassenärztliche Vereinigung Bayerns (KVB): *Allgemeine Informationen zum Thema Anstellung eines Arztes bei einem Vertrags-arzt/einer BAG/einem MVZ.*, 2023.
- [LR17] Lipprandt, M.; Röhrig, R.: Gebrauchstauglichkeit und Patientensicherheit in E-Health-Anwendungen. In: *E-Health-Ökonomie*, 2017
- [LM22] Lux, T.; Müller-Mielitz, S.: Digitale Transformation auf Basis gesetzlicher Regelungen. In: *E-Health-Ökonomie II*, 2022
- [Lu17] Lux, T.: E-Health – Begriff und Abgrenzung. *E-Health-Ökonomie*, 2017.
- [Mu15] Mullins, C.: Responsive, mobile app, mobile first: Untangling the UX design web in practical experience. In: *Proceedings of SIGDOC 2015*, 2015
- [No18] Nohl-Deryk, P. et al.: Hürden bei der Digitalisierung der Medizin in Deutschland – eine Expertenbefragung. In: *Das Gesundheitswesen* Bd. 80 (2018), Nr. 11
- [Na15] Naslund, J. A. et al.: Emerging mHealth and eHealth interventions for serious mental illness: A review of the literature. *Journal of Mental Health* 24 (5):2015.
- [No01] Norris, A. C.: *Essentials of Telemedicine and Telecare*, 2001
- [Oh05] Oh, H. et al.: What is eHealth (3): A systematic review of published definitions. *Journal of Medical Internet Research* 7 (1): 2005.

- [Pa98] Partsch, H: *Requirements-Engineering systematisch*, 1998
- [Ph19] Phillips, J. L. et al.: A phase III wait-listed randomised controlled trial of novel targeted inter-professional clinical education intervention to improve cancer patients' reported pain outcomes (The Cancer Pain Assessment (CPAS) Trial): Study protocol. In: *Trials* 20 (1), 2019.
- [Pa05] Pagliari, C. et al.: What is eHealth (4): A scoping exercise to map the field. In: *Journal of Medical Internet Research* 7 (1), 2005.
- [Ra17] Raum, B: E-Health, Big Data, Gesundheit-Apps und Wearables – Neue Herausforderungen für den Gesundheitsdatenschutz im digitalen Zeitalter. In: *Big Data und E-Health* : Erich Schmidt Verlag, 2017, pp. 123–140.
- [RK22] Rokis, K.; Kirikova, M.: Challenges of Low-Code/No-Code Software Development: A Literature Review. In: Proceedings of international conference on business informatics research, LNBIP 462, Springer International Publishing, pp. 3-17, 2022
- [RS04] Rowley, J.; Slack, F.: Conducting a literature review. In: *Management Research News* Bd. 27 (6), 2004
- [Ra23] Raimo, N. et al.: The drivers of the digital transformation in the healthcare industry: An empirical analysis in Italian hospitals. *Technovation* 121, 2023.
- [Ru23] Ruscheinski, T.: Herausforderungen ländlicher Räume – das Ziel gleichwertiger Lebensverhältnisse. In: *Smart Region: Angewandte digitale Lösungen für den ländlichen Raum*, 2023
- [Sc22] Schirmer, H.: Chancen und Grenzen der Digitalisierung im Gesundheitswesen zur nachhaltigen Förderung der Bevölkerungsgesundheit in Deutschland. In *Controlling & Innovation 2022: Gesundheitswesen*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, pp. 281-334, 2022
- [Schö21] Schöne, Markus: Digitalisierung in der Praxis. In: *Uro-News* Bd. 25 (2021), Nr. 11
- [Sc24] Schendzielorz, J. et al.: Digitale Technologien in der Allgemeinmedizin *Zeitschrift für Allgemeinmedizin* 100 (1), 2024
- [So07] Sood, S. et al.: What is telemedicine? A collection of 104 peer-reviewed perspectives and theoretical underpinnings. *Telemedicine and e-Health* 13 (5), 2007.
- [WLG09] Wager, K. A.; Lee, F. W.; Glaser, J. P: *Health Care Information Systems A practical approach for health care management*. John Wiley & Sons, 2009.
- [We12] Wehmeier, A.: Moderne Informations- und Kommunikationstechnologie als Chance für die ländliche Versorgung. *Gesundheits- und Sozialpolitik* 66 (6), 2012.
- [Wo21] World Health Organization (WHO): Global strategy on digital health 2020-2025, 2021.

Kommune und Anwendung

User Tracking auf kommunalen Webpräsenzen

Eine Analyse ausgewählter Tracking-Methoden am Beispiel des Freistaats Sachsen

Georg Opitz¹ und Gunnar Auth ²

Abstract: Die vorliegende Untersuchung analysiert die datenschutzkonforme Umsetzung kommunaler Webpräsenzen im Freistaat Sachsen im Hinblick auf moderne Tracking-Methoden. Ausgehend von einer allgemeinen Zunahme von User Tracking trotz eindeutiger Rechtslage wurden N = 428 kommunale Webpräsenzen automatisiert mit dem Free Open Source Tool Website Evidence Collector (WEC) auf eingesetzte Tracking-Methoden hin untersucht. Die Ergebnisse zeigen eine starke Abhängigkeit von Drittanbietern, wobei Consent-Management-Bibliotheken und der Alphabet-Konzern eine besondere Relevanz aufweisen. Die Untersuchung kommt zum Schluss, dass erforderliche Ressourcen für den Betrieb von Webpräsenzen lokal eingebunden werden müssen, um die Nutzertransparenz zu erhöhen und Datenschutzlücken zu schließen.

Keywords: User Tracking, Tracking-Methoden, Verwaltungsportal, Kommunalverwaltung, Datenschutz

1 Einleitung

Viele Behörden bieten ihren Bürgern heutzutage Online-Dienstleistungen auf der Basis von Webpräsenzen an [Gö22]. Diese Webpräsenzen können beim Besuch durch den Einsatz von Tracking-Methoden eine Fülle personenbezogener Daten über den Nutzer generieren, darunter beispielsweise IP-Adressen oder Aufzeichnungen zu genutzten Funktionen. Ein Risiko des E-Governments besteht in der potenziellen Zentralisierung von digitalen Interaktionen mit verpflichtenden oder unverzichtbaren Dienstleistungen für alle Bürger. In der Konsequenz könnten die dadurch gewonnenen Daten – unbeabsichtigt oder gezielt – zur Überwachung und Nachverfolgung der gesamten Bevölkerung missbraucht werden [Gö22]. Aus dem Grundgesetz Art. 20 Abs. 3 ergibt sich jedoch der „Vorrang des Gesetzes“, wodurch auch kommunale Webpräsenzen an die Vorgaben der einschlägigen Datenschutzgesetze gebunden sind. Trotz dieser klaren Rechtslage wurden in jüngerer Zeit immer wieder Fälle von missbräuchlicher Speicherung und Weitergabe der Nutzerdaten öffentlicher Webpräsenzen festgestellt [Ke24]. Für die Verfolgung von Nutzeraktivitäten (eng. Tracking) haben sich sogenannte Web-Cookies in den vergangenen zwei Jahrzehnten zu einer Standardtechnologie entwickelt,

¹ Zweckverband Kommunale Informationsverarbeitung Sachsen - KISA, Behördlicher Datenschutzbeauftragter, Eilenburger Straße 1a, 04317 Leipzig, georg.opitz@kisa.it

² Hochschule Meißen (FH) und Fortbildungszentrum, Fachbereich Digitale Verwaltung, Herbert-Böhme-Straße 11, 01662 Meißen, gunnar.auth@hsf-meissen.de,  <https://orcid.org/0000-0002-3013-2739>

welche zunehmend zu einer Bedrohung der Privatsphäre geworden ist [RL18]. Der Fokus dieser Untersuchung liegt jedoch nicht allein auf Web-Cookies, sondern umfasst auch weitere Tracking-Methoden.

Vor diesem Hintergrund analysiert diese Untersuchung die datenschutzkonforme Umsetzung kommunaler Webpräsenzen im Hinblick auf Tracking-Methoden am Beispiel des Freistaats Sachsen. Auf die Verwendung der ebenfalls gebräuchlichen Begriffe Verwaltungsportal oder E-Government-Portal wird hier verzichtet, da gerade bei kleinen Kommunen Online-Dienste für Verwaltungsleistungen häufig nur rudimentär implementiert sind. Zur automatisierten Sammlung von Nachweisdaten für den Einsatz von Tracking-Methoden auf Webseiten wurde im Auftrag der Europäischen Union (EU) das Open-Source-Werkzeug Website Evidence Collector (WEC) entwickelt, das kostenlos im Internet zur Verfügung gestellt wird. Dieser Untersuchung liegt daher die Frage zugrunde, welche Datenschutzmängel auf den Webpräsenzen sächsischer Kommunen durch den Einsatz des WEC identifiziert werden können. Darüber hinaus soll gezeigt werden, welche Daten die Ergebnisse des WEC sinnvoll ergänzen, um eine fundierte Analyse zu ermöglichen und eine Vergleichbarkeit herzustellen.

Als nächstes gibt Abschnitt 2 einen grundlegenden Überblick über Tracking-Methoden und aktuelle Implementierungsformen. In Abschnitt 3 wird die Untersuchungsmethodik erläutert, worauf in Abschnitt 4 die zentralen Ergebnisse dargestellt und bewertet werden, bevor der Artikel mit einem Fazit schließt.

2 Konzeptioneller Hintergrund

Die Verwendung von Tracking-Methoden ist für Online-Dienste von essenzieller Bedeutung. Die Funktionalitäten ermöglichen die Personalisierung von Diensten und deren Optimierung auf Basis von Webseiten-Analyse, umfassen aber auch gezielte Werbung [RKW12]. Allerdings erachten Nutzer die fehlende Transparenz hinsichtlich der Zugriffe auf ihre Daten sowie die Möglichkeit der Nachverfolgung ihrer Aktivitäten im Internet als Problem [AAW23]. Insbesondere für die Nutzung von Verwaltungsportalen kann sich der damit verbundene Vertrauensverlust negativ auf die Akzeptanz auswirken. Ein Hilfsmittel zur Wahrung von Privacy by Design und der Umsetzung gesetzlicher Vorgaben ist der „Do Not Track“-Header (DNT). Dieser wird von allen gängigen Browsern unterstützt und ermöglicht es Nutzern, ihre Präferenz gegenüber Tracking und Werbung zu signalisieren.

2.1 Quellen von Tracking-Methoden

Zu den Inhalten von Erstanbietern (eng. first-party content) zählen Tracking-Ressourcen, die von derselben Domain geladen werden, die der Nutzer im Browser-Adressfeld sieht. Dadurch realisiert der Betreiber der besuchten Webseite selbst eine Nachverfolgung der Nutzer [LGN18]. Demgegenüber stammen Inhalte von Drittanbietern (eng. third-party

content) von einer anderen Domain und ermöglichen es externen Anbietern, Nutzungsdaten zu erheben, sobald deren Inhalte auf der Webseite des Erstanbieters abgerufen werden [LGN18]. Zu diesen Drittanbietern zählen Werbenetzwerke, soziale Netzwerke und Hersteller von Analyse-Tools, die durch die Einbettung sogenannter Widgets eine geräte- und sitzungsübergreifende Nachverfolgung von Nutzern erlauben [Su23].

2.2 Arten und Implementierungsformen von Tracking-Methoden

Tracking-Methoden lassen sich in zustandsbehaftetes (eng. *stateful*) und zustandsloses (eng. *stateless*) Tracking unterscheiden [Sa17]. Beim zustandsbehafteten Tracking werden Informationen auf dem Endgerät des Nutzers gespeichert, da HTTP als zustandsloses Protokoll keine persistente Datenspeicherung erlaubt [FNR22]. Typische Vertreter sind Web-Cookies, Web-Beacons und HTML5-Web-Storage-Objekte [Pu15]. Dagegen erfordert zustandsloses Tracking keine lokale Speicherung, sondern nutzt Techniken wie Browser-Fingerprinting, die sich nur schwer durch Private-Browsing oder Löschung von Tracking-Objekten unterbinden lassen [Sa17].

Web-Cookies sind integraler Bestandteil moderner Webanwendungen und haben zugleich wichtige Implikationen für den Datenschutz [Ca16]. Sie sind Textzeichenfolgen, die als Tripel aus Domäne, Schlüssel und Wert im Browser gespeichert werden [Ba11]. Sie werden entweder per HTTP-Set-Cookie-Header oder via JavaScript-API gesetzt [Bu17] und nach Quelle in Erstanbieter- und Drittanbieter-Cookies unterschieden [Gö22]. Session-Cookies enden mit Sitzungsende, persistente Cookies besitzen ein Ablaufdatum und verbleiben länger im Speicher [Tr19], [Gö22]. Nach ihrem Zweck lassen sich Web-Cookies in vier Gruppen unterteilen: Essenzielle Cookies gewährleisten unverzichtbare Funktionen (z. B. Authentifizierung, Sitzungsmanagement), während Targeting- und Werbe-Cookies geräteübergreifendes Tracking und personalisierte Werbung ermöglichen und damit erhöhte Datenschutzrisiken bergen. Daneben dienen Performance- und Functionality-Cookies zur Optimierung und Personalisierung der Webseitennutzung [IC12]. **Web-Beacons** sind typischerweise 1×1 -Pixel-Grafiken, die meist von Drittanbietern bereitgestellt werden und durch transparente oder hintergrundfarbige Einbettung Nutzeraktivitäten nachverfolgen (ursprünglich 1999 als „Web Bug“ definiert; [Sm99], [RL18]). Unter einer erweiterten Definition schließen Web-Beacons außerdem kleine Code-Snippets (z. B. JavaScript, CSS) ein, die dieselbe Tracking-Funktion erfüllen [Do11]. **HTML5-Web-Storage-Objekte** speichern Schlüssel-Wert-Paare im Browser und lassen sich über eine JavaScript-API verwalten. Session-Storage-Objekte speichern Daten fenstergebunden nur für die Dauer der aktuellen Sitzung, während Local-Storage-Objekte diese persistent über Fenster- und Sitzungsgrenzen hinweg erhalten und dadurch Drittanbietern ermöglichen, mit eindeutigen Kennungen geräteübergreifendes Tracking zu realisieren [WH24]. **Browser-Fingerprinting** nutzt eine Vielzahl browser- und gerätespezifischer Merkmale (z. B. User-Agent, Bildschirmauflösung, installierte Schriftarten), um Browser-Instanzen ohne lokale Speicherung eindeutig zu identifizieren und Nutzer über verschiedene Webseiten hinweg nachzuverfolgen [SHC23]. Fingerprinting gilt als weitaus persistenter und ist schwerer zu kontrollieren als zustandsbehaftetes

Tracking. Darüber hinaus gibt es weitere Tracking-Methoden, die sich in sitzungs-, speicher- und cache-basierte Techniken unterteilen lassen [Bu17].

3 Methodik der Untersuchung

Der WEC ist ein unter der Lizenz EUPL1.2 veröffentlichtes Free Open Source Tool des Europäischen Datenschutzbeauftragten [EDo. J.], das eine automatisierte, skalierbare und reproduzierbare Analyse von Webpräsenzen ermöglicht. Für jede Untersuchung startet der WEC eine neue Chromium-Instanz mit frischem Nutzerprofil und lädt Webseiten der Webpräsenz sequenziell ohne weitere Nutzerinteraktion. Das Tool erfasst während der Untersuchung u. a. HTTP-Links (Erstanbieter, Drittanbieter sowie Verweise auf soziale Medien und Kollaborationsdienste), eine vollständige Liste besuchter Webseiten, HTML5-Local-Storage-Einträge, alle im Browserprofil abgelegten Web-Cookies und Web-Beacons, Tracking-Anfragen mittels integrierter Filter-Listen³ und einer Übersicht der Erst- und Drittanbieter-Hosts sowie die WebSocket-Kommunikation zwischen Browser und Server. Eine Vielzahl von Konfigurationsparametern rundet den Funktionsumfang ab: Mit „--max“ erweitert der WEC die Link-Exploration um beliebig viele zusätzliche Webseiten pro Webpräsenz, während „--dnt true“ und „--dnt-js true“ das Senden des „Do Not Track“-Headers sowohl auf HTTP- als auch auf JavaScript-Ebene aktivieren. Die Kombination dieser Funktionen macht den WEC zum geeigneten Instrument für großzahlige Untersuchungen. Weiterhin ausschlaggebend für die Auswahl war die offizielle Bereitstellung durch den EU-Datenschutzbeauftragten, wodurch eine datenschutzkonforme und sichere Nutzbarkeit prinzipiell angenommen werden kann. Vergleichbare Tools sind „FPDetective“ (2013) zur Erkennung zustandsloser Tracking-Methoden [Ac13], die „OpenWPM“-Plattform (2015/2016) für zustandslose und zustandsbehaftete Tracking-Methoden ([En15], [EN16]), „webXray“ (2015) zur Unternehmenszuordnung von Anfragen von Drittanbietern [Li15] und „OmniCrawl“ (2021) für Untersuchungen in mobilen und Desktopbrowsern [Ca21].

Die Untersuchung wurde zwischen dem 2. September 2024 und dem 5. September 2024 unter Nutzung der Docker Engine CE 26.0.0 und des Docker-Images WEC v2.1.2 vom 25. April 2024 durchgeführt. Die verwendeten Filter-Listen sowie die Liste der sozialen Medien mit 34 Einträgen datieren auf den 2. September 2024. Die Datenanalyse erfolgte in einer MySQL-Datenbank mit persistenter Speicherung; die Datenbearbeitung und -auswertung wurde über phpMyAdmin realisiert. Zunächst wurden das öffentlich verfügbare Gemeindeverzeichnis der Landesdirektion Sachsen⁴ (Stand 8. August 2024; N = 428) und die WEC-Untersuchungsergebnisse importiert. Nach dem Datenimport wurde das Identifizierungspotenzial der persistenten Cookies mit dem von Dropbox entwickelten Schätzer für die Kennwortstärke⁵ bewertet. Anschließend erfolgte die Klas-

³ easyprivacy.txt, <https://easylist.to/easylist/easyprivacy.txt>, und fanboy-annoyance.txt, <https://secure.fanboy.co.nz/fanboy-annoyance.txt> [Zugriff jeweils am: 02.09.2024].

⁴ https://www.lids.sachsen.de/?ID=2392&art_param=155 [Zugriff am: 26.08.2024].

⁵ <https://github.com/dropbox/zxcvbn> [Zugriff am: 09.09.2024].

sifizierung des Zwecks der Web-Cookies mittels Cookiepedia nach der International Chamber of Commerce United Kingdom (ICC UK) und ergänzend bei „Unknown“ durch Abfrage der Open Cookie Database (OCD)⁶.

Hinsichtlich ethischer Belange wurden die Vorschläge von Kenneally und Dittrich [KD12] berücksichtigt. Es wurde beispielsweise darauf geachtet, dass der Netzwerkverkehr nicht zu groß wird und die Webpräsenz nicht beeinträchtigt wird [PA16]. Im Rahmen der Untersuchung wurden keine personenbezogenen Daten von Einzelpersonen verarbeitet. Der WEC gibt vor, ein normaler Nutzer zu sein und untersucht lediglich, wie die Webpräsenz reagiert [Da19].

4 Ergebnisse und Bewertung

In diesem Abschnitt werden die wesentlichen Ergebnisse der Untersuchung dargestellt und mit den Befunden vergleichbarer Studien in Beziehung gesetzt. Dabei erfolgt zunächst eine Übersicht allgemeiner Resultate, bevor spezifische Tracking-Methoden betrachtet werden.

4.1 Allgemeine Ergebnisse

Im Rahmen der Untersuchung konnten insgesamt $n = 409$ Webpräsenzen erfolgreich analysiert werden. Lediglich ein Anteil von 4,4 % der Webpräsenzen konnte aufgrund fehlender Webseiten, technischer Verbindungsprobleme bzw. fehlerhafter Zertifikatskonfigurationen oder fehlerhaftem Verhalten des WEC nicht untersucht werden (vgl. Abb. A.1 im Anhang). Im Verlauf der Untersuchung wurden insgesamt 1.139 Web-Cookies, 1.001 Web-Beacons und 387 Einträge im Local-Storage-Objekt (nachfolgend gemeinsam „Objekte“) erfasst. Insgesamt wurden 25.468 Webseiten besucht. Der WEC lief mit dem Parameter „--max 100“, um pro Webpräsenz bis zu 100 zusätzliche Webseiten zu erfassen. Im Durchschnitt besaß jede Webpräsenz 6,2 Objekte.

4.2 Web-Cookies

Auf 72,1 % der untersuchten Webpräsenzen wurden Web-Cookies nachgewiesen (vgl. Tab. 1), seltener als die 87,6 % bei deutschen Regierungsseiten [Gö22]. Eine Einteilung wurde hinsichtlich ihrer Lebenszeit, ihrer Quelle, ihrem Zweck sowie ihrer Setzmethode vorgenommen.

⁶ <https://github.com/jkwakman/Open-Cookie-Database> [Zugriff am: 09.09.2024].

Kommunale Webpräsenzen mit Objekt	Anzahl
Web-Cookie-Einträge	295 (72,1 %)
Web-Beacon-Einträge	219 (53,5 %)
Einträge im Local-Storage-Objekt	125 (30,6 %)

Tab. 1: Anzahl der kommunalen Webpräsenzen mit Tracking-Objekten

Bezüglich der **Lebenszeit** dominierten Session-Cookies mit 78,9 % bei Erstanbietern (Götze et al.: 65,0 %) und 66,0 % bei Drittanbietern (Götze et al.: 25,0 %), während persistente Cookies entsprechend gering ausfielen (vgl. Tab. 2). Session-Cookies wurden auch als solche kategorisiert, sofern deren Lebenszeit einen negativen Wert aufwies. Dabei erfolgte die Einteilung nach **Quelle** gemäß des Vorgehens von Urban et al. [Ur20]. Mehr als die Hälfte (54,3 %) aller Web-Cookies stammte von Drittanbietern (Götze et al.: 27,5 %, Trevisan et al.: 39,0 %) [Tr19], was ein erhöhtes Datenschutzrisiko darstellt. Es lässt sich demnach feststellen, dass Drittanbieter-Cookies sächsischer kommunaler Webpräsenzen eine deutlich kürzere Gültigkeitsdauer aufweisen, während Götze et al. signifikant höhere Anteile an längerlebigen Web-Cookies verzeichnen. Insgesamt setzten Drittanbieter häufiger auf langlebigere Web-Cookies, als dies bei Erstanbietern der Fall ist.

Untersuchungsgegenstand	Vorliegende Untersuchung	Untersuchung von Götze et al.	Untersuchung von Trevisan et al.
Webpräsenzen mit Web-Cookies	72,1 %	87,6 %	-
Session-Cookies (gesamt)	71,9 %	54,0 %	-
Persistente Cookies (gesamt)	28,1 %	46,0 %	-
Erstanbieter-Cookies (gesamt)	45,7 %	72,5 %	61,0 %
Session	78,9 %	65,0 %	-
Persistent, davon	21,1 %	35,0 %	-
≤ 1 Stunde	10,7 %	10,0 %	-
≤ 1 Tag	2,5 %	2,0 %	-
≤ 1 Monat	3,5 %	10,0 %	-
≤ 1 Jahr	1,9 %	3,0 %	-
> 1 Jahr	2,5 %	10,0 %	-
Drittanbieter-Cookies (gesamt)	54,3 %	27,5 %	39,0 %
Session	66,0 %	25,0 %	-
Persistent, davon	34,0 %	75,0 %	-
≤ 1 Stunde	5,2 %	3,0 %	-
≤ 1 Tag	2,4 %	8,0 %	-
≤ 1 Monat	4,1 %	4,0 %	-
≤ 1 Jahr	18,1 %	24,0 %	-
> 1 Jahr	4,2 %	36,0 %	-

Tab. 2: Vergleich der vorliegenden Untersuchung mit Götze et al. und Trevisan et al. (kursive Zahlen wurden aus den publizierten Daten errechnet)

Die Kategorisierung der persistenten Cookies nach **Lebensdauer** erfolgte gemäß der von Götze et al. vorgeschlagenen Klassifikation [Gö22]. Ein Anteil von 36,3 % der Cookies wies eine Lebensdauer von ≤ 1 Tag auf (vgl. Tab. 2). Der Anteil der Cookies mit einer Lebensdauer von ≤ 1 Monat belief sich auf 13,4 %, während 38,1 % der Cookies eine Lebensdauer von ≤ 1 Jahr aufwiesen. 12,2 % wiesen eine Lebensdauer von > 1 Jahr auf. Während Erstanbieter-Cookies insbesondere in den kurzlebigen Kategorien dominierten, stieg der Anteil der Drittanbieter-Cookies mit zunehmender Lebensdauer deutlich an (vgl. Abb. A.2 im Anhang).

Die Klassifizierung des **Zwecks** von Web-Cookies wurde anhand definierter Zweckkategorien vorgenommen und lag mit 50,4 % deutlich unter den von Urban et al. angegebenen 74,0 % [Ur20]. Erklären lässt sich dieses Ergebnis, durch den hohen Anteil an Session-Cookies (71,9 %), deren herstellereigene Bezeichnung von Datenbanken oft nicht erfasst werden. 34,9 % der Web-Cookies waren aus technischer Sicht als notwendig („strictly necessary“) einzustufen, 7,6 % dienten Performance- und 1,4 % Funktionszwecken (vgl. Abb. A.3 im Anhang). Für 49,6 % der Web-Cookies konnte keine eindeutige Zweckbestimmung vorgenommen werden („Unknown“). Die verbleibenden 6,5 % – entsprechend 22,5 % der persistenten Cookies ($n = 67$) – wurden als Targeting-/Werbe-Cookies klassifiziert und mit dem von Dropbox entwickelten Schätzer für die Kennwortstärke gemäß Sanchez-Rola et al. [Sa19] beurteilt. Werte über 10^9 gelten hierbei als ausreichend, um einen Nutzer unter einer Milliarde zu identifizieren [Sa19].

Auf 38 kommunalen Webseiten (9,3 % der Stichprobe) fanden sich solche persistente Targeting-/Werbe-Cookies – ähnlich den 9,0 % bei Götze et al. [Gö22], aber unter den 16,0 % von Trevisan et al. [Tr19]. Davon entfallen sieben unterschiedliche **Tracking-Cookies** auf den Alphabet-Konzern, die übrigen 9,0 % auf Facebook (4,5 %) und weitere Unternehmen. Damit bestätigen die Tracking-Cookies des Alphabet-Konzerns erneut dessen Dominanz (91,0 %) bei personalisierten Nachverfolgung [Sa22].

Bei über zwei Dritteln aller Web-Cookies (69,2 %) wurde als **Setzmethode** serverseitiges Setzen per HTTP-Header verwendet, was den Betreibern der Webseiten die Hauptkontrolle über das Setzen ermöglicht. Bei Session-Cookies liegt dieser Anteil sogar bei 74,8 %, während 25,2 % über die JavaScript-API gesetzt werden. Persistente Cookies verteilen sich dagegen ausgewogener: 54,7 % werden über den HTTP-Header gesetzt und 45,3 % über die JavaScript-API. Letztere Methode erlaubt es Drittanbietern, Tracking-Skripte dynamisch nachzuladen.

4.3 Web-Beacons

Auf 53,5 % der untersuchten Webpräsenzen kamen Web-Beacons zum Einsatz (vgl. Tab. 1). Insgesamt wurden 152 eindeutige Domains identifiziert. Die Analyse ergibt, dass Web-Beacons der Consent-Management-Plattform Usercentrics mit 37,9 % den größten Anteil haben, gefolgt von Diensten des Alphabet-Konzerns mit 17,4 % (vgl. Tab. 3).

Unternehmen	Anzahl
Usercentrics GmbH	379 (37,9 %)
Alphabet Inc. (Google, YouTube)	174 (17,4 %)
Zweckverband KISA	62 (6,2 %)
Pitcom GmbH	27 (2,7 %)
etracker GmbH	18 (1,8 %)

Tab. 3: Unternehmen hinter Web-Beacons (Top 5)

An dritter Stelle liegt der kommunale IT-Dienstleister KISA⁷. Dagegen sind Web-Beacons von Facebook mit 1,2 % nur marginal vertreten. Trotzdem unterstreicht dieses Ergebnis die unkritische Nutzung externer Bibliotheken, die eine Nachverfolgung von Nutzern ermöglicht.

Der Anteil der Web-Beacons für die engere Definition entspricht nur 2,5 %. Der überwiegende Teil der identifizierten Elemente sind jedoch JavaScript-Codes (48,8 %) oder CSS-Dokumente (4,3 %), die dynamisch nachgeladen werden und als Drittanbieter-Ressourcen die Privatsphäre der Nutzer erheblich beeinträchtigen. Eine lokale Integration solcher Skripte würde sie rechtlich als Erstanbieter-Beacons klassifizieren und Tracking-Risiken reduzieren. Zudem kann ein hoher Anteil an Ressourcen nicht bestimmt werden (25,6 %).

4.4 Einträge im Local-Storage-Objekt

Auf 30,6 % der untersuchten Webpräsenzen finden sich Einträge im Local-Storage-Objekt – deutlich seltener als Web-Cookies (72,1 %) (vgl. Tab. 1). Die Einteilung der Einträge im Local-Storage-Objekt erfolgte gemäß der Klassifikation von [Gö22]. Von den 387 erfassten Einträgen entfallen 42,4 % auf Erstanbieter und 57,6 % auf Drittanbieter (vgl. Tab. 4), wobei der Alphabet-Konzern mit Google und YouTube mit 61,0 % den größten Anteil unter den Drittanbietern hält. Alle Einträge von Erstanbietern waren auf die Sitzungsdauer beschränkt. Bei Drittanbieter-Einträgen wurden 58,6 % bis zum Sitzungsende gespeichert, während 26,2 % eine Lebensdauer von ≤ 1 Tag, 14,7 % von ≤ 1 Jahr und 0,5 % von > 1 Jahr aufwiesen.

Einträge im Local-Storage-Objekt	
Erstanbieter	164 (42,4 %)
Drittanbieter	223 (57,6 %)
<i>Gesamt</i>	387 (100,0 %)

Tab. 4: Einteilung Einträge im Local-Storage-Objekt nach Quelle

⁷ Zweckverband Kommunale Informationsverarbeitung Sachsen.

4.5 Soziale Netzwerke

Auf 71,4 % der untersuchten Webpräsenzen finden sich Verlinkungen zu sozialen Netzwerken (link outs). Dabei dominieren Dienste des Meta- und Alphabet-Konzerns (vgl. Abb. A.4 im Anhang). Die allgegenwärtige Einbindung externer Plugins schafft zusätzliche Tracking-Vektoren und erfordert klare Nutzerhinweise beim Verlassen der kommunalen Webpräsenzen.

5 Fazit

Die automatisierte Analyse kommunaler Webpräsenzen im Freistaat Sachsen lieferte eine valide Momentaufnahme der Verwendung von Tracking-Methoden und offenbarte grundlegende Defizite im praktischen Datenschutz. Auffällig ist die ausgeprägte Abhängigkeit von Drittanbieter-Tracking: Viele Kommunen übertragen zentrale Funktionen an externe Dienste (z. B. den Alphabet-Konzern), wodurch Kontrolle und Transparenz für die Nutzer eingeschränkt bleiben. Gleiches gilt für Web-Beacons, deren unkritische Einbindung vor allem über Consent-Management-Bibliotheken und große Plattformen erfolgt. Eine lokale Integration dieser Ressourcen würde sie rechtlich als Erstanbieter-Ressourcen klassifizieren und Tracking-Risiken deutlich verringern.

Die Anwendung des Dropbox-Schätzers zur Bewertung persistenter Cookies erwies sich als praktikables Verfahren. Die niedrige Klassifizierungsquote für den Zweck von Cookies hingegen sollte in folgenden Untersuchungen verbessert werden, auch wenn diese vor allem auf den hohen Anteil herstellerspezifischer Session-Cookies zurückzuführen war. Auch im Bereich der Lebensdauer von Cookies und Local-Storage-Einträgen besteht Forschungsbedarf: Eine feinere Segmentierung kurz- und mittelfristiger Lebensdauern würde helfen, die Dynamik moderner Tracking-Methoden besser zu verstehen. Obwohl HTML5-Web-Storage-Objekte datenschutzfreundliche Vorteile bieten und nicht mit jeder HTTP-Anfrage Daten übertragen, setzen kommunale Betreiber überwiegend auf konventionelle Cookies und dynamisch nachgeladene Skripte. Dieses Ungleichgewicht zeigt, dass das Potenzial weniger invasiver Speichermechanismen bislang unzureichend ausgeschöpft wird.

Der WEC bestätigte sich als leistungsfähiges Tool zur Erfassung zustandsbehafteten Trackings. Zustandslose Methoden bleiben dagegen unberücksichtigt, weshalb ergänzende Werkzeuge notwendig sind, um das gesamte Spektrum moderner Tracking-Methoden zu untersuchen. Weitere Limitationen der Untersuchung betreffen die Klassifikation von Erst- und Drittanbieter-Ressourcen, die durch den WEC teils ungenau erfolgte und aufgrund der hohen Zahl nicht manuell überprüft werden konnten. Ebenfalls wurden keine Untersuchungen mit weiteren Filter-Listen außerhalb des Tools durchgeführt⁸, da diese umfassende Quellcode-Änderungen am WEC vorausgesetzt hätten. Die

⁸ easylist.txt, <https://easylist.to/easylist/easylist.txt> oder Filter-Listen von Adguard (<https://adguard.com/kb/de/general/ad-filtering/adguard-filters/>) [Zugriff jeweils am: 30.08.2025].

Übertragbarkeit des Vorgehens unter Verwendung des WEC auf andere Bundesländer, andere föderale Ebenen oder einzelne Behörden ist prinzipiell gegeben, es werden lediglich die jeweiligen URLs benötigt.

Abschließend lässt sich festhalten, dass die untersuchten Webpräsenzen zwar moderne digitale Dienstleistungen bieten, dabei aber wichtige Datenschutzprinzipien nur unzureichend umsetzen. Die vorliegende Untersuchung zeigt, dass sich trotz rechtlicher Vorgaben und der Prämissen von Privacy by Design nach wie vor zahlreiche Tracking-Methoden auf den Webpräsenzen finden. Um dem Vorrang des Gesetzes gerecht zu werden und die Grundrechte der Nutzer wirksam zu schützen, ist es unerlässlich, technische und organisatorische Maßnahmen konsequent umzusetzen: Kommunale Webpräsenzen müssen externe Tracking-Ressourcen auf sichere, lokal gehostete Alternativen umstellen, verstärkt auf Session-Storage-Lösungen setzen und klare Hinweise beim Verlassen ihrer Webpräsenzen implementieren. Nur so kann gewährleistet werden, dass kommunale Online-Dienstleistungen nicht zur unbeabsichtigten oder gezielten Nachverfolgung von Nutzern missbraucht werden.

Literaturverzeichnis

- [AAW23] Alharbi, J. A.; Albeshier, A. S.; Wahsheh, H. A.: An Empirical Analysis of E-Governments' Cookie Interfaces in 50 Countries. *Sustainability* 2/15, 1231–1254, 2023.
- [Ac13] Acar, G. et al.: FPDetective. Dusting the Web for Fingerprinters. In (Sadeghi, A.-R.; Gligor, V.; Yung, M. Hrsg.): *Proc. of the 2013 ACM SIGSAC conf. on computer & communications security - CCS '13*. ACM Press, New York, USA, S. 1129–1140, 2013.
- [Ba11] Barth, A.: *HTTP State Management Mechanism*. RFC Editor, 2011.
- [Bu17] Bujlow, T. et al.: A Survey on Web Tracking. Mechanisms, Implications, and Defenses. *Proceedings of the IEEE* 8/105, S. 1476–1510, 2017.
- [Ca16] Cahn, A. et al.: An Empirical Study of Web Cookies. In (Bourdeau, J. et al. Hrsg.): *Proc. of the 25th Int. Conf. on World Wide Web - WWW '16*, Geneva, Switzerland, S. 891–901, 2016.
- [Ca21] Cassel, D. et al.: OmniCrawl. Comprehensive Measurement of Web Tracking with Real Desktop and Mobile Browsers. *Proceedings on Privacy Enhancing Technologies* 2022, S. 227–252, 2021.
- [Da19] Dabrowski, A. et al.: Measuring Cookies and Web Privacy in a Post-GDPR World. In (Choffnes, D.; Barcellos, M. Hrsg.): *Proc. of the 20th Int. Conf. Passive and Active Measurement - PAM'19*. Springer, Cham, S. 258–270, 2019.

- [Do11] Dobias, J.: Privacy Effects of Web Bugs Amplified by Web 2.0. In (Fischer-Hübner, S. et al. Hrsg.): Privacy and Identity Management for Life. Springer, Berlin, Heidelberg, S. 244–257, 2011.
- [EDo. J.] EDPS: EDPS Inspection Software. https://www.edps.europa.eu/edps-inspection-software_en, Stand: 16.06.2025.
- [En15] Englehardt, S.; Eubank, C.; Zimmerman, P.; Reisman, D.; Narayanan, A.: OpenWPM. An automated platform for web privacy measurement. https://senglehardt.com/papers/openwpm_03-2015.pdf, Stand: 17.09.2024.
- [EN16] Englehardt, S.; Narayanan, A.: Online Tracking. A 1-million-site Measurement and Analysis. In (Weippl, E. et al. Hrsg.): Proc. of the 2016 ACM SIGSAC Conf. on Computer and Communications Security - CCS'16, New York, USA, S. 1388–1401, 2016.
- [FNR22] Fielding, R.; Nottingham, M.; Reschke, J.: HTTP/1.1. <https://doi.org/10.17487/RFC9112>, Stand: 15.06.2025.
- [Gö22] Götze, M. et al.: Measuring Web Cookies in Governmental Websites. In (Association for Computing Machinery Hrsg.): 14th ACM Web Science Conf. 2022 - WebSci '22. ACM, New York, USA, S. 44–54, 2022.
- [IC12] ICC: Cookie guide. <https://www.barclayscorporate.com/content/dam/barclayscorporate-com/documents/general-information/icc-uk-cookie-guide.pdf>, Stand: 15.06.2025.
- [KD12] Kenneally, E.; Dittrich, D.: The Menlo Report. Ethical Principles Guiding Information and Communication Technology Research. SSRN Electronic Journal, 2012.
- [Ke24] Kelber, U.: Digital, frei und gleich - Um was es geht. <https://www.bfdi.bund.de/DE/DerBfDI/Inhalte/Parlamentsbrief/Abschied-Kelber.html?nn=251928>, Stand: 22.07.2024.
- [LGN18] Libert, T.; Graves, L.; Nielsen, R. K.: Changes in third-party content on European news websites after GDPR. Reuters Institute for the Study of Journalism, 2018.
- [Li15] Libert, T.: Exposing the Hidden Web. An Analysis of Third-Party HTTP Requests on 1 Million Websites. <https://arxiv.org/abs/1511.00619>, Stand: 15.06.2025.
- [PA16] Partridge, C.; Allman, M.: Ethical considerations in network measurement papers. Communications of the ACM 10/59, S. 58–64, 2016.
- [Pu15] Pugliese, G.: Web tracking. Overview and applicability in digital investigations. it - Information Technology 6/57, S. 366–375, 2015.

- [RKW12] Roesner, F.; Kohno, T.; Wetherall, D.: Detecting and defending against third-party tracking on the web. In (USENIX Association Hrsg.): NSDI'12: Proc. of the 9th USENIX conf. on Networked Systems Design and Implementation. USENIX Association, USA, S. 12–26, 2012.
- [RL18] Ruohonen, J.; Leppänen, V.: Invisible Pixels Are Dead, Long Live Invisible Pixels! In (Lie, D.; Mannan, M.; Johnson, A. Hrsg.): Proc. of the 2018 Workshop on Privacy in the Electronic Society. ACM, New York, USA, S. 28–32, 2018.
- [Sa17] Sanchez-Rola, I. et al.: The web is watching you. A comprehensive review of web-tracking techniques and countermeasures. *Logic Journal of IGPL* 1/25, S. 18–29, 2017.
- [Sa19] Sanchez-Rola, I. et al.: Can I Opt Out Yet? GDPR and the Global Illusion of Cookie Control. In (Galbraith, S. et al. Hrsg.): Proc. of the 2019 ACM Asia Conf. on Computer and Communications Security - Asia CCS '19. ACM, New York, USA, S. 340–351, 2019.
- [Sa22] Samarasinghe, N. et al.: Et tu, Brute? Privacy Analysis of Government Websites and Mobile Apps. In (Laforest, F. et al. Hrsg.): Proc. of the ACM Web Conf. 2022 - WWW '22. ACM, New York, USA, S. 564–575, 2022.
- [SHC23] Sim, K.; Heo, H.; Cho, H.: Tracking the Web Tracking. Methods, Countermeasures, and Future Directions. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2964886/v1>.
- [Sm99] Smith, R. M.: The Web Bug FAQ. https://w2.eff.org/Privacy/Marketing/web_bug.html, Stand: 13.09.2024.
- [Su23] Su, Z. et al.: Privacy Lost in Online Education. Analysis of Web Tracking Evolution. In (Yang, X. et al. Hrsg.): *Advanced Data Mining and Applications*. Springer, Cham, S. 440–455, 2023.
- [Tr19] Trevisan, M. et al.: 4 Years of EU Cookie Law. Results and Lessons Learned. *Proceedings on Privacy Enhancing Technologies* 2/2019, S. 126–145, 2019.
- [Ur20] Urban, T. et al.: Beyond the Front Page. Measuring Third Party Dynamics in the Field. In (Huang, Y. et al. Hrsg.): Proc. of The Web Conf. 2020 - WWW '20. ACM, New York, USA, S. 1275–1286, 2020.
- [WH24] WHATWG: HTML. Living Standard. <https://html.spec.whatwg.org/>, Stand: 15.06.2025.

Anhang

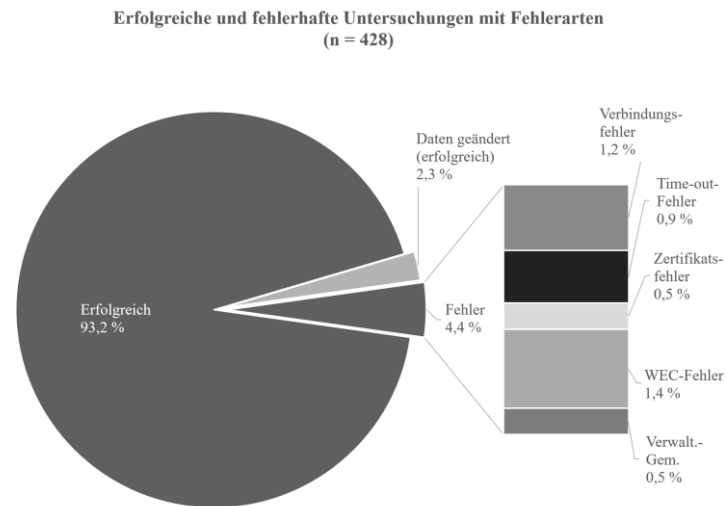


Abb. A.1: Erfolgreiche und fehlerhafte Untersuchungen mit Fehlerarten

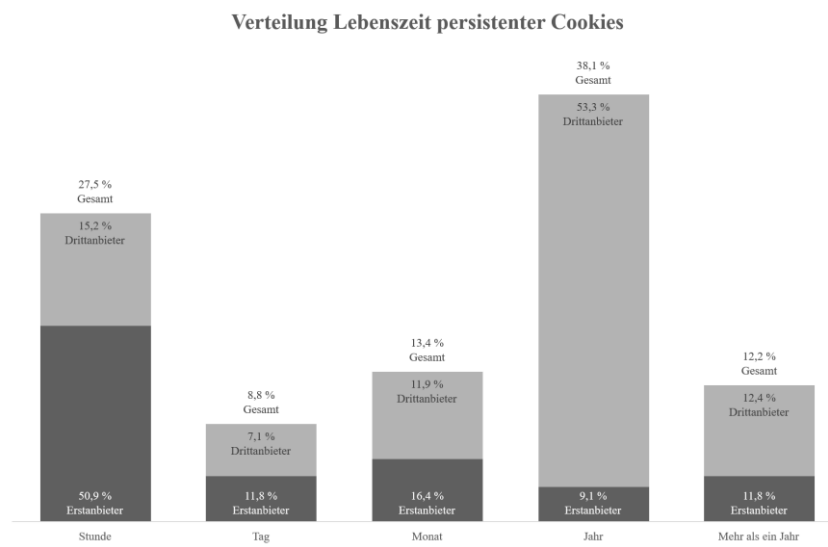


Abb. A.2: Verteilung Lebenszeit persistenter Cookies

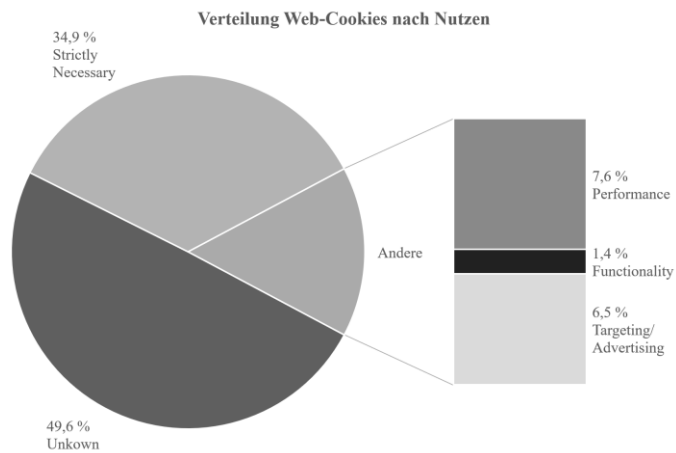


Abb. A.3: Kategorisierung nach dem Zweck von Web-Cookies

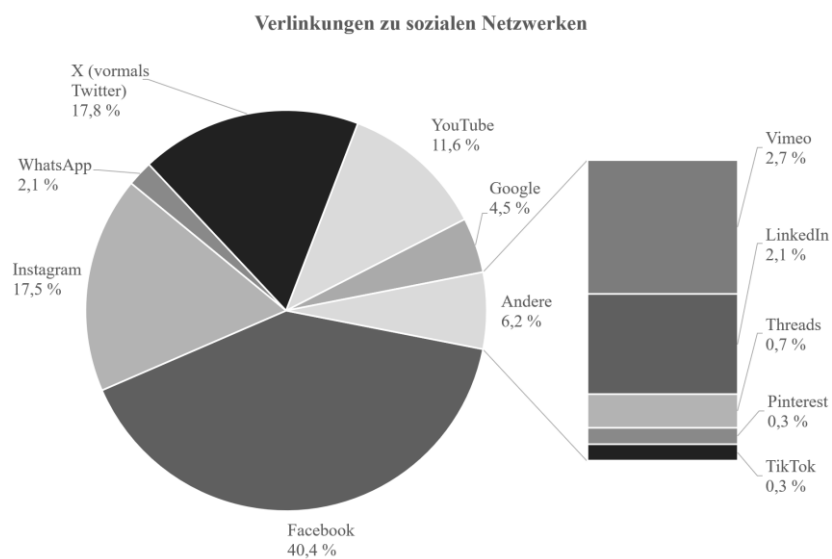


Abb. A.4: Verlinkungen zu sozialen Netzwerken

Digitale Transformation der Kommunalverwaltungen

Herausforderungen und Handlungsempfehlungen für die Umsetzung des OZG

Volker Frehe , Lars Sender, Jörg Laufkötter¹

Abstract: Das vorliegende Paper untersucht die Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes (OZG) in deutschen Kommunalverwaltungen. Auf Grundlage einer Literaturanalyse, empirischer Erhebungen mittels Umfragen sowie Experteninterviews werden zentrale Herausforderungen identifiziert. Dazu zählen eine geringe politische Priorisierung, komplexe rechtliche Rahmenbedingungen, unklare Rollenverteilungen, heterogene IT-Infrastrukturen sowie begrenzte personelle und finanzielle Ressourcen. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen werden gezielte Handlungsempfehlungen abgeleitet. Diese umfassen die Stärkung fachlicher Kompetenzen und Ressourcen, die Anpassung rechtlicher Vorgaben, den Ausbau interkommunaler Kooperationen und Zentralisierungsansätze sowie die Förderung eines kulturellen Wandels hin zu einer digitalisierten Verwaltung. Die Studie unterstreicht die Notwendigkeit einer engen Zusammenarbeit zwischen Kommunen, Ländern und dem Bund sowie die Bedeutung klar definierter rechtlicher Grundlagen und administrativer Fachkompetenz für eine erfolgreiche Umsetzung des OZG.

Keywords: Onlinezugangsgesetz, OZG, Digitale Verwaltung, Kommunalverwaltungen

1 Motivation

Die Digitalisierung des öffentlichen Sektors ist ein zentraler Bestandteil der modernen Verwaltungsreform und Grundlage für die Entwicklung von smarten Städten (Smart Cities). Die Einführung des Onlinezugangsgesetzes (OZG) im Jahr 2017 sollte die Digitalisierung der Verwaltungsprozesse auf allen Ebenen vorantreiben. Jedoch zeigt sich, dass viele Kommunen trotz der rechtlichen Verpflichtung und der Unterstützung durch Fördermittel, Schwierigkeiten haben, das OZG vollständig umzusetzen [ST21, S.45 f.].

Insgesamt konnten bis Ende 2022 4 % der Anforderungen des OZG umgesetzt werden. Weitere 14% werden als online verfügbar gewertet [Bu23]. Die Umsetzung wurde vom Bund mit 3,5 Mrd. Euro finanziert, wovon mehr als die Hälfte ungenutzt blieben [Bu23,

¹ Hochschule des Bundes für öffentliche Verwaltung
Fachbereich Finanzen, Studiengang Verwaltungsinformatik
Gescherweg 100, 48161 Münster
volker.frehe@vit-bund.de, <https://orcid.org/0000-0001-9139-0793>
lars.sender@gmail.com
joerg.laufkoetter@vit-bund.de

S.12]. Daraus lässt sich schließen, dass es weitere Herausforderungen, die einer erfolgreichen Umsetzung im Wege stehen, zu bewältigen gilt.

In dieser Arbeit wird die Umsetzung des OZG in kommunalen Verwaltungen analysiert und die verschiedenen strukturellen und organisatorischen Herausforderungen identifiziert, um Maßnahmen zu entwickeln, diese Hindernisse erfolgreicher zu überwinden und die Digitalisierung der Verwaltung voranzutreiben. Eine Umfrage sowie Experteninterviews geben Einblick in die Perspektiven maßgeblich beteiligter Personen.

Im folgenden Abschnitt wird zunächst der aktuelle Stand des OZG erläutert, danach wird auf das methodische Vorgehen eingegangen. Abschnitt 4 stellt die Ergebnisse der Literaturanalyse, der Umfrage und der Experteninterviews als Herausforderungen der OZG-Umsetzung dar. Daraufhin werden in Abschnitt 5 Handlungsempfehlungen eruiert, bevor das Paper mit einem Fazit schließt.

2 Aktueller Stand des Onlinezugangsgesetzes (OZG)

Das Gesetz zur Verbesserung des Onlinezugangs zu Verwaltungsleistungen (Onlinezugangsgesetz – OZG) wurde 2017 verabschiedet und verfolgt das Ziel, die Verwaltungsleistungen von Bund, Ländern und Kommunen bis Ende 2022 auch elektronisch über Verwaltungsportale anzubieten. Hierdurch soll die öffentliche Verwaltung digitalisiert werden und ein einfacher Zugang zu Verwaltungsleistungen ermöglicht werden. Es bildet den rechtlichen Rahmen für die umfassende Digitalisierung der Verwaltungsleistungen und ist ein zentraler Bestandteil der E-Government-Strategie.

Die Umsetzung des OZG folgt dem Prinzip der Arbeitsteilung, wobei die Gesamtkoordination beim BMI liegt. Das BMI richtete dafür zwei Digitalisierungsprogramme ein: Bund und Föderal [Bu23, S.10]. Während das BMI für die operative Umsetzung verantwortlich ist, übernimmt der IT-Planungsrat die übergeordnete Koordination und strategische Steuerung, indem er die Zusammenarbeit von Bund und Ländern koordiniert eine gemeinsame Strategie verfolgt und das Digitalisierungsbudget verwaltet [BMI18, S.5, Bu22, S.28 f.]. Zudem hat der IT-Planungsrat im Jahr 2020 die Föderale IT-Kooperation (FITKO), um die vom Rat beschlossenen Projekte zu steuern [Lü21, S.109].

Im Juni 2018 beschlossen Bund und Länder die über 6.000 Verwaltungsleistungen (auf Basis des Leistungskatalogs der öffentlichen Verwaltung (LeiKa)) zu sogenannten OZG-Leistungsbündeln zusammenzufassen [Bu23, S.10 f.]. Die 575 Leistungsbündel wurden in verschiedene Kategorien (Typen) unterteilt. Von diesen Leistungsbündeln fielen 115 Leistungen in den Zuständigkeitsbereich des Bundes (Typ 1), bei 370 Leistungen liegt die Regelungskompetenz beim Bund und die Vollzugskompetenz bei den Ländern oder Kommunen (Typ 2 und 3) und 90 Leistungen werden ausschließlich von den Ländern oder Kommunen geregelt und/oder vollzogen (Typ 4 und 5) [BNS23, S.237].

Zur Bewertung der Online-Verfügbarkeit von Verwaltungsleistungen wurde ein Reifegradmodell mit den Stufen 0 bis 4 festgelegt. Mit Erreichen des Reifegrades 3 ist die Umsetzung einer OZG-konformen Verwaltungsdienstleistung erreicht und Nutzer können den gesamten Verwaltungsprozess digital abwickeln [Bu23, S.11].

Zusätzlich wurden der Bund und Länder beauftragt, ein Verwaltungsportal zu entwickeln, über welches sollen die jeweiligen Verwaltungsleistungen bereitgestellt werden (§ 1 Abs. 1 OZG (idF. v. 2017)). Die einzelnen Länderportale mit sollen mit dem Bundesportal zu einem Portalverbund verknüpft werden (§ 1 Abs. 2 OZG (idF. v. 2017)), so dass sämtliche Verwaltungsleistungen aufgefunden werden können [IT24a].

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Analyse des Umsetzungskatalogs [BMI24a] der OZG-Informationsplattform [BMI24b] durchgeführt, da der Bundesrechnungshof die Darstellung des BMI zum Fortschritt des OZG im OZG-Dashboard als beschönigend und unrealistisch bemängelt [Bu23, S.17]. Mit Stand Juli 2024 wurden insgesamt 10.320 Verwaltungsleistungen in 580 OZG-Leistungsbündel verzeichnet, wovon nur 15 vollständig OZG-konform (mind. Reifegrad 3) umgesetzt wurden [BMI24a].

Die Auswertung des Umsetzungskatalogs zeigt, dass sich Deutschland noch am Anfang der OZG-Umsetzung, besonders auf kommunaler Ebene, befindet. Zudem blieben mehr als die Hälfte der zur Verfügung gestellten finanziellen Mittel bisher ungenutzt [Bu23, S.12]. Daraus lässt sich schließen, dass es neben den finanziellen Ressourcen weitere Herausforderungen, die einer erfolgreichen Umsetzung im Wege stehen, zu bewältigen gibt.

3 Methodisches Vorgehen

Diese Arbeit basiert auf einem Mixed-Method-Ansatz [Cr09], indem eine qualitative Literaturanalyse durchgeführt und zusätzlich ein Vertiefungsdesign eingebettet wird [Ku14, S.78–81]. In dem Vertiefungsdesign werden quantitative Daten mittels einer Umfrage [OS23, S.109] und qualitative Daten in Form von Experteninterviews erhoben.

Im Rahmen der Umfrage wurden Fragen zu den Bereichen digitale Kompetenzen, getroffene Maßnahmen und zum OZG 2.0 gestellt. Teilweise wurden allgemeine Fragen zu den Herausforderungen des OZG aus einer Studie der Bearing Point GmbH [Be19] übernommen. Seit Durchführung der Studie sind fünf Jahre vergangen, so dass eine Längsschnittanalyse ermöglicht wird. Zur Bewertung wurde meist eine Likert-Skala von eins bis sechs eingesetzt, um den „Hang zur Mitte“ [OS23, S.34] zu verhindern. Ein Vorteil der Mischung quantitativer und qualitativer Fragen ist, dass aus den offenen Antworten wertvolle Zusatzinformationen gewonnen werden können [OS23, S.25].

Auf Basis der Grundgesamtheit von 10.900 Kommunen [St24] wurden Eingrenzungen bei der Stichprobenauswahl auf Basis des geschichteten Urnenmodell gemacht [Ku14, S.84–86]. Als Datengrundlage diente das Gemeindeverzeichnis des Statistischen Bundesamtes

mit dem Gebietsstand vom 30.06.2024 (2. Quartal). Aus diesem wurden für jedes Bundesland jeweils eine Kommune pro Größenklasse² per Zufall ausgewählt³.

Die Kommunen wurden per E-Mail zur freiwilligen Teilnahme aufgefordert. Die Erfassung der Daten erfolgte über Microsoft 365 Forms. Die Umfrage richtet sich speziell an Mitarbeiter von Behörden, wo Office Produkte täglich Anwendung finden. Es ist daher davon auszugehen, dass die Befragten mit der Benutzeroberfläche vertraut sind und dadurch eine erhöhte Bereitschaft zur Teilnahme besteht. Die Befragung der Teilnehmer erfolgte vom 22. Juli bis zum 18. August 2024. Die Ergebnisse der Umfrage sind unmittelbar in die Gestaltung des Experteninterviews eingeflossen [Ku14, S.78–81].

Die Teilnehmer der Umfrage konnten sich freiwillig für ein Experteninterview melden. Insgesamt haben sich fünf Experten gemeldet. Die Experteninterviews wurden wegen der benötigten Flexibilität [He11, S.177 f.] als Online-Videokonferenz mit Jitsi Meet durchgeführt. Die Interviews wurden anonymisiert und gemäß der inhaltlich-semantic Transkription nach Dresing & Pehl [DP18, S.20–22] transkribiert. Um sich vorzubereiten wurden die Themen im Voraus zur Verfügung gestellt.

Der Interview-Leitfaden wurde nach dem SPSS-Prinzip (Sammeln, Prüfen, Sortieren, Subsumieren) entwickelt, um die Offenheit des Interviews zu gewährleisten und gleichzeitig die relevanten Themen abzudecken [He11, S.182–185].

4 Herausforderungen der OZG-Umsetzung

4.1 Ergebnisse der Literaturanalyse

Im Folgenden wird auf verschiedene Aspekte eingegangen, die im Rahmen der Literaturrecherche als Herausforderungen bzgl. der OZG-Umsetzung, vor allem im kommunalen Fokus, identifiziert wurden.

- **Politische und rechtliche Hindernisse**

Die **Rolle der Kommunen** im OZG bleibt unklar. Obwohl Kommunen oft die erste Anlaufstelle für Bürger sind, werden sie in der Gesetzesbegründung nur ohne direkte Verpflichtung erwähnt [Be21]; eine freiwillige Teilnahme wird erwünscht [Bu17, S.138 f.]. Eine Verpflichtung wäre nach Artikel 84 Absatz 1 Satz 7 GG nicht zulässig. Daher fehlt eine klare gesetzliche Regelung für die Kommunen.

Der **Föderalismus** in Deutschland stellt eine komplexe Herausforderung dar. Artikel 91c GG ermöglicht seit 2009 die Zusammenarbeit von Bund und Ländern bei IT-Systemen, und die 2017 erfolgte Erweiterung durch Absatz 5 regelt den Zugang zu

² Basis ist die Einteilung der Kommunalen Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement [KgSt24]

³ Eine Ausnahme bildet hierbei die Stadt Wolfsburg, die aufgrund eines direkten Kontakts und der Ermöglichung eines Expertengesprächs in Niedersachsen gezielt ausgewählt wurde.

Verwaltungsleistungen von Bund und Ländern. Das OZG und die Erweiterung des Art. 91c GG geben dem Bund mehr Einfluss auf die Verwaltungsdigitalisierung, auch im Landesrecht [Zä23, S.54, 155 f.]. Die Vielzahl der Akteure auf den föderalen Ebenen erschwert die Koordination und Abstimmung [ST21, S.41 f.], was zu redundanten Entwicklungen von IT-Lösungen führt [Be21].

Nicht digitaltaugliche Gesetze sind ein erhebliches Hindernis für die Verwaltungsdigitalisierung [Kü21, S.28 f.]. Der Normenkontrollrat (NKR) prüft Gesetzesentwürfe auf bürokratische Belastungen, jedoch wird der E-Government Prüflitfaden nur sporadisch genutzt, was auf eine zögerliche Haltung der Bundesregierung hindeutet [Kü21, S.28 f.].

Datenschutz stellt eine weitere zentrale Herausforderung dar, um die Privatsphäre der Bürger zu wahren und den Anforderungen der Datenschutz-Grundverordnung (DSGVO) zu entsprechen. Trotz der Bedeutung des Datenschutzes zeigt eine Studie, dass nur 34% der befragten Kommunen IT-Sicherheit und Datenschutz als wichtig erachten [In20, S.6]. Die komplexen rechtlichen Rahmenbedingungen stellen besonders kleinere Kommunen vor Herausforderungen.

Das Onlinezugangsgesetz (OZG) hat zwar E-Government-Themen stärker in den Fokus gerückt [Ha21, S.1050 f., Kü21, S.18], jedoch **mangelt es an einem konsequenten politischen Willen** zur Umsetzung. Die kurzfristige Orientierung der Politik und die mangelnde Koordination zwischen Bund, Ländern und Kommunen führen zu Ineffizienzen [Kü21, S.20, 42, Pi21, S.65 f.]. Kommunen sehen die OZG-Umsetzung oft als zusätzliche Belastung und nicht als Priorität [Ha21, S.1047, JG22, S.218–220].

- **Technische/infrastrukturelle Hindernisse**

Die **heterogene IT-Landschaft** der öffentlichen Verwaltung resultiert aus der dezentralen Zuständigkeit, die sich aus dem Föderalismus, dem Ressortprinzip und der kommunalen Selbstverwaltung ergibt [HTB18, S.3, 29, 46, 50 f.]. Nur 14% der Kommunen verfügen über eine Digitalisierungsstrategie, 45% arbeiten an einer solchen [LN20, S.12].

Die Komplexität der kommunalen IT-Infrastrukturen und die steigenden Anforderungen an E-Government-Services machen die Zusammenarbeit mit und damit auch die **Abhängigkeit von professionellen IT-Dienstleistern** für viele Kommunen unabdingbar [Bo21, S.189]. Kleinere Kommunen verfügen oft nicht über die notwendigen Ressourcen und das Know-how für komplexe IT-Projekte und haben Schwierigkeiten, qualifizierte IT-Fachkräfte zu gewinnen [SKK, S.9–11]. Allerdings kann eine starke Abhängigkeit von einzelnen IT-Dienstleistern zu einem Verlust an Flexibilität und Verhandlungsmacht führen [KNW20, S.638 f.].

Trotz vorhandener Lösungen scheint es **Nachnutzungshemmnisse** zu geben. So sind (Stand 02.05.2024) von 242 geplanten Services 196 zur Nachnutzung verfügbar, allerdings werden nur 17 davon in mind. 8 Ländern auch nachgenutzt [IT24b, S.4]. EfA-

Lösungen⁴ müssen durch "EfA-Parametrisierung" an spezifische Verwaltungsabläufe von Ländern und Kommunen anpassbar sein. Obwohl dieses Konzept bereits im Dezember 2020 beschlossen wurde, wird es erst ab dem 01.01.2026 verbindlich [IT24c]. Es fehlen grundlegende technische Bausteine für die nahtlose Integration und Nutzung der EfA-Lösungen und es bestehen noch unbeantwortete datenschutzrechtliche Fragen, unsichere zeitliche Planungen, unklare Kostenaufteilung für Pflege, Weiterentwicklung und Betrieb sowie unklare technische Konzeptionen von Schnittstellen [Bu23, S.28].

- **Organisatorische und kulturelle Aspekte**

Das deutsche Verwaltungssystem ist vom **Ressortprinzip** geprägt. Dies kann zwar zu einer effizienten Aufgabenbearbeitung in einzelnen Bereichen führen, behindert jedoch die übergreifende Zusammenarbeit und den Blick auf ganzheitliche Lösungen [Vo21, S.207 f.]. Oft werden bestehende Strukturen lediglich digitalisiert, ohne die Prozesse zu analysieren und zu optimieren [Ha21, S.1047, ST21, S.8]. Die starren Strukturen und der Fokus auf Fachverfahren stehen im Widerspruch zu agilen Arbeitsweisen, die für eine erfolgreiche Transformation unerlässlich sind [ST21, S.21, 199].

Die Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung erfordert neue **Kompetenzen** von Mitarbeitern, insbesondere in den Bereichen Organisationsgestaltung, Projektmanagement, Datenschutzrecht und IT-Kenntnissen; Gleichzeitig bleiben Fach- und Führungskompetenzen wichtig [Be16, S.25, Ha21, S.432, Ma22, S.182].

Die **Digitalisierung in Kommunen hat oft eine untergeordnete Rolle** und sollte daher der obersten Führungsebene zugeordnet werden. Im öffentlichen Sektor sind die Befugnisse des CIOs oft durch rechtliche und organisatorische Grenzen eingeschränkt, was die Umsetzung von Digitalisierungsprojekten erschwert [HTB18, S.118 f.].

- **Mangelnde Ressourcen und Finanzierung**

Der **Fachkräftemangel im IT-Sektor des öffentlichen Dienstes** stellt eine erhebliche Herausforderung dar. Die öffentliche Verwaltung wird oft als starr und wenig innovativ wahrgenommen [Ne19, S.13–17]. Führungskräfte sehen mangelnde Karrierewege als Hauptgrund für das nachlassende Interesse am öffentlichen Dienst [SKK, S.5].

Die **Finanzierung** der OZG-Umsetzung ist problematisch. Die Trennung von Auftragshoheit und Finanzierungshoheit erschwert eine effektive Mittelverwaltung [Bu22, S.12–15]. Das Digitalisierungsbudget der FITKO konnte bis Ende 2022 nicht vollständig ausgeschöpft werden, unter anderem aufgrund langer Entscheidungsprozesse beim IT-Planungsrat. Viele Kommunen sind sich der Fördermöglichkeiten des Bundes nicht bewusst oder scheitern an der Bürokratie der Antragstellung [DI22, S.13, 20].

⁴ EfA steht für „Einer für Alle“ und soll verdeutlichen, dass eine einmal entwickelte Lösung von allen im Rahmen des OZG genutzt werden kann/soll.

4.2 Ergebnisse der Umfrage

Im Rahmen der Umfrage haben 29 Personen aus verschiedenen Kommunen aller Bundesländer (bis auf Berlin, Hamburg und Thüringen) teilgenommen.

Obwohl die Kommunen angeben, sich nur mäßig mit der OZG-Umsetzung zu beschäftigen und der aktuelle Stand als unbefriedigend wahrgenommen wird, schätzen sie die Bereitschaft der Bürger zur Nutzung von Onlinediensten als eher hoch ein. Im direkten Vergleich mit der BearingPoint Studie [Be19] stellt die Anpassung der Prozesse und Organisation auch weiterhin die größte Herausforderung dar (vgl. Abb. 1).

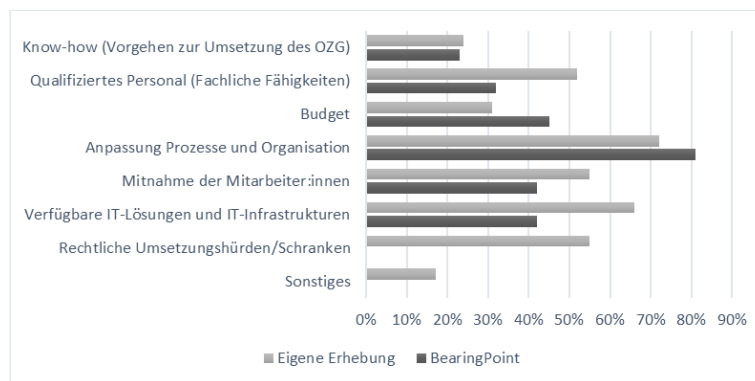


Abb. 1: Die größten Herausforderungen (Frage 7)

Das **Fehlen von verfügbaren IT-Lösungen/-Infrastrukturen**, die **Mitnahme der Mitarbeiter** sowie **qualifiziertes Personal** stellen aktuell eine größere Hürde dar als 2019. Dementgegen sehen die befragten Kommunen hinsichtlich der zur Verfügung stehenden Haushaltsmittel weniger Probleme. Die rechtlichen Umsetzungshürden verzeichnen mehr als die Hälfte der Kommunen als relevant.

Dies spiegelt sich auch hinsichtlich der Unterstützung und Beratung der übergeordneten Behörden wider. Die **Zusammenarbeit** wird überwiegend als **schwierig** angesehen. Es fehlt an Informationen und einer ausreichenden Beteiligung. Besonders auffällig ist, dass die Mehrheit der Kommunen sich mit ihren **IT-Dienstleistern** nicht gut aufgestellt fühlt und mit deren Unterstützung und Leistungserbringung **unzufrieden** ist. Das erklärt auch die Angabe, dass sich 69% der Kommunen „Software as a Service“-Angebote seitens des Bundes wünschen.

Auch wenn viele der Kommunen das Thema **"Mitarbeiter"** als Herausforderung betrachten, gibt es dennoch positive Anzeichen. So schätzen 14 Kommunen die **Veränderungsbereitschaft** ihrer Mitarbeiter als positiv ein. Allerdings zeigt sich im Durchschnitt ein leichter negativer Trend. Ein ähnliches Bild zeichnet sich bei den Führungskräften ab. Ihre **Bereitschaft, den digitalen Wandel aktiv voranzutreiben**, wird als optimierbar angesehen. Dies macht deutlich, dass es zwar Ansätze für Fortschritt

gibt, jedoch auch noch Raum für Verbesserungen besteht. Maßgeblich sind hierbei, laut der Umfrage, interne Qualifizierungsmaßnahmen, um die durchschnittliche E-Kompetenz der Kollegen weiter zu steigern. Um qualifiziertes Personal zu halten und zu gewinnen, setzen die Kommunen vorrangig auf flexible Arbeitszeiten und -modelle. Ein weiterer wichtiger Anreiz ist das Schaffen einer modernen Arbeitsumgebung.

Unter dem Aspekt der Digitalen Souveränität in Bezug auf das OZG wurden verschiedene Bereiche von den Teilnehmenden thematisiert. Es besteht eine hohe **Abhängigkeit von externen Fachverfahrensherstellern** und Beratungsunternehmen. Die Nutzung von Cloud-Lösungen birgt die Gefahr, die Datenhoheit zu verlieren. Die finanzielle Unterstützung reicht oft nur für oberflächliche Digitalisierungsprojekte aus und es gibt Unklarheiten über Vorgehensweisen, fehlende Priorität und mangelndes Know-how. Die **Gesetzgebung lässt Fragen** zur digitalen Ausgestaltung **offen** und die oberen Behörden nehmen ihre Rolle zur Klärung dieser Fragen nicht wahr. Für die Zukunft wünschen sich die Kommunen eine Verbesserung in der Zusammenarbeit zwischen den Ebenen, klare Umsetzungsrichtlinien und eine finanzielle Förderung.

4.3 Ergebnisse der Experteninterviews

Für die Interviews konnten fünf Experten gewonnen werden, welche entweder Verwaltungsmitarbeiter oder Bereichsleiter aus der zuständigen Fachabteilung sind.

In fast allen Interviews wird die eigene Leistung im Bereich der Digitalisierung als gut bis sehr gut bewertet. Die Kommunen sehen sich optimal aufgestellt und betonen die Fortschritte, die bereits erzielt werden konnten. So werden konkrete Beispiele für erfolgreiche Digitalisierungsprojekte genannt, wie die EfA-Dienste für das Ausländerwesen (s. Interview 1, 3, 5) oder der digitale Bauantrag (s. Interview 2, 3, 4, 5). Neben der direkten Umsetzung von OZG-Leistungen wird die Wichtigkeit der internen **Prozessdigitalisierung** hervorgehoben.

Die Experten nennen verschiedene Herausforderungen bei der Umsetzung des OZG. Hervorgehoben wird die Problematik der **fehlenden Standardisierung und Interoperabilität** zwischen den verschiedenen IT-Systemen und EfA-Lösungen. Die Experten 1, 3 und 4 betonen die Notwendigkeit **einheitlicher Standards für Datenformate, Schnittstellen und Prozesse**. Die **heterogene IT-Landschaft** in den Kommunen und die uneinheitlichen Vorgaben von Bund und Ländern werden als Hauptgründe für die mangelnde Standardisierung genannt. Auch wenn eine Standardisierung befürwortet wird, weist Experte 3 auf die Gefahr hin, dass Kommunen die Standardisierung ablehnen könnten, weil sie ihre **kommunale Selbstverwaltung bewahren** wollen.

Die Kommunen setzen auf **unterschiedliche Fachverfahren**. So gestaltet sich die Anbindung an zentrale Plattformen oder EfA-Lösungen schwierig. Die **Zusammenarbeit mit IT-Dienstleistern** wird durch Monopole und Intransparenz bei der Preisgestaltung erschwert. Experte 5 kritisiert die **Abhängigkeit** der Kommunen von wenigen großen

Anbietern und die hohen Kosten für die Implementierung und den Betrieb von IT-Systemen. Auch die **Höhe der Betriebskosten** ist nicht abschließend geregelt und kann von den Betreibern nicht verbindlich beziffert werden.

Die **Gewinnung und Bindung von qualifiziertem Personal** im Bereich der Digitalisierung war für die Experten bisher weniger ein Problem. Sie sind sich aber bewusst, dass dies **zukünftig eine weitere Herausforderung** darstellen könnte. Ein Mangel wird vorrangig in den Fachbereichen gesehen.

Die Zusammenarbeit der Länder wird meist positiv bewertet. Interview 1 und 4 heben die Bedeutung der Landesplattformen und Basiskomponenten hervor. Trotzdem gibt es Kritik an der **Kommunikation und der Koordination zwischen den verschiedenen Ebenen**.

4.4 Zusammenfassung der Herausforderungen

Durch die Literaturanalyse, der Umfragen und der Interviews konnten folgende konsolidierte Herausforderungen bzgl. der OZG-Umsetzung eruiert werden:

Herausforderung	L	U	I
Geringe politische Priorität der Verwaltungsdigitalisierung	X	X	X
Komplexe Rechtsstrukturen und nicht digital-taugliche Gesetze	X	X	
Unklare Rolle der Kommunen	X	X	X
Heterogene IT-Landschaft, IT-Fachverfahren und Insellösungen	X	X	X
Verzögerte/Fehlende Standardisierung und Interoperabilität	X	X	X
Abhängigkeit von IT-Dienstleistern	X	X	X
Ressourcenmangel und Fachkräftemangel (vor allem in kleinen Kommunen und Fachbereichen)	X	X	X

Tab. 2: Konsolidierte Herausforderungen der OZG-Umsetzung⁵

Diese Daten zeigen deutlich, dass nahezu ein einheitliches Verständnis über die Herausforderungen der OZG-Umsetzung besteht.

5 Ergebnisinterpretation und Handlungsempfehlungen

Das Onlinezugangsgesetz (OZG) bietet eine Grundlage zur Verwaltungsdigitalisierung, doch die Umsetzung ist mit erheblichen Herausforderungen verbunden. Die Literaturanalyse, die Umfrage und die Experten-Interviews zeigen, dass es noch diverse Herausforderungen auf der kommunalen Ebene, gibt. Die Expertengespräche zeigen, dass es keine ganzheitliche Lösung gibt. Die Kommunen sind zu heterogen aufgestellt und

⁵ Die Abkürzungen L, U, I stehen als Indikator dafür, ob die Herausforderung in der Literatur, der Umfrage oder den Experten-Interviews identifiziert wurde.

fokussieren sich auf unterschiedliche Schwerpunkte. Zudem wollen sie in ihrem Recht auf kommunale Selbstverwaltung nicht eingeschränkt werden und eventuell unnötige Lösungen aufgedrängt bekommen. Es muss ein gemeinsamer Ansatz gefunden werden, der diese Diversität berücksichtigt und die Kommunen je nach Problemstellung unterstützt. Nichtsdestotrotz gibt es für Bund, Länder und Kommunen einige Bereiche, an denen sie gezielt arbeiten können.

So können auf Basis der Herausforderungen die folgenden Punkte als essenziell für eine erfolgreiche Umsetzung des OZG auf kommunaler Ebene angesehen werden und stellen somit die Handlungsempfehlungen dar:

1. Kompetenzen und Ressourcen in Kommunen:

Eine erfolgreiche Umsetzung technologischer Innovationen in Behörden setzt eine Überarbeitung des Rollenverständnisses der Verantwortlichen voraus. Um den digitalen Wandel zu gestalten, sind gezielte Investitionen in Aus- und Weiterbildung im Bereich digitaler Kompetenzen essenziell. Gleichzeitig müssen die finanzielle und personelle Ausstattung der Kommunen verbessert werden. Zudem ist es wichtig, den Kommunen mehr Flexibilität bei der Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes zu gewähren. Schließlich sollte digitale Fachkompetenz aufgebaut werden, um technische Anforderungen angemessen bewerten zu können.

2. Rechtliche Rahmenbedingungen anpassen:

Für eine erfolgreiche Digitalisierung der Verwaltung ist die Überarbeitung bestehender Gesetze sowie die konsequente Nutzung von Instrumenten wie dem E-Government-Prüfleitfaden notwendig. Die Empfehlungen des Nationalen Normenkontrollrats (NKR) sollten konsequent umgesetzt werden. Neue Gesetze müssen so gestaltet sein, dass sie von den Ländern praktisch umsetzbar sind. Zudem sind klare Fristen und eindeutige Umsetzungsbedingungen erforderlich. Datenschutz- und Sicherheitsstandards müssen durch entsprechende Strategien gewährleistet werden.

3. Kooperation und Zentralisierung ausbauen:

Eine bessere Abstimmung zwischen Bund, Ländern und Kommunen ist erforderlich, um die Digitalisierung effizient voranzutreiben. Weniger Komplexität und klare Rollenverteilungen tragen dazu bei, Prozesse zu vereinfachen. Der Ausbau zentraler IT-Verfahren auf Bundes- und Landesebene kann Eigenentwicklungen in den Kommunen vermeiden, wodurch Kosten gesenkt und die Interoperabilität verbessert werden. Zudem sollte die Möglichkeit zum Datenaustausch zwischen Behörden geschaffen werden. Die Nachnutzung durch EfA-Lösungen („Einer für Alle“) und deren Parametrisierung sollte weiter ausgebaut werden, um Synergieeffekte zu erzielen.

4. Wandel zur digitalen Verwaltungskultur:

Ein aktiver Kulturwandel in der Verwaltung ist notwendig, um den digitalen Transformationsprozess erfolgreich zu gestalten. Dazu gehört die Förderung eines

kooperativen Führungsstils sowie die Implementierung eines Chief Information Officer, der direkt an die Entscheidungsebene angebunden ist. Transparente Kommunikation mit den Mitarbeitenden schafft Akzeptanz für Veränderungen. Die Einbindung der Beschäftigten sowie der Ausbau einer offenen Fehlerkultur stärken die Innovationsfähigkeit der Organisation. Um dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken, sollten attraktive Arbeitsplätze geschaffen werden. Zudem sind eine konsequente Nutzerorientierung sowie die Einbindung neuer Technologien bei digitalen Diensten erforderlich. Schließlich müssen Prozesse optimiert werden, um die Digitaltauglichkeit von Fachverfahren sicherzustellen.

Eine erfolgreiche Umsetzung des OZG erfordert somit eine enge Zusammenarbeit von Kommunen, Ländern und dem Bund, zudem braucht es dafür klare rechtliche Grundlagen und entsprechende fachliche Kompetenzen und Ressourcen. Nicht zuletzt wird aber auch ein Umdenken in der Verwaltungskultur notwendig sein.

Wenn entsprechende OZG-Lösungen implementiert sind, kommt eine weitere Herausforderung auf die Kommunen zu. Die Lösungen sollten auch von den Bürgern genutzt werden, so dass hier eine Akzeptanz geschaffen werden muss. Der eGovernment MONITOR 2023 zeigt, dass nur 45% der Befragten Vertrauen in digitale Technologie haben [In23, S.15]. Herausforderungen für die **Akzeptanz digitaler Verwaltungsleistungen** umfassen mangelnde Bekanntheit und Nutzungskompetenz, eine digitale Kluft zwischen verschiedenen Bevölkerungsgruppen sowie unzureichende Nutzerfreundlichkeit bestehender Lösungen [In21, S.7–8, In23, S.13, 30]. Komplizierte Antragsverfahren führen zu Frustration und zusätzlichem Aufwand [Bü21, S.395 f.]. Um die Akzeptanz zu erhöhen, werden gezielte Informations- und Weiterbildungsangebote, Bürgerbeteiligung und die Beibehaltung des Multikanalprinzips empfohlen [BS, S.363]. Die Wahrung der digitalen Souveränität der Bürger und Transparenz im Verwaltungshandeln sind entscheidend für den Aufbau von Vertrauen [HTB18, S.120–122].

6 Fazit

Die unvollständige Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes (OZG) ist auf mehrere Faktoren zurückzuführen: Zum einen liegt eine geringe politische Priorität der Verwaltungsdigitalisierung vor, zum anderen bestehen komplexe Rechtsstrukturen und Gesetze, die nicht für die Digitalisierung geeignet sind. Hinzu kommt eine unklare Rolle der Kommunen, die durch eine heterogene IT-Landschaft, unterschiedliche IT-Fachverfahren und zahlreiche Insellösungen weiter erschwert wird. Verzögerte oder fehlende Standardisierung und Interoperabilität stellen ebenso ein Problem dar wie die Abhängigkeit von IT-Dienstleistern. Darüber hinaus herrscht ein Ressourcenmangel und insbesondere in kleinen Kommunen und Fachbereichen ein Fachkräftemangel.

Die Umfrage und die Experteninterviews bestätigen diese Herausforderungen und betonen die Bedeutung einer klaren Digitalisierungsstrategie, politischen Rückhalts und einer

stärkeren Nutzerorientierung. Eine Kultur des Wandels in der Verwaltung wird als entscheidend angesehen. Durch die in Abschnitt 5 genannten Handlungsempfehlungen kann diesen Herausforderungen begegnet werden. Diese umfassen eine enge Zusammenarbeit von Kommunen, Ländern und dem Bund, die Schaffung klarer rechtlicher Grundlagen und digital-tauglicher Gesetze, den Aufbau fachlicher Kompetenzen im Bereich der Digitalisierung sowie entsprechender Ressourcen, ein generelles Umdenken in der Kultur hin zu einer digitalen Verwaltungskultur und Methoden, um die Akzeptanz der OZG-Leistungen bei den Bürgern zu erhöhen.

Die vorliegende Studie basiert auf einem Mixed-Methods-Ansatz, der eine Umfrage, Experteninterviews und eine Literaturanalyse kombiniert. Es ist jedoch anzumerken, dass die Stichprobengröße der Umfrage unter dem angestrebten Umfang blieb und die Anzahl der Experteninterviews (n=5) relativ gering ausfiel. Diese Limitationen schränken die externe Validität und Generalisierbarkeit der Ergebnisse ein. Die durchgeführte Literaturanalyse erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit und reflektiert den zum Forschungszeitpunkt verfügbaren Wissensstand. Obwohl die methodische Triangulation zu einer Verbreiterung der Erkenntnisbasis beiträgt, bleiben die genannten methodischen Einschränkungen bestehen und sollten bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden. Zukünftige Forschungsvorhaben mit erweiterten Stichproben und einer umfassenderen Literaturanalyse könnten zur Erhöhung der Konstruktvalidität und Generalisierbarkeit der Ergebnisse beitragen.

Literaturverzeichnis

- [BNS23] Bartholomae, F.; Nam, C. W.; Steinhoff, P.: Kann Deutschland E-Government? In: Verwaltung & Management Bd. 29 (2023), Nr. 5, S. 235–239
- [Be19] Bearing Point GmbH: Digitale Verwaltung bis 2022: Große Verunsicherung in den Kommunen. <https://www.bearingpoint.com/de-de/publikationen-and-events/publikationen/umfrage-digitale-verwaltung-bis-2022/>. Stand: 05.07.2024
- [Be21] Berger, A.: Die Entfesselung von D’Artagnan: Zur arbeitsteiligen Digitalisierung der Verwaltung „einer für alle“. In: Seckelmann, M.; Brunzel, M. (Hrsg.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Berlin, Heidelberg : Springer, 2021, S. 75–93
- [BS] Berger, C.; Sander, C.-D.: Das Nutzerkonto Plus: Digitale Verwaltungspartizipation in der Smart City. In: Seckelmann, M.; Brunzel, M. (Hrsg.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Berlin, Heidelberg : Springer, 2021, S. 351–379
- [Be16] Becker, J et al.: eKompetenz - Studie im Auftrag der Arbeitsgruppe „E-Government-Kompetenz“ des IT-Planungsrat (Studie). Berlin, München, Münster, Siegen : IT-Planungsrat, 2016
- [BMI18] BMI: Bundesministerium des Innern und für Heimat: OZG-Umsetzungskonzept, 2018
- [BMI24a] BMI: Bundesministerium des Innern und für Heimat: OZG IP Umsetzungskatalog Export mit Leistungsobjekten.
- [BMI24b] BMI: Bundesministerium des Innern und für Heimat: OZG-Informationsplattform. <https://informationsplattform.ozg-umsetzung.de/iNG/app/intro>. Stand: 11.07.2024
- [Bo21] Bostelmann, L.: Die Bedeutung der Informations- und Cybersicherheit bei der Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes – Digitalisierung ja, aber (rechts)sicher! In: Seckelmann, M.; Brunzel, M. (Hrsg.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Berlin, Heidelberg : Springer Berlin Heidelberg, 2021, S. 165–197
- [Bu17] Bundestag: Entwurf eines Gesetzes zur Neuregelung des bundesstaatlichen Finanzausgleichssystems ab dem Jahr 2020 und zur Änderung haushaltsrechtlicher Vorschriften.
- [Bu22] Bundesrechnungshof: Abschließende Mitteilung an die Föderale IT-Kooperation über die Prüfung Aufgaben und Strukturen der FITKO. Bonn : Bundesgerichtshof, 2022
- [Bu23] Bundesrechnungshof: Bericht nach § 88 Absatz 2 BHO - Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes. Bonn : Bundesgerichtshof, 2023
- [Bü21] Bünzow, B.: Wie organisiert man Innovation und Transformation im Föderalismus? – Digitalisierungslabore und agile Methoden als neue Formen der Zusammenarbeit. In: Seckelmann, M.; Brunzel, M. (Hrsg.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Berlin, Heidelberg : Springer, 2021, S. 383–400
- [Cr09] Creswell, J. W.: Research design: qualitative, quantitative, and mixed methods approaches. 3. Los Angeles : SAGE Publ, 2009
- [DI22] Dieke, A. et al.: Kommunale Herausforderungen digital meistern (Repräsentative Kommunalstudie). Berlin : Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, 2022

- [DP18] Dresing, T.; Pehl, T.: Praxisbuch Interview, Transkription & Analyse: Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende. 8. Marburg, 2018
- [Ha21] Halsbenning, S.: Digitalisierung öffentlicher Dienstleistungen: Herausforderungen und Erfolgsfaktoren der OZG-Umsetzung in der Kommunalverwaltung. In: HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik Bd. 58 (2021), Nr. 5, S. 1038–1053
- [He11] Helfferich, C.: Die Qualität qualitativer Daten: Manual für die Durchführung qualitativer Interviews, Lehrbuch. 4. Wiesbaden : VS, 2011
- [HTB18] Heuermann, R.; Tomenendal, M.; Bressemer, C.: Digitalisierung in Bund, Ländern und Gemeinden. Berlin, Heidelberg : Springer, 2018
- [In20] Infora: Infora Case Study (2020) Die OZG-Umsetzung., 2020
- [In21] Initiative D21: eGovernment Monitor 2021. <https://initiated21.de/publikationen/egovernment-monitor/2021>. Stand: 10.05.2024
- [In23] Initiative D21: eGovernment Monitor 2023. <https://initiated21.de/publikationen/egovernment-monitor/2023>. Stand: 14.07.2024
- [IT24a] IT-Planungsrat: Die Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes (OZG). <https://www.it-planungsrat.de/projekte/ozg-umsetzung>. Stand: 30.07.2024
- [IT24b] IT-Planungsrat: Beschluss 2024/24 - Umsetzungsstand OZG. <https://www.it-planungsrat.de/beschluss/beschluss-2024-24>. Stand: 18.08.2024
- [IT24c] IT-Planungsrat: Beschluss 2024/37 - EfA-Parametrisierung. <https://www.it-planungsrat.de/beschluss/beschluss-2024-37>. Stand: 16.08.2024
- [JG22] Jaich, M.; Gross, M.: Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung: Die Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes in niederbayerischen Kommunen. In: dms – der moderne staat – Zeitschrift für Public Policy, Recht und Management Bd. 15 (2022), Nr. 1–2022, S. 208–231
- [KG24] KGSt: Größenklassen. <https://www.kgst.de/groessenklassen>. Stand: 09.07.2024
- [KNW20] Klenk, T.; Nullmeier, F.; Wewer, G.: Handbuch Digitalisierung in Staat und Verwaltung. Wiesbaden Heidelberg : Springer VS, 2020
- [Ku14] Kuckartz, U.: Mixed Methods: Methodologie, Forschungsdesigns und Analyseverfahren, Mixed Methods. Wiesbaden : Springer VS, 2014
- [Kü21] Kühn, H.: Recht als Gestaltungsinstrument einfacher, digitaler Verwaltungsleistungen – Bessere Rechtsetzung als Voraussetzung vollzugs- und digitaltauglicher Gesetze. In: Seckelmann, M.; Brunzel, M. (Hrsg.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Berlin, Heidelberg : Springer, 2021, S. 17–51
- [LN20] Lemmer, K.; Niehaves, B.: Digital vorangehen. Eine Studie zum Stand der Digitalisierung deutscher Kommunen. Berlin, Köln : Kompetenzzentrum Öffentliche IT, Fraunhofer-Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS, Kommunale Gemeinschaftsstelle für Verwaltungsmanagement (KGSt), 2020
- [Lü21] Lühr, H.: Von der Konferenz „Deutschland online“ zur föderativen IT-Kooperation – Innovation und Digital Leadership im föderalen Mehrebenensystem in Deutschland. In:

- Seckelmann, M. ; Brunzel, M. (Hrsg.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Berlin, Heidelberg : Springer, 2021, S. 95–116
- [Ma22] Markus, H.: Auf dem Weg zur digitalen Verwaltung: ein ganzheitliches Konzept für eine gelingende Digitalisierung in der öffentlichen Verwaltung, Edition innovative Verwaltung. Wiesbaden : Springer Gabler, 2022
- [Ne19] Next:Public: Nachwuchsbarometer Öffentlicher Dienst 2019. Berlin : Next:Public, 2019
- [OS23] Ortmanns, W.; Sonntag, R.: Umfragen erstellen und auswerten: kompakt und leicht verständlich für Studierende und junge Forschende. München : UVK Verlag, 2023
- [Pi21] Piesold, R.-R.: Kommunales E-Government: Grundlagen und Bausteine zur Digitalisierung von Verwaltungen, Lehrbuch. Berlin, Heidelberg : Springer Gabler, 2021
- [St21] Stember, J. et al.: Aktuelle Entwicklungen zum E-Government: neue Impulse und Orientierungen in der digitalen Transformation der öffentlichen Verwaltung, Edition Innovative Verwaltung. Wiesbaden, Heidelberg : Springer Gabler, 2021
- [St24] Statistisches Bundesamt: Alle politisch selbständigen Gemeinden mit ausgewählten Merkmalen am 30.06.2024 (2. Quartal 2024).
- [SKK] Stern, S.; Klier, J.; Kirchherr, J.: Die Besten, bitte: Wie der öffentliche Sektor als Arbeitgeber punkten kann : McKinsey, 2019
- [Vo21] Voss, Vivien C.: Die Implementation der Europäischen Dienstleistungsrichtlinie – lessons learned im Hinblick auf das Wirksamwerden der Single Digital Gateway-Verordnung und des Onlinezugangsgesetzes. In: Seckelmann, M. ; Brunzel, M. (Hrsg.): Handbuch Onlinezugangsgesetz. Berlin, Heidelberg : Springer, 2021, S. 199–225
- [Zä23] Zäper, M.: Die Verfassungsmäßigkeit des Onlinezugangsgesetzes, Studien zum öffentlichen Recht. 1. Baden-Baden : Nomos, 2023

Digitale Wahlen mit der BundID: Potenziale zur organisatorischen Entlastung kommunaler Verwaltungsprozesse

Lina Neele Sophie Agnes Brückweh¹, Marie-Chantal Hakemeyer¹, Sarah Schön¹, Annika Marie Siefken¹, Ann-Marie Charlott Speckmann¹ und Niklas Korte²

Abstract: Die Organisation politischer Wahlen stellt die Verwaltungen, insbesondere bei vorgezogenen Wahlterminen, vor enorme organisatorische und logistische Herausforderungen. In der vorliegenden Studie werden daher die potenziellen Einsparpotentiale durch eine Umstellung auf eine vollständig digitale Wahl durch die Authentifizierung mittels BundID betrachtet. Zur Erfassung des derzeitigen Ablaufs der Organisation analoger Wahlen wurden vier Experteninterviews mit den Sachbearbeitenden kommunaler Wahlämter mit unterschiedlich hoher Anzahl an Wahlberechtigten und verschiedener Rechtsstellung geführt und im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse hinsichtlich möglicher Entlastungen ausgewertet. Die Ergebnisse der Interviews verdeutlichen eine ausgeprägte Personalbindung unterschiedlicher Abteilungen sowie ehrenamtlicher Wahlhelfenden in vierstelliger Höhe, die im Kontext einer Systemumstellung signifikant reduziert werden könnte. Zudem lassen sich aus dem dargestellten Ressourcenaufwand einer papierbasierten Wahl, der insbesondere mit einer hohen Briefwahlbeteiligung und den in diesem Zusammenhang anfallenden zeitintensiven Arbeitsschritten einhergeht, Optimierungsmöglichkeiten durch eine digitale Wahl ableiten. Die aufgezeigten hohen organisatorischen Entlastungspotentiale könnten daher im politischen Diskurs zu einer möglichen Wahlrechtsreform beitragen.

Keywords: Digitalisierung, Digitale Wahlen, Verwaltungsentlastung, BundID, Multiple Case Study

1 Einleitung

Am 16. Dezember 2024 sprach der Deutsche Bundestag dem amtierenden Bundeskanzler Olaf Scholz auf dessen Antrag hin das Vertrauen ab. In der Folge löste der Bundespräsident den Bundestag auf und setzte vorgezogene Neuwahlen für Februar 2025 an. Diese politische Entwicklung erregte große öffentliche Aufmerksamkeit und war medial stark präsent. Für die kommunalen Wahlämter, insbesondere für die dort tätigen Sachbearbeiterinnen und Sachbearbeiter, hatte sie jedoch darüber hinausgehende, unmittelbare organisatorische Konsequenzen. In kurzfristig angesetzten Meetings musste besprochen werden, wie der Arbeitsumfang, den die Vorbereitung und Durchführung einer bundesweiten Wahl ohnehin mit sich bringt, in der Kürze der Zeit zu stemmen sei.

Von Anfang an waren damit besondere Anstrengungen zur Gewährleistung eines Wahlrechts für Auslandsdeutsche sowie die notwendige Priorisierung der Bearbeitung von

¹ Geteilte Erstautorenschaft: Hochschule Osnabrück, Albrechtstraße 30, 49076 Osnabrück, {lina.brueckweh | marie-chantal.hakemeyer | sarah.schoen | annika.siefken | ann-marie.speckmann}@hs-osnabrueck.de

² Universität Münster, Leonardo Campus 3, 48149 Münster, niklas.korte@uni-muenster.de

Briefwahlunterlagen zur Einhaltung der Versandzeiten vorhersehbar, die im Nachhinein in öffentlichkeitswirksamen Debatten um eine potenzielle Wahlanfechtung diskutiert wurden [HP25], [Me25], [Be25]. Um die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von Risiken, die mit der Einhaltung der Postlaufzeiten einhergehen, zu reduzieren haben einige Kommunen sogar explizit das Wählen im Wahlbüro oder persönliche Abholen der Briefwahlunterlagen empfohlen und die Wahl an der Urne vorrangig beworben [Ma25].

Die vorliegende Arbeit untersucht daher die folgende Forschungsfrage:

Kann die Implementierung digitaler Wahlen zu einer deutlichen Entlastung der Kommunen in Deutschland führen und welche Potentiale zur Reduzierung des organisatorischen Aufwands können aus einer Systemumstellung abgeleitet werden?

Insbesondere vor dem Hintergrund des demografischen Wandels der Beschäftigten der Kommunalverwaltungen und des stetigen Aufgabenzuwachses bei weitreichendem Personalmangel in vielen Behörden wird die digitale Wahlrechtsreform als längst überfällig betrachtet.

Zur Untersuchung potenzieller organisatorischer Entlastungen wird zunächst der aktuelle Stand der papierbasierten Stimmabgabe bei der Bundestagswahl 2025 dargestellt. Dieser wird anschließend Wahlen in anderen Ländern gegenübergestellt, in denen digitale Wahlverfahren bereits angewendet und evaluiert wurden. Im Anschluss wird eine hypothetisch angenommene digitale Wahlform skizziert, die auf einer vollständigen Digitalisierung des Wahlprozesses basiert und eine Authentifizierung über die BundID vorsieht. Diese wird konzeptionell eingeordnet und theoretisch fundiert. Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurden leitfadengestützte Experteninterviews mit Sachbearbeitenden verschiedener Wahlämter unterschiedlich großer Kommunen geführt, die im Folgenden im Hinblick auf potenzielle Entlastungspotenziale ausgewertet werden. Abschließend werden die daraus gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und die Notwendigkeit betont, diese Perspektiven in den politischen Diskurs einzubringen sowie eine digitale Wahl im Rahmen eines Pilotprojekts zu erproben.

2 Forschungshintergrund

2.1 Stand der Papierwahl

Seit der Bundestagswahl 1957 können Wählende ihr Wahlrecht auch per Briefwahl ausüben [DB07]. Seit dem Jahr 2008 ist es zudem nicht mehr erforderlich, einen wichtigen Grund für das Beantragen der Briefwahlunterlagen anzugeben [DB13].

Während bei der Bundestagswahl 1957 weniger als 5 % der Wählenden per Briefwahl abstimmten, lag der Anteil 2021 pandemiebedingt bei 47,3 %. 2025 sank der Anteil auf 37 %, blieb aber mit rund 18,5 Millionen Wählenden, die ihre Stimme schon einige Tage

bzw. Wochen vor dem Wahltermin abgegeben haben, auf einem hohen Niveau [BP25]. Es zeigt sich also ein Wunsch nach flexibleren Wahlformen.

Trotz hoher Briefwahlbeteiligung liegen die vorläufigen Ergebnisse erst Stunden nach Schließung der Wahllokale vor. 2025 lagen die Zahlen erst um 4:10 Uhr und 2021 sogar erst um 6:00 Uhr des Folgetages vor [BW25], [BW21].

Neben langer Auszählzeit und hoher Briefwahlbeteiligung sind auch die Kosten gestiegen: Die Wahlkostenerstattung nach § 50 Bundeswahlgesetz (BWahlG) stieg von 70 Millionen Euro (2013) auf 84 Millionen Euro (2017); die Gesamtkosten lagen 2017 bei etwa 92 Millionen Euro. Gründe sind u. a. höhere Portokosten und gestiegene Erfrischungsgelder für Wahlhelfende [BT21].

2.2 Blick nach Estland und auf die Sozialwahlen 2023

Seit 2005 können die Bürgerinnen und Bürger Estlands per E-Voting online wählen. Dabei werden elektronische Hilfsmittel für die Stimmabgabe und/oder die Stimmenauszählung verwendet [Ts13], [EBL23]. Estland gilt als Vorreiter digitaler Demokratie wobei zu beachten ist, dass Estland mit ca. 1,3 Millionen Einwohnenden ein vergleichbar kleines Land ist und es eine breite Akzeptanz für E-Voting gibt [MC23], [EBL23].

Zur Stimmabgabe wird ein internetfähiger Computer sowie eine digitale ID oder ein Ausweis mit Kartenlesegerät benötigt [KTH13]. Die Stimme wird nach Registrierung, PIN-Bestätigung und Verschlüsselung anonym übertragen und ist per QR-Code überprüfbar [Na24].

Seit 2005 haben E-Wahlen in Estland rechnerisch rund 1.500 Arbeitstage im administrativen Bereich eingespart. Diese Zahl stellt jedoch lediglich ein theoretisches Einsparpotenzial dar, da die Zahl der Wahllokale und der eingesetzten Personen praktisch unverändert blieb. Das Potenzial ergibt sich unter anderem aus geringerem Arbeitsaufwand für die Bearbeitung von Wahlzetteln sowie automatisierter Auswertung und Übermittlung [KTH13].

Auch bei der Sozialwahl 2023 in Deutschland kam erstmals ein Online-Verfahren im Rahmen eines Modellprojekts zum Einsatz. Gewählt wurde über ein Online-Portal mit der Authentifizierung über die Gesundheitskarte oder AusweisApp2 [So23]. Ein KPMG-Bericht nennt langfristige Einsparpotenziale, etwa bei Porto und Verwaltung, weist aber auch auf zusätzlichen Initialaufwand hin [KP24].

2.3 Die mögliche Ausgestaltung digitaler Wahlen unter Einbindung der BundID

Im Rahmen dieses Beitrags wird angenommen, dass digitale Wahlen technisch und rechtlich grundsätzlich möglich sind. Untersucht werden daher vorrangig deren organisatorische Auswirkungen auf kommunaler Ebene. Gemeint ist eine vollständig digitale Wahl

d. h. ohne Brief- oder Hybrid-Wahl, bei der Systeme transparente Prüfverfahren bieten, das Wahlgeheimnis wahren und gegen Manipulation gesichert sind. Die Stimmabgabe soll über Smartphone oder Computer erfolgen; alternativ sollen öffentlich zugängliche Wahlautomaten bereitstehen.

Zur Authentifizierung wird die BundID vorgeschlagen, ein zentrales Konto für den Zugang zu Verwaltungsleistungen und ein wesentlicher Bestandteil der Umsetzung des Onlinezugangsgesetzes, das auf allen föderalen Ebenen anbindbar ist [Bu24b]. Die Registrierung kann z. B. per Online-Ausweis erfolgen, der laut Bundesinnenministerium das höchste Vertrauensniveau aufweist und allen Bürgerinnen und Bürgern ab 16 Jahren mit einem nach dem 1. November 2010 ausgestellten Ausweis zur Verfügung steht [Bu24c]. Die Nutzung erfolgt über die AusweisApp samt Lesegerät oder NFC-fähigem Smartphone sowie der mitgelieferten Transport-PIN [Au24].

Nach erfolgreicher Authentifizierung wird der Zugang zum geschützten Wahlportal gewährt. Mehrere Systeme zur digitalen Stimmabgabe werden weltweit bereits genutzt oder diskutiert [EBL23]. Die Stimme wird anonym bestätigt, der digitale Stimmzettel archiviert und zentral automatisiert ausgezählt. Im Anschluss erfolgt die Ergebnisveröffentlichung.

Rechtlich bestehen noch Hürden da u.a. die Wahlgrundsätze aus Art. 33 Abs. 1 S. 1 Grundgesetz (GG) eingehalten werden müssen. Dazu zählen die Allgemeinheit, die Unmittelbarkeit, die Freiheit, die Gleichheit der Wahl sowie das Wahlgeheimnis. Besondere Aufmerksamkeit gilt dabei zum einen der Wahrung des Wahlgeheimnisses, das sicherstellen muss, dass eine Stimmabgabe nicht nachvollzogen werden kann – auch bei elektronischer Übertragung und Verarbeitung. Zum anderen ist spätestens seit dem Urteil des Bundesverfassungsgerichtes vom 03.03.2009 (Az. 2 BvC 3/07, 2 BvC 4/07) klar, dass auch dem Grundsatz der Öffentlichkeit der Wahl aus Art. 38 i. V. m. Art. 20 Abs. 1 und Abs. 2 GG Rechnung getragen werden muss. Hiernach muss bei der Nutzung elektronischer Wahlgeräte sichergestellt werden, dass alle wesentlichen Verfahrensschritte durch die Bürger ohne besondere Sachkenntnis nachvollzogen werden können.

3 Forschungsdesign

3.1 Fallauswahl und -beschreibung

Zur Analyse des Wahlablaufs in Deutschland wurden vier leitende Wahlexpertinnen und -experten aus unterschiedlichen Kommunen interviewt. Der Fokus lag inhaltlich auf der Bundestagswahl im Februar 2025, um die Ergebnisse vergleichbar zu machen.

Die Untersuchung wurde als Multiple-Case-Study mit vier Kommunen durchgeführt, um eine breite empirische Basis zu schaffen und verzerrende Effekte einzelner Fallkonstellationen zu vermeiden [Ae23]. Ziel war es, die tatsächliche Belastung durch Papierwahlen

sichtbar zu machen und daraus Potenziale und Anforderungen digitaler Wahlen aus kommunaler Sicht abzuleiten.

Die vier Kommunen stehen nicht repräsentativ für alle rund 11.000 Kommunen in Deutschland, liefern aber dennoch wertvolle Hinweise [Ae23]. Lokale Besonderheiten und Einzelfälle können wichtige Impulse für eine bundesweite Umsetzung geben. Eine erfolgreiche Einführung erfordert, dass auch lokale Besonderheiten und spezifische Perspektiven berücksichtigt werden. Zugleich bleibt ein fortlaufender Austausch mit weiteren Kommunen unerlässlich, unabhängig von deren Größe, Lage oder organisatorischer Struktur. Um möglichst vielfältige Perspektiven zu erfassen, wurden die Interviews auf unterschiedlichen kommunalen Ebenen geführt. Drei Kommunen wurden über bestehende Kontakte ausgewählt, eine verfassende Person ist selbst in einer der befragten Kommunen tätig. Es handelt sich folglich um eine Gelegenheitsstichprobe [Ae23]. Die folgende Tabelle 1 gibt einen Überblick über die durchgeführten Interviews:

Interview	Kommunale Ebene	Anzahl der Wahlberechtigten³	Interviewdauer
Interview 1	Gemeinde	11.601	91:19 min
Interview 2	Stadt	24.401	37:53 min
Interview 3	Landkreis	225.099	65:00 min
Interview 4	Kreisfreie Stadt	120.138	51:53 min

Tabelle 1: Überblick über die interviewten Kommunen

Alle Interviews wurden im Rahmen persönlicher Gespräche vor Ort durchgeführt. Besonderheiten zeigten sich etwa beim Landkreis, der im Jahr 2025 die Wahlorganisation für einen Nachbarkreis übernahm, sowie bei der kreisfreien Stadt, die gemäß § 14 Abs. 6 NKomVG sowohl landkreis- als auch gemeindespezifische Aufgaben wahrnimmt. Die Aufgabenverteilung bei einer Wahl variiert je nach kommunaler Ebene und Kooperationsvereinbarungen, wie bei Interview 3, die sich aber auch überschneiden bzw. ergänzen können. Auch die Organisation des Wahlprozesses unterscheidet sich je nach Kommune, etwa in Zuständigkeit, Struktur oder Personalqualifikation.

Insgesamt spiegeln die gewählten Kommunen sowohl strukturelle Gemeinsamkeiten als auch relevante Unterschiede in der kommunalen Wahlorganisation wider. Das Vorgehen kann insofern als eine anwendungsorientierte Form des „theoretical sampling“ verstanden werden, da gezielt Kontraste und Vergleichsmöglichkeiten in die Auswahl integriert wurden [GS08].

³ Zum Zeitpunkt der Bundestagswahl am 23.02.2025

3.2 Interviewleitfaden für Experteninterviews

Für die halbstrukturierten Interviews wurde ein Interviewleitfaden entwickelt. Dieser umfasste 17 offene Fragen, die in die Themenbereiche Organisation der Bundestagswahl 2025, Personal, Räume und Logistik, Finanzen sowie Digitalisierung und Zukunftsperspektiven unterteilt wurden. Da vier verschiedene Personen die Interviews führten, sichert der Leitfaden vergleichbare und auswertbare Ergebnisse [Ae23]. Vorab wurde definiert, was im Kontext des Interviews unter digitalen Wahlen zu verstehen ist (vgl. Kapitel 2.3), um gezielte und vergleichbare Antworten zu erhalten.

Die Interviews zielten vor allem darauf ab, den Ist-Zustand bzw. den Ist-Aufwand der Wahlen in Deutschland zu ermitteln. Dazu wurde sehr ausführlich beleuchtet, was und zu welchem Zeitpunkt vor einer Wahl geschieht, der Ablauf des Wahltags selbst, die Nachbereitung der Wahl und wie viele Personen/ Organisationseinheiten jeweils mit den einzelnen Tätigkeiten beschäftigt sind – sofern dieses bestimmbar ist.

Inwiefern die Interviewpartnerinnen und -partner Einsparpotentiale durch die Einführung digitaler Wahlen sehen, wurde nur in einer Frage behandelt. Nicht direkt genannte Vorteile ergeben sich aus der Auswertung der Beschreibung des analogen Wahlprozesses.

3.3 Datenanalyse und -auswertung

Die Interviews wurden nach den Regeln der inhaltlich-semantischen Transkription nach Dresing und Pehl transkribiert [DP18], unterstützt durch automatisierte Tools.

Für die Auswertung kam die qualitative Inhaltsanalyse nach Mayring zum Einsatz, wobei im Rahmen einer Zusammenfassung der Weg der induktiven Kategorienbildung gewählt wurde. Dies ermöglichte das individuelle Eingehen auf die Aussagen der Interviewpartner und -partnerinnen. Als Kodiereinheit wurden Sinnabschnitte gewählt; auf die Paraphrasierung folgte eine Generalisierung und die Zuordnung zu einer Kategorie [Ma22]. So hat jede verfassende Person zunächst für ihr eigenes Interview das Vorgehen nach Mayring angewandt (Bildung von Subkategorien). Im Anschluss hat die verbleibende verfassende Person, die kein eigenes Interview durchgeführt hat, die Zwischenergebnisse gesichtet, kontrolliert und zusammengefasst (finale Kategorienbildung). Teilweise wurden Subkategorien mehreren finalen Kategorien zugewiesen. Dieses Vorgehen entspricht in Ansätzen dem von Mayring beschriebenen Verfahren zur InterCoderreliabilität [Ma22], was die Zuverlässigkeit und Reproduzierbarkeit der Erkenntnisse verbessert.

Die Auswertung ergab insgesamt die folgenden neun Kategorien: (1) Personalaufwand, (2) Organisations-/ administrativer Aufwand, (3) Fehler/ Mehraufwand durch Briefwahlen, (4) Besonderheiten durch vorgezogene Bundestagswahl, (5) technische und digitale Anforderungen, (6) rechtliche und sicherheitsrelevante Aspekte, (7) Kosten, (8) Ressourcenmanagement sowie (9) Vorteile und Potenziale der Digitalisierung der Wahl. Die nachfolgende Tabelle 2 veranschaulicht den Weg von den zunächst gebildeten Kategorien bis zu den finalen Kategorien anhand eines ausgewählten Beispiels:

	Subkategorien	Interview
Kategorie Personalaufwand	Personalaufwand, interne Ressourcenverflechtung, Ehrenamtliche nicht da	Landkreis
	Personalaufwand, Strukturelle Anforderungen, Organisationsstruktur, Personalgewinnung, Personalbedarf	Stadt
	Arbeitsbelastung durch Papierwahl, Unveränderliche Aufgaben/Prozesse	Gemeinde
	Hauptamtliches Personal und Verantwortlichkeiten, Zuständigkeit und Unterstützung durch Fachabteilungen, Ehrenamtliche Wahlhelfende	Kreisfreie Stadt

Tabelle 2: Kategorienbildung nach Mayring

Teilweise konnten die Interviewpartnerinnen und -partner konkrete Zahlen, z.B. zu den Stundenanteilen der beschäftigten Mitarbeitenden oder zur konkreten Dauer bestimmter Prozesse nennen. Diese Angaben konnten nicht über das Vorgehen nach Mayring ausgewertet werden und fließen unabhängig davon in das folgende Kapitel ein.

4 Erkenntnisse

Die Interviews zeigen, dass die kurzfristig Bundestagswahl 2025 bestehende strukturelle Probleme der papierbasierten Wahlorganisation verschärfte und erhebliche Belastungen in den Verwaltungen verursachte. Gleichzeitig werden generelle Schwächen analoger Wahlen insbesondere in organisatorischer, personeller und logistischer Hinsicht deutlich.

Besonders herausfordernd war der hohe Personalaufwand für die monatelange Vorbereitung, vor allem für die Gewinnung und Schulung ehrenamtlicher Wahlhelfender. Geringe Entschädigungen erschweren die Rekrutierung zusätzlich. Kritisiert wurde zudem der hohe Papierverbrauch und die damit verbundene Lager- und Archivierungsproblematik.

Im Folgenden werden die größten Aufwände dargestellt, aus denen durch die Umstellung auf digitale Wahlen Entlastungen abgeleitet werden können. Die BundID wird als zentrale Möglichkeit und Mittel einer Identifizierung bei einer solchen digitalen Wahl gesehen.

Organisations-/Administrations- und Personalaufwand sowie Mehraufwand durch Briefwahlen. Die Interviews zeigen, dass analoge Bundestagswahlen mit hohem organisatorischem und personellem Aufwand verbunden sind, wobei sich die Herausforderungen je nach Größe und Struktur der Kommune unterscheiden. Kleinere Kommunen kämpfen mit Sonderfällen wie dem Versand ausländischer Briefwahlunterlagen, größere mit hohen Fallzahlen. Auch die Eingliederung des Wahlamts in die Verwaltung beeinflusst, wie andere Bereiche unterstützend eingebunden werden können.

Unabhängig vom vorgesehenen Stellenanteil – von wenigen Wochenstunden bis zu mehreren Vollzeitäquivalenten – berichten alle Kommunen von einer strukturellen Unterdeckung, die zu Priorisierungszwang, Überstunden und Arbeitszeitverstößen, insbesondere am Wahltag, führt. Mehrere Befragte sehen hierin ein Gesundheitsrisiko, das durch digitale Wahlsysteme reduziert werden könnte.

Die Erstellung, Ausschreibung und Verteilung von Stimmzetteln erfolgen unter hohem Zeitdruck und unterliegen Vergabeverfahren. Fehlerhafte Parteienanordnungen und Abstimmungsprobleme mit Dienstleistern führen regelmäßig zu Verzögerungen. Das manuelle Bearbeiten der Wahlunterlagen bindet teils eine Vollzeitkraft. Tritt kurzfristig Materialmangel auf, müssen Ad-hoc-Lösungen wie Kurierdienste organisiert werden. Digitale Systeme könnten schnelle Anpassungen und automatisierte Prozesse ermöglichen.

Ein besonders großer Aufwand entsteht bei der Briefwahl. In größeren Kommunen erfordert die Sortierung, Überprüfung und Auszählung der Briefwahlunterlagen hohe personelle Kapazitäten, oft im Schichtbetrieb mit verlängerten Öffnungszeiten. Separate Briefwahlbüros und die Nachverteilung von Wahlbriefen – die am Wahltag erst um 18 Uhr entnommen werden dürfen – führen regelmäßig zu Verzögerungen. Auch verspätete oder verlorene Wahlbriefe erhöhen den Aufwand. Diese organisatorischen Herausforderungen werden durch den händischen Umgang mit den Unterlagen verstärkt, der fehleranfällig ist – etwa durch fehlerhafte Verpackung durch Wählende. Die Briefwahl gilt daher als zentrales Argument für digitale Alternativen.

Die Bereitstellung barrierefreier Wahllokale ist vor allem im ländlichen Raum schwierig. Oft müssen – insbesondere für die Urnenwahllokale – externe Räume angemietet und ausgestattet werden. Der damit verbundene logistische und vertragliche Aufwand sowie die Lagerung von Materialien stellen zusätzliche Belastungen dar.

Die Koordination ehrenamtlicher Wahlhelfender ist sehr aufwendig. Pro Wahllokal werden acht bis zehn Personen benötigt, die gewonnen, geschult und eingeteilt werden müssen. Kurzfristige Ausfälle, besonders am Wahltag, erfordern spontane Lösungen. Die Abhängigkeit vom Ehrenamt ist groß, gleichzeitig wird es schwieriger, ausreichend Freiwillige zu finden. Wiederkehrende Teams verbessern die Qualität, reichen aber nicht aus – eine kreisfreie Stadt etwa benötigt rund 1.500 Personen. Die Auszählung kann je nach Wahlbeteiligung bis in die Nacht andauern, unter anderem da fehlerhafte Ergebnisse Nachzählungen erfordern. Die telefonische Übermittlung und manuelle Erfassung der Ergebnisse bindet weiteres Personal.

Digitale Wahlsysteme könnten hier deutlich entlasten: durch reduzierten Material- und Raumbedarf, automatisierte Auszählung und zentrale IT-Betreuung. Auch der Schulungsaufwand für Wahlhelfende würde sinken. Die Einführung digitaler Systeme wird daher nicht nur als Modernisierung, sondern als Antwort auf strukturelle Engpässe diskutiert.

Ressourcenmanagement und Kosten. Die Interviews zeigen: Analoge Bundestagswahlen verursachen einen erheblichen Ressourcenverbrauch und hohe Kosten. Große Papiermengen, wie überzählige Stimmzettel, die aus Vorsicht großzügig kalkuliert werden, um

Engpässe wie im Jahr 2021 in Berlin zu vermeiden [Ha24], müssen entsorgt werden, was ökologische und wirtschaftliche Nachteile bringt. Personal-, Logistik- und IT-Kosten werden nur teilweise durch den Bund erstattet, was besonders finanzschwache Kommunen belastet [Bu24a]. Digitale Wahlsysteme können daher auch Kosten und Materialverbrauch senken.

Technische und sicherheitsrelevante Anforderungen. Digitale Wahlen müssen hohen rechtlichen, sicherheitsrelevanten und technischen Anforderungen genügen. Genannt wurden Risiken wie Manipulation, Cyberangriffe und der Verlust des Wahlgeheimnisses. Zugleich zeigen Anwendungen wie die elektronische Patientenakte (ePA), dass sichere Systeme für sensible Daten bereits entwickelt werden können. Transparenz, Open Source, Verifizierbarkeit, Barrierefreiheit, stabile IT-Infrastruktur und klare Datenschutzkommunikation gelten als zentrale Voraussetzungen für Vertrauen und Akzeptanz.

Besonderheiten durch vorgezogene Bundestagswahl. Die Interviews zeigen: Die vorgezogene Bundestagswahl 2025 mit hoher medialer Aufmerksamkeit erforderte kurzfristig mehr Personal und ungewohnte Strukturen, was Abläufe erschwerte. Drei Kommunen berichteten, dass die mediale Präsenz freiwillige Unterstützung förderte. Persönliche Netzwerke und fachfremdes Personal halfen bei der schnellen Personalgewinnung.

Die Briefwahl stellte eine zentrale Herausforderung dar. Verkürzte Fristen erschwerten Auslandsdeutschen die Teilnahme: Bei der befragten kreisfreien Stadt konnten zwischen 100 und 150 Stimmen aufgrund verspäteter Zustellung nicht mehr berücksichtigt werden. Enger Zeitdruck wirkte sich auch auf Vergaben an Druck- und Versanddienstleister aus.

Vorteile und Potenziale der Digitalisierung. Aus den Interviews ergeben sich sowohl Potenziale als auch konkrete Umsetzungswünsche für digitale Wahlverfahren. Durch eine Digitalisierung von Wahlen wird der bereits stattfindenden digitalen Transformation und dem unter Kapitel 2.1 thematisierten Wunsch nach flexibleren Wahlformen Rechnung getragen [ID25]. Gerade, da der Anteil an Briefwählenden im Trend steigend ist [BW25], würden digitale Wahlen diesen in den Interviews durchweg als zeitintensiv dargestellten Prozess wegfallen lassen. Es müssten in diesem Zuge auch in der Stadt und der kreisfreien Stadt keine alternativen Logistikdienstleister zur Sicherstellung fristgerechter Zustellung von Wahlbriefen beauftragt werden.

Mindestens drei der befragten Kommunen sehen den Umstieg nicht als unlösbar und befürworten den Umstieg. Bereits heute kommen digitale Systeme wie der "Votemanager" zum Einsatz und erleichtern Prozesse. Eine flächendeckende Digitalisierung könnte Impulse für organisatorische und kulturelle Modernisierungen in der Verwaltung geben.

Wichtig sind aus Sicht der Kommunen zentral gesteuerte IT-Lösungen sowie lokale Anlaufstellen für Bürgerinnen und Bürger zur Unterstützung. Digitale Wahlen bieten somit Chancen zur Entlastung von Verwaltung und Ehrenamt und erhöhen zugleich Effizienz und Flexibilität im Wahlprozess.

5 Fazit und Ausblick

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchung zeigen, dass hinter jeder Wahl weit mehr als ein Kreuz auf einem Zettel steckt – denn auch der entsprechende Stimmzettel und die dazugehörigen Rahmenbedingungen müssen erst einmal organisiert und geschaffen werden. Für die hierfür zuständigen kommunalen Wahlämter führt jede politische Wahl, wie zuletzt die vorgezogene Bundestagswahl 2025, zu auffallenden organisatorischen und logistischen Herausforderungen, die einen Ausnahmezustand begründen. Monatelange Wahlvorbereitungen, unzählige notwendige Abstimmungen zwischen verschiedenen Fachämtern und externen Dienstleistern, die Koordination von vielen ehrenamtlichen Wahlhelfenden pro Kommune und eine logistische Kette, die von dem Stimmzettel bis zur späten Auszählung am Wahlabend reicht, binden enorme personelle und finanzielle Ressourcen. Dabei müssen Kommunen häufig improvisieren, Lücken schließen und Aufgaben priorisieren, die eigentlich alle gleichzeitig höchste Aufmerksamkeit verlangen.

Auch in materieller Hinsicht wird das Ausmaß der Belastung deutlich. Große Mengen an Papier in Form von Stimmzetteln und Verpackungsmaterialien müssen bereitgestellt, gelagert, verteilt und nach der Wahl vernichtet oder archiviert werden. Die damit verbundenen finanziellen Aufwände treffen Kommunen besonders hart, da ein Großteil der Kosten nicht durch Bundesmittel gedeckt sind. Die strukturelle Unterfinanzierung, gerade in kleineren Kommunen, verschärft die kommunale Handlungsfähigkeit zusätzlich.

Vor diesem Hintergrund treten die potenziellen Vorteile digitaler Wahlverfahren besonders deutlich hervor. Die Interviews belegen, dass eine digitale Wahl mit Authentifizierung über die BundID das Potenzial hat, den gesamten Wahlprozess grundlegend zu entlasten. Nicht nur könnten Personalbedarf und Materialeinsatz erheblich reduziert werden, sondern auch zeitkritische Prozesse wie Auszählung, Ergebniserfassung und Nachbereitung ließen sich effizienter und mit einer geringeren Fehlertoleranz gestalten. Zudem würde eine digitale, ortsunabhängige Wahl vielen Menschen die Teilnahme und die Nutzung ihres demokratischen Wahlrechts spürbar erleichtern.

Allerdings wurden auch die notwendigen Voraussetzungen deutlich. Eine digitale Wahl muss höchsten Sicherheitsanforderungen genügen, das Wahlgeheimnis wahren, transparent und nachvollziehbar sein und dies sowohl für Fachleute als auch für Bürgerinnen und Bürger. Ebenso müssen Aspekte der Benutzerfreundlichkeit, Barrierefreiheit und digitale Infrastruktur, insbesondere im ländlichen Raum, gesichert sein.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass digitale Wahlen kein Allheilmittel sind, aber ein realistisches und zukunftsgerichtetes Instrument zur Lösung vieler struktureller Probleme, mit denen Kommunen im Rahmen analoger Wahlverfahren konfrontiert sind. Es wird daher die Notwendigkeit und der Wunsch aus den befragten Kommunen deutlich, eine weitere Wahlrechtsreform zur Implementierung der digitalen Wahlen in den politischen Prozess einzubringen. Zudem ist ein moderner und funktionierender Staat demokratiefördernd, weil er auch Krisensituationen wie vorgezogenen Wahlen ausreichend gut bewältigt. Vertrauensverluste infolge wiederholter Wahlpannen können eine erhebliche Belastung für die demokratische Legitimationsbasis darstellen.

Aufgrund der von den befragten Kommunen übereinstimmend dargestellten einfacheren Auszählbarkeit der Bundestagswahl im Vergleich zur Kommunalwahl, wird empfohlen hier eine Implementierung als Pilotprojekt einzuführen. Höhere Erfolgchancen für die Implementierung können sich durch die frühzeitige Beteiligung der Anwendenden im Entwicklungsprozess ergeben, wozu eine der befragten Behörden gerne bereit wäre.

Um ein tiefergreifendes Verständnis für die organisatorischen Prozesse unter Bezugnahme auf die praktischen Erfahrungen von Verwaltungsexpertinnen und -experten zu erlangen, beschränkt sich die vorliegende Arbeit bewusst auf einen Teilaspekt der zu betrachtenden Erfolgsfaktoren einer Einführung digitaler Wahlen und hebt sich damit in der Zielsetzung vom allgemeinen Diskurs zum Themenkomplex E-Voting ab. Neben der gesellschaftlichen Akzeptanz müssten insbesondere die technischen (Sicherheits-)Voraussetzungen zukünftig noch weiter betrachtet werden. Hier ergeben sich Anknüpfungspunkte für weitere Untersuchungen. Begrenzungen ergeben sich zudem durch die quantitative Limitation auf vier Interviews und die getroffenen Forschungsannahmen, da eine Ausweitung hiervon die Kapazitäten dieser Studie überschritten hätte. Die Studie bietet einen ersten Impuls für den notwendigen politischen Diskurs, indem sie eine initiale Schätzung organisatorischer Einsparungspotenziale durch digitale Wahlprozesse liefert und damit mögliche Anknüpfungspunkte für zukünftige Wahlrechtsreformen aufzeigt.

Literaturverzeichnis

- [Ae23] Aepli, Jürg; Gasser, Luciano; Gutzwiller-Helfenfinger, Eveline; Tettenborn, Anette: Empirisches wissenschaftliches Arbeiten. Ein Studienbuch für die Bildungswissenschaften, 5. Auflage, Verlag Julius Klinkhardt, Bad Heilbrunn, 2023.
- [Au24] AusweisApp, <https://www.ausweisapp.bund.de/online-ausweisen/das-brauchen-sie>, Stand: 02.06.2025.
- [Be25] Handelsblatt, <https://www.handelsblatt.com/dpa/wahleinsprueche-bereits-800-einsprueche-gegen-bundestagswahl/30300632.html>, Stand: 12.06.2025.
- [BP25] Bundeszentrale für politische Bildung, <https://www.bpb.de/kurz-knapp/zahlen-und-fakten/bundestagswahlen/560708/wahlbeteiligung-und-briefwahl/>, Stand: 13.06.2025.
- [BT21] Bundestagswahl 2021, <https://www.bundestagswahl-2021.de/fakten/>, Stand: 13.06.2025.
- [Bu24a] Deutscher Städtetag, <https://www.staedtetag.de/presse/pressemeldungen/2024/kommunen-droht-rekorddefizit-bund-und-laender-muessen-in-der-oeffentlichen-finanzpolitik-umsteuern>, Stand: 13.06.2025.
- [Bu24b] Bundesministerium des Innern und für Heimat, www.digitale-verwaltung.de/Shared-Docs/downloads/Webs/DV/DE/twopager_bundid_final.pdf?__blob=publication-File&v=5, Stand: 20.05.2025.
- [Bu24c] Bundesministerium des Innern und für Heimat, <https://id.bund.de/de/faq>, Stand: 20.05.2025.

- [BW21] Die Bundeswahlleiterin, https://bundeswahlleiterin.de/info/presse/mitteilungen/bundestagswahl-2021/50_21_vorlaeufiges-ergebnis.html, Stand: 13.06.2025.
- [BW25] Die Bundeswahlleiterin, https://bundeswahlleiterin.de/info/presse/mitteilungen/bundestagswahl-2025/27_25_vorlaeufiges-ergebnis.html, Stand: 13.06.2025.
- [DB07] Deutscher Bundestag, <https://webarchiv.bundestag.de/archive/2007/0307/geschichte/parlhist/wahlhist/wg1957.html> Stand: 13.06.2025
- [DB13] Deutscher Bundestag, https://www.bundestag.de/webarchiv/textarchiv/2013/46178429_kw31_briefwahl_urteil-213280, Stand: 13.06.2025.
- [DP18] Dresing, Thorsten; Pehl, Thorsten: Interview, Transkription & Analyse. Anleitungen und Regelsysteme für qualitativ Forschende, 8. Auflage, Eigenverlag, Marburg, 2018.
- [EBL23] KIT, <https://publikationen.bibliothek.kit.edu/1000162698>, Stand: 20.05.2025.
- [GS08] Glaser, Barney; Strauss, Anselm: The discovery of grounded theory. Strategies for qualitative research., Aldine Transaction, 2008.
- [Ha24] tagesschau, <https://www.tagesschau.de/inland/innenpolitik/wiederholung-bundestagswahl-berlin-100.html>, Stand: 13.06.2025.
- [HP25] tagesschau, <https://www.tagesschau.de/investigativ/ndr/bundestagswahl-ausland-briefwahl-100.html>, Stand: 13.06.2025.
- [ID25] Initiative D21 e.V., www.initiaved21.de, Stand: 08.06.2025
- [KTH13] Institute of Baltic Studies, <https://praxis.ee/uploads/2014/03/2013-E-teenuste-kasutamise-tulemuslikkus-ja-moju1.pdf>, Stand: 28.05.2025.
- [KP24] KPMG, www.bundesgesundheitsministerium.de/fileadmin/Dateien/5_Publikationen/Ministerium/Berichte/Abschlussbericht_Evaluation_Modellprojekt_Online-Wahlen.pdf, Stand: 27.05.2025.
- [Ma25] Kommunal, <https://kommunal.de/briefwahl-bundestagswahl2025-fristen>, Stand: 13.06.2025.
- [Ma22] Mayring, Philipp: Qualitative Inhaltsanalyse: Grundlagen und Techniken, 13. Auflage, Beltz, 2022.
- [MC23] Konrad-Adenauer-Stiftung e.V., <https://kas.de/de/laenderberichte/detail/-/content/swish-and-vote-in-estland-bald-waehlen-ueber-das-eigene-smartphone>, Stand: 30.05.2025.
- [Me25] WELT, <https://www.welt.de/politik/deutschland/article255518924/4-972-Prozent-BSW-verpasst-Bundestag-Haetten-Auslandsdeutsche-den-Unterschied-gemacht.html>, Stand: 12.06.2025.
- [Na24] Georg-August-Universität Göttingen, <https://uni-goettingen.de/de/i-voting+in+estland/690004.html>, Stand: 30.05.2025.
- [So23] Sozialwahl, <https://sozialwahl.de/ueber-die-sozialwahl#c531>, Stand: 13.06.2025.
- [Ts13] SageJournals, <https://doi.org/10.1007/s12290-013-0261-7>, Stand: 13.06.2025.

Restoring Capacity at Work: Evaluating a Virtual Nature Experience for Public Administration Employees

Marc Wyszynski ¹, Steffen Fock², Björn Niehaves³

Abstract: Public administration employees face mounting cognitive demands that negatively impact well-being and performance. This study investigates the effect of a virtual reality nature simulation as a resource improving employee well-being, utilizing Job-Demand Resources Model and Attention Restoration Theory. To this end, we test a sample of public administration employees in a quasi-experimental pre-post design to examine the effects of a VR nature simulation in contrast with traditional breaktime and the effect on attention restoration and perceived well-being. We hypothesize a stronger positive effect on attention restoration in the VR group, increasing subjective well-being. Our study can thus provide an innovative low-threshold immersive technology to strengthen resilience in public administration workplaces.

Keywords: Virtual Reality, Public Administration, Attention Restoration, Well-Being

1 Introduction

Public sector organizations across Europe are facing increasing challenges arising from demographic change, the ongoing digital transformation, and the persistent shortage of skilled workers [Le23]. These developments reshape the future of work in public administrations, increasing pressure on already overburdened administrative bodies by intensifying demands on the workforce. For instance, employees are often confronted with limited personnel resources, increasing task complexity, and ongoing organizational restructuring [Lo23]. Thus, individual workloads increase while the scope and technical requirements of administrative roles continue to expand. Previous research in this context suggests that the increasing workload of public administration staff in Europe is indeed a significant problem that can lead to negative consequences, such as physical and mental health problems for employees, raising concerns about long-term subjective well-being at the workplace and organizational resilience [LSC24, Zh25].

Subjective well-being at the workplace refers to employees' overall cognitive and emotional evaluations of their work lives, encompassing both affective experiences and

¹ University of Bremen, Department of Information Systems, Bibliothekstraße 1, Bremen, 28359, m.wyszynski@uni-bremen.de,  <https://orcid.org/0000-0002-5292-4083>

² University of Bremen, Department of Information Systems, Bibliothekstraße 1, Bremen, 28359, steffen.fock@uni-bremen.de

³ University of Bremen, Department of Information Systems, Bibliothekstraße 1, Bremen, 28359, niehaves@uni-bremen.de

job satisfaction. In the organizational context, it encompasses frequent positive emotions, infrequent negative emotions, and a general sense of job satisfaction [BO11]. These different perspectives capture both the evaluative and emotional dimensions of employees' work experience and highlight the importance of both pleasure and activation for understanding how individuals feel and function within organizational settings.

While recruitment of skilled workers and new staff remains an important approach to address the problem of overburdening of public administration employees, preserving the mental health and well-being of the existing workforce is also critical to prevent further escalation of the problem [LSC24]. However, systematic interventions to enhance psychological well-being have so far not been implemented in most public administrations. One reason for this may lie in the limited accessibility and practicality of many existing approaches. For instance, previous studies have demonstrated the benefits of exposure to natural environments for improving various dimensions of well-being [Ca15, SB19]. However, access to such restorative environments is often restricted, especially in public administrative buildings located in dense urban settings where nature exposure breaks are neither time-efficient nor logistically feasible.

One promising alternative approach is the use of virtual reality (VR) to simulate immersive, nature-based experiences [BB24, Mo23, VBV21, Xu24]. VR technology enables low-threshold and cost-effective implementation of well-being-promoting interventions for public administration employees. Prior work suggests that VR nature experiences have positive effects on well-being among particular employee groups in specific domains, such as clinicians in healthcare [AK22], young adults in education [Xu24], and individuals with limited mobility [Ch22, VBV21]. Despite these promising findings, little is known about the potential of VR-based nature simulations to promote well-being among employees faced with increasing job demands, such as public administration staff. Specifically, it remains unclear how such VR interventions are perceived and evaluated by employees, and whether they can meaningfully enhance well-being in this unique context. Focusing on the special case of public administration, the present study addresses this research gap by investigating the following research question:

RQ: *Does a VR-based nature intervention improve public sector employees' subjective well-being, and how do public sector employees perceive and evaluate the intervention?*

This study draws on the Job Demands-Resources Model (JD-R model) [BD05, BD17], Attention Restoration Theory (ART) [KK89], psychological findings on well-being, and the latest VR research in the given context. According to the JD-R model, employee well-being and motivation are shaped by the interaction between job demands (e.g., workload, emotional strain) and job resources (e.g., support, autonomy) [BD17]. While demands are primarily associated with strain, resources can buffer the negative effects of demands and foster well-being. The ART suggests that exposure to natural environments can restore depleted attentional capacities and facilitate psychological recovery. Building on this theoretical integration, we conceptualize a VR-based nature environment as an additional resource that provides cognitive restoration and may thus alleviate workplace strain and

promote well-being. The impact of this interventional resource on well-being and the way how potential users perceive and evaluate it will be tested through a quasi-experimental study conducted in the VR laboratory.

By empirically examining this intervention, the study contributes to the introduction of administration. As an innovative complement to traditional job resources such as feedback or professional training as proposed by the JD-R model, this intervention provides a resource promoting employee well-being, engagement, and resilience. Improving employee well-being through the implementation of innovative immersive technologies may also enhance the attractiveness of public sector workplaces for prospective employees. Based on recent research, a VR setting is developed and tested with public administration staff, focusing on both short-term and medium-term improvements in subjective well-being.

2 Theory and related work

2.1 Work overload in public-administration

Over the past decade, the concept of bureaucratic overload has gained increasing relevance in public administration research. The phenomenon of bureaucratic overload (sometimes called administrative overload) describes a state in which public sector employees are systematically confronted with more tasks, procedures, and responsibilities than can be handled with available resources [LSC24, Lo23]. This overload stems from both internal drivers, such as policy accumulation, staffing cuts, and administrative fragmentation [Ad22, Es17], and external shocks, including crises like the COVID-19 pandemic or refugee movements [KPK21, LE23], which add pressure to systems already working to capacity [Ad19, LSC24, Lo23]. Therefore, bureaucratic overload has become a pervasive issue, and it seems to have become more serious recently [LSC24]. On the individual level, this situation is reflected in increasing time pressure, role conflicts, and administrative fragmentation, contributing to psychological strain and possible burnout symptoms such as emotional exhaustion, reduced personal efficacy, and detachment from work [Mo25, Zh25].

To conceptualize the psychological consequences of such structural challenges, this study draws on the JD-R model [BD05, BD17], proposing that employee well-being is determined by the balance between job demands and job resources (see Fig. 1). Job demands are aspects of the job that require sustained physical or psychological effort, such as a high mental and physical workload, emotional work, or constant procedural compliance [BD07]. These demands are associated with physiological and psychological costs. In contrast, job resources refer to the physical, psychological, social, or organizational aspects of the work environment that facilitate achieving work goals, mitigate job demands, or promote personal growth, learning, and development [BD07]. Examples include autonomy, supervisor support, and opportunities for recovery.

However, some aspects could be both job demands and resources [Zh25]. For example, digitalisation might introduce additional job demands, such as faster and more intensive information processing, permanent availability, and the extension of the role, which may enhance psychological strain. In contrast, digitalization may also be a resource that supports the employee, e.g., in task execution, problem solving, and decision-making, which might decrease the job demands and increase motivation.

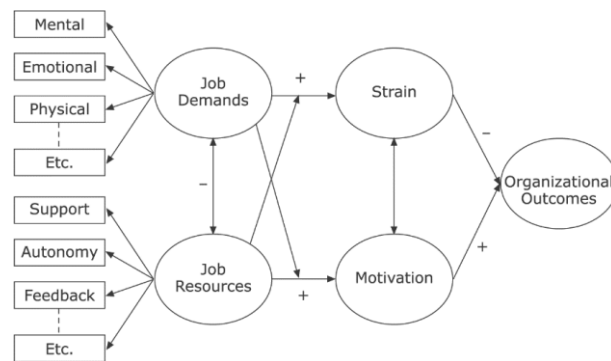


Fig. 1: The JD-R model as proposed by Bakker et al. [BD07]

Furthermore, the JD-R model distinguishes between two central mechanisms: a health impairment process, in which excessive demands lead to stress and exhaustion, and a motivational process, in which adequate resources promote engagement and resilience. The health impairment process suggests that chronic job demands (e.g., work overload or emotional strain) can exhaust mental and physical resources, resulting in fatigue, compensatory effort, and ultimately, health issues [BD07]. The motivational process assumes that job resources enhance engagement and performance. These resources may promote motivation intrinsically by supporting basic psychological needs (e.g., autonomy, competence, relatedness) or extrinsically by enabling goal achievement. As proposed by the JD-R model, these two mechanisms explain how the balance between demands and resources shapes psychological well-being and work outcomes.

The effective functioning of public administration is essential for the reliable execution of governmental duties and the upholding of the constitutional state. However, inefficiency, delays, or service breakdowns due to staff overload can be considered to have a negative impact on the effectiveness of public administrations. When administrative performance is impaired, the legitimacy and operational capacity of the state itself may be undermined. With that said, employees in public administration are increasingly confronted with high demands and limited resources, particularly due to structural labour shortages and rising procedural complexity. In line with the JD-R model, this imbalance poses a significant risk for work overload, with potential consequences for both individual well-being and institutional stability. Hence, in contexts such as public administration, where structural overload is difficult to avoid under current conditions, targeted resource interventions could play a key role in preserving employee health and maintaining service quality.

2.2 Virtual Reality and Attention Restoration

In work environments characterized by high demands and limited opportunities for recovery, short recovery measures can serve as a valuable resource for maintaining employee well-being. One measure that has been shown to have effective recovery potential is spending time in nature. As proposed by the ART, natural environments have the capacity to restore depleted attentional resources [KK89, Ka95]. Supporting the ART, psychological research has shown that exposure to natural environments can improve emotional well-being, mood, and “recharge” cognitive resources [Ca15, SB19]. Research further indicates that even short exposure to nature (40 seconds) can have a stronger impact on individual recovery than traditional breaks [Le15]. Specifically, the ART distinguishes between “directed” and “involuntary” attention. Directed attention refers to the ability to focus on tasks and ignore distractions, which requires mental effort and is linked to attention fatigue. Involuntary attention, in contrast, is effortless and linked to cognitive restoration [KB10, Ka95, Oh16]. The ART assumes that humans have a limited capacity for directed attention, which becomes exhausted with prolonged mental effort. The ART proposes that relaxing environments help restore this cognitive capacity, allowing individuals to recover from mental fatigue, with exposure to nature being particularly effective due to its aesthetic advantages [KB10, KK89].

In this paper, we bring together two strands of research that interpret and measure restoration in different ways. In particular, we distinguish between perceived restoration outcomes and actual attention restoration. Perceived restoration refers to an individual’s subjective sense of having recovered mental resources or reduced stress, typically measured through self-report instruments [Ko08, Ma20]. In contrast, actual attention restoration refers to quantifiable improvements in cognitive functioning following an intervention, often assessed through cognitive tasks or sustained attention measures [Le15]. While perceived restoration reflects how restorative an experience feels, actual attention restoration captures whether cognitive capacity has functionally improved. Previous work suggests a positive relationship between perceived restoration outcome and actual attention restoration [Gi16], assuming that an improvement in actual attention restoration increases self-reported restoration.

In many public administration settings, geographical, logistical, and temporal constraints often prevent employees from real exposure to natural environments. Alternatives, such as experiencing nature via video, also showed a positive impact on cognitive performance and restorative effects, but usually weaker than direct physical contact with nature [Ma09].

Recent research suggests VR as a promising technology to provide low-threshold access to restorative environments in a time-efficient and easily accessible way, especially in settings where natural spaces are difficult to access [AK22, VBV21, Xu24]. As proposed by recent theoretical research, we define VR in the current study as “an artificial, virtual, and viewer-centered experience in which the user is enclosed in an all-encompassing 3D space that is - at least visually - sealed off from the physical environment” [Ra22, p 13]. In the given context, VR-based nature simulations offer an alternative solution by

replicating the cognitive and psychological benefits of nature exposure within the constraints of the workplace in public administration.[AK22, BB24, Ch22]. For example, in a workplace context, Adhyaru and Kemp found in their study that a brief VR-based nature experience during the workday significantly increased positive emotional states and reduced anxiety, sadness, and physiological arousal among clinicians [AK22]. Their participants described the VR intervention as calming, enjoyable, and surprisingly effective, even those with limited prior experience with VR technology. An experiment where participants were guided along a virtual path through a forest simulation also showed greater restorativeness and higher cognitive performance versus a control environment [Mo23]. These findings suggest that VR-based nature exposure may offer a low-threshold, highly accessible intervention for supporting (perceived) attention restoration and thus improving psychological well-being and organizational outcomes in public administration work environments. According to the JD-R model, such an intervention can be seen as an additional resource that decreases the negative impact of job demands on well-being and organizational outcomes.

Based on the theoretical considerations above and the findings of prior research investigating VR-based nature interventions on attention restoration and psychological well-being, we derive the following hypotheses to be tested in the current study:

***H1:** In a public administration work environment, a VR-based nature exposure intervention increases attention restoration more than a traditional break.*

***H2:** In a public administration work environment, a VR-based nature exposure intervention increases the perceived restoration outcome more than a traditional break.*

***H3:** In a public administration work environment, increased attention restoration positively influences the perceived restoration outcome.*

***H4a:** In a public administration work environment, perceived well-being increases with increasing attention restoration through the VR-based nature exposure intervention.*

***H4b:** In a public administration work environment, perceived well-being increases with increasing perceived restoration outcomes of the VR-based nature exposure intervention.*

3 Method

3.1 Proposed Empirical Study and Research Model

To test our hypotheses, we propose a quasi-experiment that will be conducted in the Virtual Reality Laboratory of our institution. This quasi-experiment involves a pretest-posttest approach where participants will indicate their level of restoration, attention, and well-being before and after a restoration intervention. We invite public administration employees to the study, who will then either have a traditional break in a break room or a

VR-based nature experience. We finally compare the results of the pretest and posttest between the two groups, indicating the quality and the level of the restoration intervention, and the change in attention.

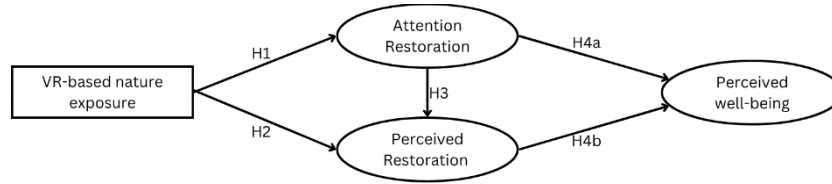


Fig. 2: Research model

3.2 Participants

Participants will be recruited from the administrative body of a university with approximately 20,000 students and more than 3,500 employees. The university is located in a city with a population exceeding 500,000 inhabitants. To determine the sample size, we conduct a power analysis for an independent group t-test using the following parameters: $\alpha = 0.05$, $d = 0.5$, and $1 - \beta = 0.80$. Accounting for an expected dropout rate of 10%, we use a final target sample size of 111 participants. The experiment will take place in the Virtual Reality Laboratory of the department. Participation time will be about 30 minutes. Participants will receive a monetary compensation of 10.00€.

3.3 Apparatus and materials

The virtual reality intervention is developed and deployed using a desktop computer running Windows 11, equipped with 16 GB RAM and an NVIDIA GeForce RTX 4080 graphics card. The VR experience is presented via a Meta Quest 3 headset, which features a resolution of 2064×2208 pixels per eye and 128 GB of onboard storage. Pretest and posttest measures are administered through TIVIAN EFS. The virtual environment is created using Unreal Engine version 5.4. Adopting prior work, we utilize a virtual forest environment as a VR-based nature experience that has shown strong restoration [Ma20]. All participants assigned to the VR group receive the same VR environment.

The break room is furnished to resemble a typical lounge used by university administration staff. It contains several chairs and a low table, with neutral-coloured walls, fluorescent ceiling lighting, and a window that allows natural daylight into the space. A coffee machine, kettle, and mineral water are available for use. The room also provides access to the university's Wi-Fi network.

3.4 Measures

Previous research on attention restoration and psychological well-being in various contexts has employed different dependent variables to measure these concepts. For the current study, we employ typical measures that have been frequently used in studies investigating similar issues [AK22, Ma20].

In particular, we measure attention restoration using the Sustained Attention to Response Task (SART), where participants respond to frequent digits (1–9) but must withhold responses when a specific target (e.g., “3”) appears [Ro97], and a simple digit span task test, where participants are asked to repeat a series of number in the same (or reversed) order as prestend, testing their attention (for a comprehensive review, see [Oh16]).

In addition, we include several self-reporting measures to assess perceived restoration outcomes and perceived well-being. Specifically, we employ a short form of the Perceived Restorativeness Scale (PRS) [Ha97] to measure the individual perceptions of the restoration quality of the VR environment; the Restoration Outcome Scale (ROS) [Ko08], measuring the perceived outcome of the restoration intervention; Visual Analog Scales (VAS), and Positive and Negative Affect Schedule (PANAS) to measure well-being in the workplace [AK22, Na17]. These scales are self-reporting measures.

The short version of the PRS includes 11 items across four dimensions: Fascination (e.g., “Places like that are fascinating,”), Being Away (e.g., “Places like that are a refuge from nuisances,”) Coherence (e.g., “There is a clear order in the physical arrangement of places like this”), and Scope (eg., “That place is large enough to allow exploration in many directions”).

The ROS includes six items: three of the items reflect relaxation and calmness (e.g., “I feel calmer after being here”), one item reflect attention restoration (“My concentration and alertness clearly increase here”), and two items reflected clearing one's thoughts (e.g., “I can forget everyday worries here”).

Momentary affective states are assessed using a set of seven VAS, adopted from previous research [Na17]. Participants are asked to indicate how they feel at the moment before and after the experiment in relation to each of the following dimensions: happiness, sadness, anger, surprise, disgust, anxiety, and quietness. Each dimension is rated on a continuous scale, allowing for sensitive measurement of subtle affective responses to the experimental conditions.

The PANAS consists of 20 items in total: 10 items for positive affect and 10 items for negative affect [WCT88]. Participants rate the extent to which they experience ten positive emotions (interested, excited, strong, enthusiastic, proud, alert, inspired, determined, attentive, active) and ten negative emotions (distressed, upset, guilty, scared, hostile, irritable, ashamed, nervous, jittery, afraid) on a 5-point Likert scale, typically ranging from “very slightly or not at all” to “extremely.”

3.5 Procedure and design

Participants are instructed to come directly from their workplace to the department's VR laboratory, without taking any extended breaks beforehand. Upon arrival, they are informed about the study and asked to read and sign the informed consent form. They are then quasi-randomly assigned to one of two treatment groups: 1) the VR Intervention Group, which receives a virtual nature experience via a VR headset, or 2) the Traditional Break Group, which spends the same amount of time in a standard break room. Following the group assignment, all participants receive standardized instructions outlining the experimental procedure. They then complete a pretest survey and the two attention tasks. Participants in the VR group are subsequently equipped with the VR headset, and the ten-minute nature-based intervention begins. During this time, participants in the traditional break group are invited to relax in the break room. They are free to use their smartphones, read, or simply relax, reflecting the informal nature of their usual work breaks. No tasks or experimental instructions are provided during this time, and the setting is designed to feel familiar and unstructured. After the intervention, all participants complete the posttest survey and repeat the attention tasks.

4 Conclusion and further progress

This work-in-progress study investigates the potential of VR-based nature exposure as a low-threshold intervention to improve subjective well-being and attention restoration among public administration employees. By integrating the Job Demands-Resources Model and Attention Restoration Theory, we examine whether virtual restorative environments can act as a compensatory resource in the context of high job demands and limited recovery opportunities. Drawing on a quasi-experimental design, the study not only compares VR-based interventions to traditional breaks but also distinguishes between perceived restoration outcomes and actual cognitive restoration effects. This approach enables an analysis of the psychological and functional impact of short, immersive interventions in real-world administrative settings.

The next step is to complete the implementation of the VR setting and conduct the experimental sessions in the laboratory. We aim to collect and analyze the data in time to present the complete study design, VR environment, and preliminary findings at the RVI conference 2025. These initial results will form the basis for further refinement of the study design and provide valuable input for ongoing discussions about digital well-being interventions in the public sector. Ultimately, the project aims to provide evidence-based recommendations on how immersive technologies can be utilized to improve well-being and resilience in public administration workplaces under increasing pressure.

Bibliography

- [AK22] Adhyaru, J. S.; Kemp, C.: Virtual reality as a tool to promote wellbeing in the workplace. In: *DIGITAL HEALTH* Bd. 8, 2022.
- [Ad19] Adam, C. et al.: *Policy Accumulation and the Democratic Responsiveness Trap*, Cambridge University Press, Cambridge, 2019.
- [Ad22] Adam, C. et al.: On democratic intelligence and failure: The vice and virtue of incrementalism under political fragmentation and policy accumulation. In: *Governance* Bd. 35, 2022, Nr. 2, S. 525–543, 2022.
- [BD05] Bakker, A. B.; Demerouti, E.; Euwema, M. C.: Job Resources Buffer the Impact of Job Demands on Burnout. In: *Journal of Occupational Health Psychology* Bd. 10, 2005, Nr. 2, S. 170–180, 2005.
- [BD07] Bakker, A. B.; Demerouti, E.: The Job Demands-Resources model: state of the art. In: *Journal of Managerial Psychology* Bd. 22, 2007, Nr. 3, S. 309–328, 2007.
- [BD17] Bakker, A. B.; Demerouti, E.: Job demands–resources theory: Taking stock and looking forward. In: *Journal of Occupational Health Psychology* Bd. 22, 2017, Nr. 3, S. 273–285, 2017.
- [BO11] Bakker, A. B.; Oerlemans, W.G.M: Subjective Well-being in Organizations. In: *The Oxford Handbook of Positive Organizational Scholarship*, Oxford University Press, Oxford, 2011.
- [BB24] Beerman, L.; Boeldt, D. L.: Innovative Frontiers: Harnessing Virtual Reality for Burnout Prevention in Highly Sensitive Individuals. In: *Journal of Technology in Behavioral Science* Bd. 9, 2024, Nr. 4, S. 886–894, 2024.
- [Ch22] Chaze, F. et al.: Virtual reality and well-being in older adults: Results from a pilot implementation of virtual reality in long-term care. In: *Journal of Rehabilitation and Assistive Technologies Engineering* Bd. 9, 2022.
- [Ca15] Capaldi, C. A. et al.: Flourishing in nature: A review of the benefits of connecting with nature and its application as a wellbeing intervention. In: *International Journal of Wellbeing* Bd. 5, 2015, Nr. 4, 2015.
- [Es17] Esteve, M. et al.: The Effects of Doing More with Less in the Public Sector: Evidence from a Large-Scale Survey. In: *Public Administration Review* Bd. 77, 2017, Nr. 4, S. 544–553, 2017.
- [Gi16] Gidlow, C. J. et al.: Where to put your best foot forward: Psycho-physiological responses to walking in natural and urban environments. In: *Journal of Environmental Psychology* Bd. 45, 2016, S. 22–29, 2016.
- [Ha97] Hartig, T.; et al.: A measure of restorative quality in environments. In: *Scandinavian Housing and Planning Research* Bd. 14, 1997, Nr. 4, S. 175–194, 1997.
- [KB10] Kaplan, S.; Berman, M. G.: Directed Attention as a Common Resource for Executive Functioning and Self-Regulation. In: *Perspectives on Psychological Science* Bd. 5, 2010, Nr. 1, S. 43–57, 2010.

-
- [KK89] Kaplan, R.; Kaplan, S.: *The experience of nature: A psychological perspective* : Cambridge university press, 1989.
- [Ka95] Kaplan, S.: The restorative benefits of nature: Toward an integrative framework. In: *Journal of Environmental Psychology, Green Psychology*. Bd. 15, 1995, Nr. 3, S. 169–182, 1995.
- [KPK21] Koch, J.; Plattfaut, R.; Kregel, I.: Looking for Talent in Times of Crisis – The Impact of the Covid-19 Pandemic on Public Sector Job Openings. In: *International Journal of Information Management Data Insights* Bd. 1, 2021, Nr. 2, 2021.
- [Ko08] Korpela, K. M. et al.: Determinants of restorative experiences in everyday favorite places. In: *Health & Place* Bd. 14, 2008, Nr. 4, S. 636–652, 2008.
- [LE23] Lenz, A. ; Eckhard, S.: Conceptualizing and Explaining Flexibility in Administrative Crisis Management: A Cross-district Analysis in Germany. In: *Journal of Public Administration Research and Theory* Bd. 33, 2023, Nr. 3, S. 485–497, 2023.
- [LSC24] Lenz, A.; Steinebach, Y.; Casula, M.: Mapping bureaucratic overload: Dynamics and drivers in media coverage across three European countries. In: *Regulation & Governance* (early view), 2024, <https://doi.org/10.1111/rego.12606>.
- [Le23] Lemmer, K. et al.: One tool to rule?—A field experimental longitudinal study on the costs and benefits of mobile device usage in public agencies. In: *Government Information Quarterly* Bd. 40, 2023, Nr. 3, 2023.
- [Lo23] Lourenço, R. P.: Government transparency: Monitoring public policy accumulation and administrative overload. In: *Government Information Quarterly* Bd. 40, 2023, Nr. 1, 2023
- [Le15] Lee, K. E. et al.: 40-second green roof views sustain attention: The role of micro-breaks in attention restoration. In: *Journal of Environmental Psychology* Bd. 42, 2015, S. 182–189, 2015.
- [Ma09] Mayer, F. S. et al.: Why Is Nature Beneficial?: The Role of Connectedness to Nature. In: *Environment and Behavior* Bd. 41, 2009, Nr. 5, S. 607–643, 2009.
- [Ma20] Mattila, O. et al.: Restoration in a virtual reality forest environment. In: *Computers in Human Behavior* Bd. 107, 2020.
- [Mo25] Montazer, S. et al.: Social Change in the Turbulent Times of the COVID-19 Pandemic: Impacts of Work-Related Demands on Work-to-Family Conflict, Mastery, and Psychological Distress. In: *Society and Mental Health* Bd. 15, 2025, Nr. 1, S. 39–56, 2025
- [Mo23] Mostajeran, F. et al.: Effects of exposure to immersive computer-generated virtual nature and control environments on affect and cognition. In: *Scientific Reports* Bd. 13 (2023), S. 220.
- [Na17] Navarro-Haro, M. V. et al.: Meditation experts try Virtual Reality Mindfulness: A pilot study evaluation of the feasibility and acceptability of Virtual Reality to facilitate mindfulness practice in people attending a Mindfulness conference. In: *PloS one* Bd. 12, USA, 2017, Nr. 11, 2017
- [Oh16] Ohly, H. et al.: Attention Restoration Theory: A systematic review of the attention

- restoration potential of exposure to natural environments. In: *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part B* Bd. 19, 2016, Nr. 7, S. 305–343, 2016
- [Ra22] Rauschnabel, P. A. et al.: What is XR? Towards a framework for augmented and virtual reality. In: *Computers in Human Behavior* Bd. 133, 2022.
- [Ro97] Robertson, I. H. et al.: Oops!': performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. In: *Neuropsychologia* Bd. 35, 1997, Nr. 6, S. 747–758, 1997
- [SB19] Schertz, K. E.; Berman, M. G.: Understanding Nature and Its Cognitive Benefits. In: *Current Directions in Psychological Science* Bd. 28, 2019, Nr. 5, S. 496–502, 2019
- [VBV21] Van Houwelingen-Snippe, J.; Ben Allouch, S.; Van Rompay, T. J. L.: Virtual Reality Representations of Nature to Improve Well-Being amongst Older Adults: a Rapid Review. In: *Journal of Technology in Behavioral Science* Bd. 6, 2021, Nr. 3, S. 464–485, 2021
- [WCT88] Watson, D.; Clark, L. A.; Tellegen, A.: Development and validation of brief measures of positive and negative affect: The PANAS scales. In: *Journal of Personality and Social Psychology* Bd. 54, 1988, Nr. 6, S. 1063–1070, 1988
- [Xu24] Xu, J. et al.: Effectiveness of Virtual Reality–Based Well-Being Interventions for Stress Reduction in Young Adults: Systematic Review. In: *JMIR Mental Health* Bd. 11, 2024, Nr. 1, 2024.
- [Zh25] Zhang, Q. et al.: The 'side effects' of digitalization: A study on role overload and job burnout of employees. In: *PLOS ONE* Bd. 20, 2025, Nr. 4, 2025

Recht und Informatik

Juridical Balancing Networks (JBNs)

Ein rechtsinformatischer Impuls für digitale Entscheidungen im Recht

David Faber  ¹

Abstract: Der Beitrag stellt JBNs vor. Dabei handelt es sich um Multi Layer Perceptrons (MLPs), die Merkmale von Entscheidungsgrundlagen als Input entgegennehmen und diese parametrisiert an einen Output Layer weitergeben, welcher Entscheidungsfolgen ausgibt. Trainiert man ein derartiges JBN auf Basis von Trainingstupeln aus Merkmalen der Entscheidungsgrundlage und Entscheidungsfolgen (menschlicher) rechtlicher Entscheidungen, wird das Netzwerk dahingehend optimiert, bestimmte Entscheidungsfolgen dann auszugeben, wenn die Merkmale der Entscheidungsgrundlage den Merkmalen entsprechen, die in den Trainingsdaten entsprechende Entscheidungsfolgen enthalten. Der Beitrag untersucht ferner die Vereinbarkeit von JBNs mit ausgewählten Anforderungen, die die Rechtswissenschaft an Entscheidungen im Recht stellt.

Keywords: Rechtsinformatik, Künstliche Neronale Netze, KNN, Maschinelles Lernen, ML, Multi Layer Perceptron, MLP, Juridicial Balancing Networks, JBN, digitale Entscheidungen im Recht

1 Einführung

Die Frage nach rechtlichen Entscheidungen durch IT-Systeme ist eine der Kernfragen der Rechtsinformatik [Kil7]. In Betracht kommen (multiparadigmische) algorithmische oder regelbasierte Lösungen sowie Techniken des maschinellen Lernens [LC23].

In der Vergangenheit wurden Logiksysteme [St24] oder Modellierungsprozesse [Go10] untersucht. Aktuell wird der Einsatz von Large Language Models (LLM), welche auf juristischer Literatur trainiert werden, diskutiert [St24]. Der Beitrag stellt JBNs als weiteren Lösungsansatz aus dem Bereich des maschinellen Lernens vor.

Hierzu wird die Funktionsweise (2) und das Training (3) eines MLP am Beispiel der Bilderkennung exemplifiziert. Danach wird ein auf Basis semantischer Elemente von Rechtsentscheidungen trainiertes MLP (4) und dessen Vereinbarkeit mit ausgewählten Anforderungen der Rechtswissenschaft an Entscheidungen im Recht (5) eruiert. Die Skizzierung von (Forschungs-)Potential und Grenzen von JBNs (6) sowie ein Fazit (7) schließen sich an.

¹ Fachanwalt für IT-Recht und GR bei Gramm, Lins & Partner, Patent- und Rechtsanwälte und Lehrbeauftragter für „Immaterialgüterrechtliche Aspekte der IT“ am Institut für Rechtsinformatik der Leibniz Universität, Hannover, faber@grammlins.de,  <https://orcid.org/0009-0009-4479-2656>.

2 MLP am Beispiel der Bilderkennung²

Bei einem MLP handelt es sich um eine bestimmte Architektur eines künstlich neuronalen Netzes. Die Architektur besteht aus einem Input-Layer und einem Output-Layer, sowie mehreren Hidden Layern. Jeder der Layer besteht aus mehreren künstlichen Neuronen, die Eingangswerte entgegennehmen und Ausgangswerte ausgeben. Die wesentliche Funktionsweise soll an einem MLP zur Bilderkennung von in weiß gezeichneten Zahlen zwischen 1 und 10 auf schwarzem Grund simplifiziert exemplifiziert werden. In den nachfolgenden Darstellungen werden die Neuronen als Kreise und die Übergabe von Werten von einem Neuron an ein anderes als Linien (Kanten) dargestellt.

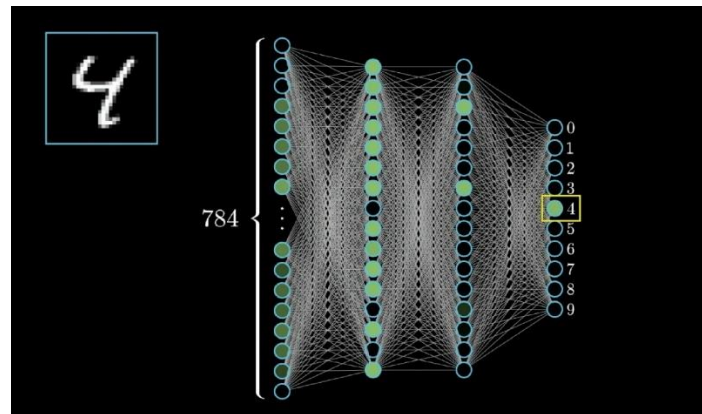


Abb 1: MLP zur Bilderkennung [Sa25].

2.1 Input Layer

Der Input-Layer besteht bei einem 28x28 Bildpixeln enthaltenden Bildschirm aus $28 \times 28 = 784$ Neuronen. Jedes dieser Neuronen kann einen Zahlenwert zwischen 0,0 und 1,0 annehmen und repräsentiert einen Pixel des Bildschirms. Die Eingangswerte der Neuronen des Input Layers sind 1,0 (Pixel entstammt Kernbereich der abgebildeten Zahl), zwischen 0,1 und 0,9 (Pixel entstammt Randbereichen der abgebildeten Zahl) oder 0,0 (Pixel entstammt Rest des Bildschirms).

2.2 Hidden Layer

Die Hidden Layer und deren Neuronen sind grundsätzlich beliebig wählbar. Vorliegend sind 2 Hidden Layer mit je 16 Neuronen vorgesehen. Jedes Neuron des ersten Hidden

² Das Beispiel entstammt: [Sa25]; Zum technischen Hintergrund: [LC23].

Layers nimmt als Eingangswert die Summe aller Ausgangswerte der Neuronen des Input Layers entgegen. Die Größe der Ausgangswerte wird dabei über den dem Wert vorangestellten Koeffizienten (Gewicht) und der dem Wert nachfolgenden Konstante (Bias) berechnet. Genauso nimmt jedes Neuron des zweiten Hidden Layers die Summe aller gewichteten Ausgangswerte der Neuronen des ersten Hidden Layers entgegen.

2.3 Output Layer

Der Output Layer besteht aus zehn Neuronen. Jedes Neuron repräsentiert eine der Zahlen von 1 bis 10. Jedes Neuron des Output Layers nimmt die Summe aller gewichteten Ausgangswerte des zweiten Hidden Layers als Eingangssignal entgegen. Dabei propagieren die Neuronen des Output Layers den Eingangswert auf einen Wertebereich zwischen 0 und 1. Bedeutet: Je größer der Eingangswert der Neuronen des Output Layers, desto näher ist der Ausgangswert der Neuronen des Output Layers an 1,0 und je kleiner der Eingangswert, desto näher ist der Ausgangswert an 0.

2.4 Funktionalität im untrainierten Zustand

Der Ausgangswert eines Neurons des Output Layers ist gewissermaßen die Summe aller gewichteten Kanten des Netztes mit welchen das Neuron des Output Layers direkt (über den vorangegangenen Layer) und indirekt (über die Layer davor) verbunden ist. Die Größe des Wertes wird dabei von den Werten der Variablen, wie sie die Neuronen des Input Layers als Eingangswert erhalten haben sowie deren Veränderung durch die Gewichte der Kanten und den Bias bestimmt. Bei den Gewichten spricht man von den Parametern des Netzwerkes. Die Anzahl an Hidden Layern und Neuronen der jeweiligen Layer determinieren wie viele Parameter den Wert der Neuronen des Output Layers bestimmen.

Nimmt im Beispiel der Ausgangswert eines Neurons des Output Layers als Folge der Berechnungen von Input Layer zum Output Layer den Wert 1,0 an, so soll dies dafür stehen, dass die dem Neuron zugewiesene Zahl am Bildschirm abgebildet war. Der Ausgabewert 0,0 eines Neurons des Output Layers steht dafür, dass diese Zahl nicht auf dem Bildschirm angezeigt wurde. Da die Parameter des Netzwerkes vor dem Training willkürlich gesetzt sind, ergeben die Eingangswerte des Input Layers zunächst willkürliche Ausgabewerte der Neuronen des Output Layers.

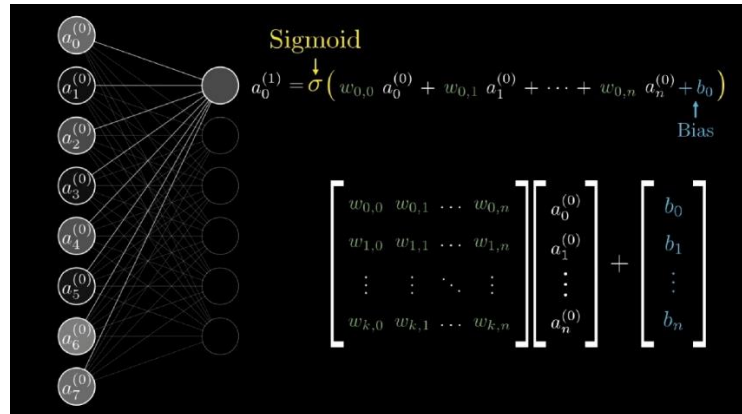


Abb. 2: Darstellung der Summe der **gewichteten** Ausgangswerte als Eingangswert eines Neurons eines Folgelayer mit **bias** und der **Propagierfunktion** [Sa25].

3 Training des MLP mittels Backpropagation³

Damit das MLP seine Aufgabe der Zahlenidentifikation effektiv erfüllen kann, müssen die veränderbaren Parameter des Netzwerks optimiert werden. Hierfür kommen insbesondere die Gewichtungen der Kanten in Betracht. Voraussetzung für die hier vorgestellte Optimierung ist eine Datenbasis, bestehend aus Datenpaaren (Tupeln). Die Datenbasis besteht im Beispiel aus Tupeln mit den Werten von Bildschirmzahlen für die Neuronen des Input Layers, denen jeweils die korrekten Ausgangswerte der Neuronen des Output Layers zugeordnet sind. Jede Tupel eignet sich für einen Trainingszyklus des MLP.

3.1 Bestimmung des Fehlersignals

Ein Trainingszyklus beginnt mit der Eingabe der Werte für ein Zahl und die Bestimmung der Abweichung der berechneten Ausgangswerte der Neuronen des Output Layers von den erwarteten Ausgangswerten. Hierfür bildet man die Summe der quadrierten Differenzen der berechneten von den erwarteten Werten. Dies nennt man das Fehlersignal.

Übergibt man dem Input Layer des MLP zur Bilderkennung die Pixelwerte einer auf dem Bildschirm abgebildeten 3, so erhöhen berechnete Ausgabewerte größer 0,0 für die Neuronen des Output Layers, welche die Zahlen 1,2,4-9 repräsentieren, das Fehlersignal. Denn von den berechneten Ergebnissen werden jeweils die erwarteten 0,0 subtrahiert. Anders herum ist das Fehlersignal umso kleiner, je näher der berechnete Wert des

³ Das Beispiel entstammt: [Sa25]; Zum technischen Hintergrund: [LC23].

Output Neurons, welches die Zahl 1 repräsentiert, an 1,0 ist. Denn von dem berechneten Ergebnis wird die erwartete 1,0 subtrahiert.

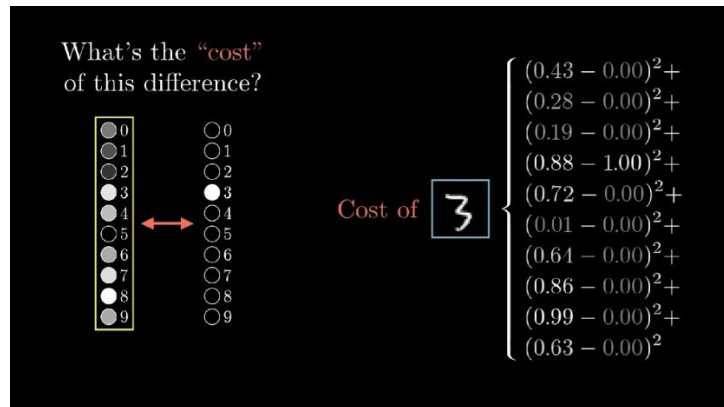


Abb. 3: Bestimmung des Fehlersignals bei Eingabe einer 3 in das untrainierte Netz [Sa25].

3.2 Minimierung des Fehlersignals

Das ermittelte Fehlersignal lässt sich als Summe aller Parameter des Netzes darstellen. Dies ist eine n -dimensionale Funktion, wobei n der Anzahl der Parameter entspricht. Die Funktion nennt man Fehlerfunktion. Läge eine Funktion mit nur wenigen Parametern vor, so könnte man das Fehlersignal minimieren, indem man über die Ableitung der Funktion deren Nullpunkt bestimmt. Bei der Anzahl an Parametern in einem MLP ist dies nicht praktikabel. Mittels des Gradientenabstiegsverfahrens lässt sich jedoch der aktuelle Betrag und die Richtung der stärksten Steigung der n -dimensionalen Funktion bestimmen. Dies nutzt man zur iterativen Verringerung des Fehlersignals. Hierzu werden schichtenweise, beginnend mit den Kanten zwischen letztem Hidden Layer und Output Layer in Richtung der Kanten zwischen Input Layer und erstem Hidden Layer, die Parameter erhöht oder herabgesetzt. Die Stärke des Gefälles wirkt sich dabei auf die Stärke der Veränderung der Parameter aus. Dies entspricht im Ergebnis einem schrittweisen Näherungsverfahren an ein Minimum der Fehlerfunktion.

Ergeben im Beispiel die Eingabewerte einer 2 im Input Layer die Ausgabewerte 0,2 des Neurons des Output Layers, dem die 2 zugewiesen ist, 0,0 des Neurons, dem die 7 zugewiesen ist und Werte zwischen 0,1 und 0,8 der übrigen Neuronen, so sind die Parameter für das die 2 repräsentierende Neuron zu erhöhen, die Parameter für das die 7 repräsentierende Neuron unverändert zu lassen und die Parameter für die übrigen Neuronen des Output Layers umso stärker herabzusetzen, je näher der berechnete Wert an 1,0 ist.

Der Vorgang wird wiederholt, bis eine weitere Anpassung der Parameter des MLP das Fehlersignal nicht mehr effektiv verringert. Damit ist ein einzelner Trainingszyklus

abgeschlossen.

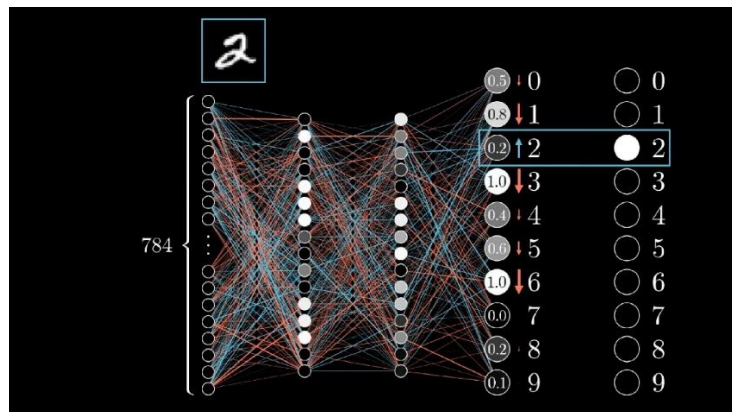


Abb. 4: Anpassung der Parameter in einem Trainingszyklus durch deren **Erhöhung** und **Verringerung**, wobei die Größe des Pfeils die Stärke der Änderung visualisiert [Sa25].

3.3 Funktionalität im trainierten Zustand

Der Trainingsvorgang kann mit der gesamten Menge der zur Verfügung stehenden Tupeln wiederholt werden. Bei jedem Zyklus werden die Parameter des Netzes dahingehend optimiert, dass bei den Eingabewerten einer Zahl im Input Layer nur der Ausgabewert des diese Zahl repräsentierenden Neurons des Output Layers einen an 1,0 angenäherten Wert ausgibt, während die Ausgabewerte der übrigen Neuronen des Output Layers einen der 0,0 angenäherten Wert ausgeben.

Ist die Anzahl der Parameter effektiv und effizient gewählt und die Datenbasis kohärent und repräsentativ, so produziert ein trainiertes MLP aussagekräftige Ausgabewerte des Output Layers.

Dabei ist zu beachten, dass die Funktionsweise des trainierten MLP diskriminativ und nicht generativ ist. Es klassifiziert bekannte Informationen. Im Beispiel generiert das MLP für andere Zahlen als 0-9 keinen brauchbaren Output.

Zugleich funktioniert das trainierte MLP deterministisch. Das trainierte System gibt bei identischer Eingabe stets dieselbe Ausgabe aus.

4 JBNs als Substitut für digitale Entscheidungen im Recht

Vor diesem technischen Hintergrund kommen juristische Wertungsnetzwerke (JWN=JBN) für digitale Entscheidung im Recht in Betracht. Hierzu nutzt man ein MLP, welches zur Entgegennahme und Ausgabe semantischer Elemente juristischer

Informationen konzipiert und trainiert wird.

Der Input Layer des JBN setzt sich aus einer Mehrzahl von Neuronen zusammen, denen jeweils ein Merkmal der Entscheidungsgrundlage als Bedeutungsgehalt zugeordnet ist. Die Anzahl der Neuronen wird determiniert durch die Anzahl an Merkmalen, welche man für die Netzeingabe nutzen möchte.

Die Hidden Layer bestehen aus einem oder mehreren Layern mit jeweils einer Mehrzahl an Neuronen. Die Anzahl an Layern und Neuronen ist frei wählbar.

Der Output Layer setzt sich aus einer Mehrzahl von Neuronen zusammen, denen jeweils eine Entscheidungsfolge als Bedeutungsgehalt zugeordnet ist. Die Anzahl der Neuronen wird determiniert durch die Anzahl an Entscheidungsfolgen, welches das Netzwerk ausgeben können soll.

Die Hidden Layer verbinden über gewichtete Kanten den Input Layer mit dem Output Layer.

4.1 Datenbasis des JBN

Als Datenquelle für die Trainingstupeln eignen sich Rechtsquellen und juristische Literatur, die Sachverhaltsangaben und Entscheidungsergebnisse enthalten [St24]. Teilweise wird den zur Verfügung stehenden Daten die Eignung für maschinelles Lernen mangels kohärenter Struktur abgesprochen [DS19]. Darin liegt aber auch eine Forschungsfrage, deren qualitativer Beantwortung es empirischer Untersuchungen von JBNs bedarf.

Nach der gegebenen Konzeption enthalten die Tupeln der Datenbasis als Eingabewerte des Input Layers die Merkmale der Entscheidungsgrundlage. Hierfür eignen sich primär die Tatsachen, die einer Entscheidung zugrunde lagen. Alternativ kommen auch die Tatbestandsvoraussetzungen der Rechtsnormen in Betracht, die für die Entscheidung erheblich waren. Als erwartete Ausgabewerte des Output Layers enthalten die Tupeln die Entscheidungsfolgen der jeweiligen Entscheidung. Hierfür kann auf die Rechtsfolgen der Rechtsnormen abgestellt werden, auf welche sich die Entscheidung stützt oder, hier präferiert, der tenorierte Rechtsfolgenausspruch.

Die Tatsachen und Rechtsfolgen der Tupeln können als Zahlenwerte, z.B. Arrays oder Vektoren, codiert werden [DS19]. Das Strukturieren (Labeln) von Daten kann automatisiert,⁴ aber auch computergestützt oder menschlich erfolgen [Kul4].

4.2 Training des JBN

Zur Bestimmung und Minimierung des Fehlersignals können die Merkmale der

⁴ Z.B. mittels der Auswertung von Urteilen durch Large Language Models.

Entscheidungsgrundlage aus der Datenbasis dem Input Layer als Eingabewerte übergeben werden. Durch Abgleich der berechneten Ausgabewerte des die Entscheidungsfolgen repräsentierenden Output Layers mit den erwarteten Ausgabewerten, kann das Fehlersignal bestimmt werden. Das konkrete Fehlersignal kann sodann durch Anpassung der Parameter entsprechend des Betrags und der Richtung der stärksten Steigung sukzessiv minimiert werden. Durch wiederholte Trainingszyklen mit der Menge der zur Verfügung stehenden Tupeln der Datenbasis wird das JBN dabei optimiert bestimmte Entscheidungsfolgen dann auszugeben, wenn die Merkmale der Entscheidungsgrundlage den Merkmalen entsprechen, bei welchen die (menschlichen) Entscheidungen der Datenbasis die Entscheidungsfolgen enthalten.

5 JBNs und Anforderungen an rechtliche Entscheidungen

Aus Perspektive der Rechtsinformatik muss sich ein digitales Substitut für Entscheidungen im Recht an den Maßstäben messen lassen, welche die Rechtswissenschaft, insbesondere die Rechtslehre und die Rechtsethik an Entscheidungen im Recht stellt. Nur dann können Entscheidungen des JBN als Recht im Sinne der Jurisprudenz Geltung beanspruchen.

5.1 Rechtslogische Anforderungen

Rechtliche Entscheidungen bedienen sich logisch primär dem aus Obersatz, Untersatz und Conclusio bestehenden Syllogismus [RFB25]. Während der Obersatz die rechtliche Präskription enthält, ist der Untersatz deskriptiv und bildet sich aus dem unstreitigen bzw. zur richterlichen Überzeugung feststehenden Tatbestand, auf welche der Entscheidungsträger seine Conclusio stützt [RFB25].

Das JBN steht hierzu nicht in zwangsläufigem Widerspruch. Zwar arbeitet das JBN ohne die Präskriptionen des Obersatzes, wenn es mit Tatsachen arbeitet. Es berechnet die Entscheidungsfolgen also nur aus den Deskriptionen des Untersatzes. Da die Tatsachen in der Datenbasis aber bereits einmal (menschlich) unter die Norm subsumiert wurden, könnte man die späteren Rechtsfolgenausgaben als Wiederholungen dieser dreischrittigen Conclusio werten. Der diskriminative Charakter des Systems könnte dabei sicherstellen, dass Zusammenhänge zwischen den Merkmalen der Entscheidungsgrundlage und den Entscheidungsfolgen sich im Rahmen der syllogistischen Schlüsse der Datenbasis halten.

5.2 Rechtsmethodische Anforderungen

Die im Privatrecht wohl vorherrschende Methode zur rechtlichen Entscheidung ist die Wertungsjurisprudenz [Ha16]. Der Ansatz geht davon aus, dass jeder rechtlichen Entscheidung die gesetzgeberische Bewertung der Interessen zugrunde liegt, welche in

Bezug auf den Lebenssachverhalt bestehen, der von den für die Entscheidung relevanten Rechtsnormen erfasst ist [Ha16].

Das JBN könnte mit diesem Ansatz vereinbar sein. Diese Einschätzung unterstellt, dass die rechtlichen Entscheidungen der Datenbasis Entscheidungsfolgen enthalten, welche vertretbare Gewichtungen der Interessen zum Ausdruck bringen, die in Bezug auf die Merkmale der Entscheidungsgrundlage tangiert waren. Dass die Entscheidungen der Datenbasis also so getroffen wurden, wie es die Wertungsjurisprudenz fordert. Ist dies der Fall, werden die Parameter des JBN auf die Ausgabe von Entscheidungsfolgen entsprechend dieser Interessenbewertungen optimiert. Die Parameter des Netzwerkes können somit als indirekte Repräsentation der in den Entscheidungen enthaltenen Interessenbewertungen aufgefasst werden.

Greifbar wird dies bei einem Gedankenexperiment, bei dem man die Anzahl der Parameter so wählt, dass sie der Anzahl der in den Entscheidungen der Datenbasis enthaltenen Interessen entspricht. Ein Parameter eines trainierten Netzes ist so austariert, dass er dann einen besonders hohen Einfluss auf die Ausgabe einer bestimmten Entscheidungsfolge hat, wenn die Merkmale der Entscheidungsgrundlage den Merkmalen entsprechen, welche in der Datenbasis zu entsprechenden Entscheidungsfolgen geführt haben. Repräsentiert jeder Parameter ein Interesse, erhält jedes Interesse durch das Training implizit ein Gewicht, das sich beim Vorliegen bestimmter Merkmale der Entscheidungsgrundlage gegenüber Interessen mit „geringerem“ Gewicht durchsetzt, und damit eine bestimmte Entscheidungsfolge (zusammen mit anderen relevanten Interessen) determiniert. Es kann dabei nicht aktiv entschieden werden, welcher Parameter welches Interesse widerspiegelt; aber es liegt in der technischen Eigenheit des Trainings, dass sich eine kohärente Gewichtung der Parameter entsprechend der Trainingsdaten einstellt.

5.3 Weitere Anforderungen

Weitere Anforderungen, die die Rechtswissenschaft an das Recht und damit auch an rechtliche Entscheidungen stellt, ist ein Mindestmaß an freiwilliger Befolgung durch die, eine öffentliche Regelkommunikation gegenüber den und eine materielle Mindestübereinstimmung mit der moralischen Grundhaltung der Rechtsunterworfenen; ferner eine über Verfahrensregeln abgesicherte formal gleiche Geltung [Sc05].

Die Frage nach der freiwilligen Befolgung von Entscheidungen durch JBNs ist eine rechtssoziologische Frage. Es ist aber anzunehmen, dass eine Akzeptanz stark mit dem Verständnis der Funktionsweise eines JBN korreliert, welches wiederum durch den Stand der Forschung an JBNs determiniert wird.

Die Black Box Problematik, die einer konkreten Nachvollziehbarkeit einzelner Entscheidungen des JBN entgegensteht, stellt die Transparenz [Eb20] und damit die rechtstheoretische Eignung des Systems mangels hinreichender Regelkommunikation in Frage [St24]. Allerdings wird die Transparenz von Entscheidungen primär von deren

Begründung geprägt, die nicht identisch mit der Entscheidung ist [Sc10]. Damit ist offen, ob Probleme der Transparenz durch Komplementärsysteme gelöst werden können.

Maßstab für eine hinreichende Übereinstimmung mit der moralischen Grundhaltung der Rechtsunterworfenen durch JBN-Entscheidungen ist deren Vertretbarkeit [St24], die Einhaltung von Gerechtigkeitsprämissen [RFB25] und die Anpassbarkeit an die sich dynamisch ändernde moralische Grundhaltung [RFB25].

Da das trainierte JBN deterministisch arbeitet, produziert es Entscheidungen im Rahmen des Vertretbarkeitskorridors, solange die Trainingsdaten aus kohärenten vertretbaren Entscheidungen gebildet werden. Gleichzeitig perpetuieren sich im System Vertretbarkeitsdefizite der (menschlichen) Datenbasis [Ni21].

Aus der deterministischen Funktionsweise des trainierten JBN folgt, dass – an den Merkmalen des Input Layers gemessene – gleiche Lebenssachverhalte gleich entschieden werden. Insoweit indiziert die Funktionsweise eine Vereinbarkeit mit den egalitären Gerechtigkeitstheorien [RFB25].

Auf Grund der Skalierbarkeit sind Effizienzsteigerungen durch den Einsatz von JBNs in der Justiz denkbar. Dies würde von den auf Effizienzkriterien basierenden Gerechtigkeits-theorien getragen [RFB25].

Die Anpassbarkeit ist ebenfalls nicht unproblematisch, betrifft aber wohl primär Fragen der Praktikabilität, da Rollbacks oder Posttrainings technisch möglich sind. Ebenso ist die formal gleichen Geltung sowie den Verfahrensregeln zur Erzeugung einer Entscheidung durch ein JBN eine Frage der konkreten Implementierung.

6 (Forschungs-)Potential und Grenzen

Ein Vorteil von JBNs gegenüber LLMs ist, dass diese auf Zusammenhänge zwischen Entscheidungsgrundlagen und -folgen und nicht Tokens der natürlichen Sprache trainiert werden; das JBN bildet dadurch die Funktionsweise einer Entscheidung unmittelbarer ab als ein LLM. Regelbasierten Systemen gegenüber bergen JBNs ein höheres Maß an Flexibilität hinsichtlich Kombinationen der Merkmale neuer Entscheidungsgrundlagen.

JBNs könnten in der Rechtspraxis zur autonomen oder computergestützten Generierung von Entscheidungen eingesetzt werden, um die Justiz zu entlasten [SW24]. Durch das Training verschiedener JBNs mit Trainingsdaten unterschiedlicher Rechtsordnungen könnten zudem Vergleichssysteme geschaffen werden, in deren jeweiligen Parametern der Netze sich rechtskulturelle Eigenheiten indirekt widerspiegeln. Auf Basis dieser könnte rechtsvergleichend analysiert werden, welche Lebenssachverhalte bi-, multi- oder international homogen entschieden werden und wo lokale/regionale Unterschiede ausgeprägt sind. Dies könnte rechtsvergleichend genutzt werden.⁵ Rechtspolitisch böte

⁵ Z.B. im IPR für Rückschlüsse auf den internationalen Entscheidungseinklang.

es eine empirische Basis für grenzüberschreitende Rechtsetzungsbestrebungen.

Daneben wirft die gewählte Konstruktion des JBN Folgefragen auf. Ist es möglich die Anzahl an Parametern entsprechend der Anzahl an Interessen, welche die Datenbasis enthält oder die im Recht anerkannt sind⁶, zu wählen, um eine unmittelbare Repräsentation der Interessen zu gestatten? Oder steht dies einer praktikablen Funktionsweise des JBN entgegen? In Bezug auf die Komplexität von Entscheidungen im Recht stellt sich die Frage, ob man komplexe Entscheidungen in triviale Entscheidungen zerlegen kann und JBNs dergestalt konkateniert, dass die Entscheidungsfolge eines JBN als Merkmal der Entscheidungsgrundlage eines weiteren JBN genutzt werden kann. Mit Blick auf den diskriminativen Charakter ist ferner von Interesse, ob die funktionalen Grenzen des Systems hin zu generativen Entscheidungen erweitert werden können; etwa durch die Einbindung von Attentionblöcken[Va23], Diffusionsblöcke[Li24] oder die Nutzung von Pseudo-Zufallsschaltneuronen [Ro17].

Die Grenze der Aussagekraft und damit Nützlichkeit eines JBN wird primär von der Kohärenz der Datenbasis determiniert. Enthält die Datenbasis viele Entscheidungen, welche bei Vorliegen derselben Merkmale der Entscheidungsgrundlage unterschiedliche oder kontradiktorische Entscheidungsfolgen beinhaltet, so wird das JBN auch nach dem Training keine aussagekräftige Klassifikation vornehmen können. Als Folge könnte der Nutzen auf stark standardisierte Rechtsbereiche beschränkt sein [St24]. Andererseits sind Konstellationen denkbar, in denen bereits die Identifikation der fehlenden Kohärenz von Entscheidungen einen Erkenntnisgewinn darstellt.⁷

Ein mit der Kohärenz der Datenbasis eng verflochtenes Problem ist die praktikable Wahl von Anzahl und Kategorisierung der Merkmale der Entscheidungsgrundlage und der Entscheidungsfolgen. Im Input Layer nicht angelegte Merkmale können nicht an das JBN übergeben werden. Die Wahl von Tatsachen für den Input Layer gegenüber der Nutzung von rechtlichen Tatbestandsvoraussetzungen, birgt aber zumindest den Vorteil, dass man eine Verlagerung des rechtstheoretischen Problems der Klassifikation- oder Typologisierung von Rechtsbegriffen [Se25] auf den Input Layer zumindest abmildert.⁸

Genauso kann das JBN auch nur die im Output Layer angelegten Entscheidungsfolgen ausgeben. In den Grenzen kommt der diskriminative Charakter des JBN zum tragen. Für originäre Präjudizien, Overruling oder Distinguishing ist das JBN nicht geeignet.

7 Fazit

JBNs scheinen vordergründig als digitales Substitut für rechtliche Entscheidungen möglich. Fraglich bleibt, ob die dargestellten Vorteile des JBN sowie dessen partielle

⁶ z.B. Grundrechte.

⁷ Z.B. Analyse unterinstanzlicher Urteile zur Identifikation heterogener Rechtsprechungstendenzen.

⁸ Z.B. *venire contra factum proprium*: A sagt x und tut die Negation von x lässt sich präziser kategorisieren als ein Verstoß gegen Treu und Glaube, § 242 BGB.

Vereinbarkeit mit rechtstheoretischen Vorgaben einer vertieften wissenschaftlichen Auseinandersetzung standhält und die angerissenen Nachteile praktikablen Lösungen zugeführt werden können. Die Beantwortung obliegt zuvörderst der Rechtsinformatik.

Bibliography

- [DS19] Dreyer, Stephan/Schmees, Johannes: Künstliche Intelligenz als Richter? Wo keine Trainingsdaten, da kein Richter – [...], CR 2019, 758-764.
- [Eb20] Ebers, Martin/Heinze, Christian/Krügel, Tina/Steinrötter, Björn (Hrsg.), Künstliche Intelligenz und Robotik, München 2020.
- [Go10] Gordon, Thomas, Juristische Argumentation als Modellierungsprozess, Informatik in Recht und Verwaltung: Gestern - Heute – Morgen, GI (RVI), Bonn 2010, S. 104-110.
- [Ha16] Haferkamp, Hans-Peter: Richter, Gesetz und juristische Methode in der Wertungsjurisprudenz, ZfPW 2016, 319-334.
- [Ki17] Kilian, Wolfgang: Ideen und Wirklichkeit der Rechtsinformatik in Deutschland, CR 2017, 202-212.
- [Ku14] Kulesza et. al., Structured Labeling to Facilitate Concept Evolution in ML, 2014, <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2556288.2557238> (Abruf: 30.06.2025).
- [LC23] Lemmel, Uwe/Cleve, Jürgen: Künstliche Intelligenz – Wissensverarbeitung – Neuronale Netze, 6. Auflage, München 2023.
- [Ni21] Nink, David, Justiz und Algorithmen, Über Schwächen menschlicher Entscheidungsfindung und [...], 1. Auflage, Berlin 2021.
- [RFB25] Rüthers/Fischer/Birk, Rechtstheorie mit Juristischer Methodenlehre, 13. Auflage, München 2025.
- [Ro17] Ronnenberg, Künstliches neuronales Netz und Verfahren hierzu, DE_102017126846_A1, 2017.
- [Sa25] Sanderson, Grant, Neuronal Networks, and the math behind how they learn, 2025: <https://www.3blue1brown.com/lessons/neural-networks> (Abruf: 30.06.2025).
- [Sc05] Schünemann, Bernd: Savignys Rechtsbegriff- von ehigestern und von übermorgen?, in: *Schünemann* (Hrsg.), Gerechtigkeitswissenschaft: FS Philipps, Berlin 2005, S. 163-176.
- [Sc10] Schneider, Jochen: Reflexion und Ausblick [...], Informatik in Recht und Verwaltung: Gestern - Heute - Morgen. GI (RVI), Bonn 2010, S. 37-52.
- [Se25] Seiwerth, Typisierter Schutz in Gesetz und Urteil, Tübingen, 2025.
- [St24] Steinrötter Björn: Stochastische Rechtsanwendung, in: *Hähnchen* (Hrsg.), Juristische Methodenlehre und Digitalisierung, Potsdam 2024, S. 9-36.
- [SW24] Steinrötter/Warmuth in: Hoeren/Sieber/Holznagel MMR-HdB, München 2024.

- [Va23] Vasvani et al., Attention is All You Need, 2023, <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.03762> (Abruf: 30.06.2025).
- [Ya24] Yang, Lin et. al., Diffusion Models: A Comprehensive Survey of Methods and Applications, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2209.00796> (Abruf: 30.06.2025).

GerLeRB - German Legislative Retrieval Benchmark

Malte Weber ¹, Balaramakrishna Paritala ², Abhilash Reddy Rechu ³, Leila Feddoul ⁴, Suresh Kumar Bonagiri ⁵, Norman Klewer ⁶,
Pirmin Mathias Karg ⁷, Christoph Unger ⁸, Marianne Mauch ⁹ and Birgitta König-Ries ¹⁰

Abstract: We present GerLeRB, a gold-standard benchmark for legal information retrieval over German legislation. The corpus comprises 367 natural-language queries paired with at least one relevant statutory paragraph selected from 90,798 law paragraphs. Queries are automatically generated with GPT-4.1 from court-decision contexts and then verified by legal experts in a human-in-the-loop process to ensure semantic and legal correctness. The final release follows Text REtrieval Conference formatting (corpus, topics, qrels) and supports document- and paragraph-level retrieval evaluation. We demonstrate the usage of GerLeRB by evaluating the effectiveness of an information retrieval pipeline using our dataset.

Keywords: legal information retrieval, benchmark, evaluation, dataset, German law

¹ University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, malte.weber@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0009-0006-7849-7864>;

² University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, balaramakrishna.paritala@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0000-0001-8512-1247>;

³ University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, abhilash.reddy.rechu@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0009-0000-2066-8460>;

⁴ University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, leila.feddoul@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0000-0001-8896-8208>;

⁵ University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, suresh.kumar.bonagiri@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0009-0004-6275-0648>;

⁶ University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, norman.klewer@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0009-0000-9755-8892>;

⁷ University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, pirmin.mathias.karg@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0009-0008-5711-5390>;

⁸ Bielefeld University, Linguistics and Literature, Universitätsstrasse 25 D-33615 Bielefeld, Germany, christoph.unger@uni-bielefeld.de,  <https://orcid.org/0000-0002-3187-8719>

⁹ University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, marianne.mauch@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0000-0003-1478-1867>;

¹⁰ University of Jena, Department of computer science, Leutragraben 1 D-07743 Jena, Germany, birgitta.koenig-ries@uni-jena.de,  <https://orcid.org/0000-0002-2382-9722>

1 Introduction

Legal information retrieval is critical in enhancing access to justice by enabling individuals, lawyers, and institutions to efficiently find relevant legal materials such as statutes, case law, regulations, and legal commentaries. Eventually, it is planned to use this dataset for the development of software for use by interested public administrations. See [Ma24] for a use case description in public administration. However, there is a noticeable gap in high-quality, standardized benchmarks for evaluating retrieval systems tailored to the German legal domain. Therefore, we introduce GerLeRB (German Legislative Retrieval Benchmark), a gold standard dataset designed to evaluate information retrieval systems over German legislation. GerLeRB comprises 367 natural-language queries linked to one relevant statutory paragraph from a collection of 90,798 law paragraphs. The queries were generated using GPT-4.1 based on contexts extracted from public court decisions and rigorously verified by legal experts to ensure semantic accuracy and legal validity. Structured in the widely adopted Text REtrieval Conference formatting (TREC) format, the dataset enables the evaluation of systems that either retrieve paragraphs or documents. In this paper, we detail the GerLeRB creation process, highlight its potential utility in legal information retrieval, and demonstrate its usefulness through baseline retrieval experiments using the BM25 [Am18] algorithm and neural reranking methods [PNL21]. By providing this validated benchmark, we aim to foster advancements in Legal Tech solutions and allow more effective, precise, and accessible retrieval of German legislative information. The code for creating the dataset running the experiments and the dataset itself are published at Zenodo^{11,12}.

2 Related Work

Using technology to support the legal domain (Legal Tech) has gained importance in recent years [Sa21]. Many studies focused on answering questions about legal documents [APJ23; Gi23]. We consider works on extractive legal Question Answering (QA) (extracting a span of text that answers the user’s question) to be the most relevant to our task definition and thus take a deeper look at evaluation datasets used in this context.

2.1 German datasets

GerLayQA¹³ [BH24] is a German dataset consisting of questions from laypeople about legal concerns and answers from real lawyers collected from Frag-einen-Anwalt.de¹⁴. The dataset contains 21,538 question-answer pairs together with the relevant law paragraphs.

¹¹ <https://doi.org/10.5281/zenodo.15800967>

¹² <https://doi.org/10.5281/zenodo.15745124>

¹³ <https://github.com/trusthlt/eac124-german-legal-questions> (Apache-2.0)

¹⁴ frag-einen-anwalt.de

It includes only answers with a 3/5 rating that explicitly reference legal paragraphs to ensure dataset quality. Answers referring to outdated or modified laws were excluded.

GerDaLIR¹⁵ [WK21] is a German dataset for evaluating legal information retrieval systems, especially in the document classification task. It consists of queries (122,975) and the corresponding lists of relevant documents that were automatically generated using Open Legal Data6 as a data source. Queries are text passages that include one or more references to cases, and the latter are the corresponding relevant documents.

LegalQuAD¹⁶ [Ho21] contains 200 question-answer pairs manually created from German legal documents¹⁷. Most questions focus on asking about legal references, e.g., law paragraphs.

2.2 Other Languages

ResPubliQA 2010 collection¹⁸ [Pe10] is a multilingual dataset to answer questions about European legislation. It consists of 200 questions in eight languages (Basque, English, French, German, Italian, Portuguese, Romanian, and Spanish), with answers extracted from two parallel legal corpora: JRC-Acquis¹⁹ and EUROPARL²⁰. The dataset includes more than 10,700 aligned legal documents per language. The question-answer pairs were created using automatic methods and expert verification to ensure accuracy.

COLIEE Statute Law QA and IR (Tasks 3 and 4) [Go24] comprise a bilingual JapaneseEnglish dataset based on questions from the official Japanese bar exam and articles from the Japanese Civil Code. The dataset contains 996 training questions and 100 (Task 3) / 101 (Task 4) test questions. All questions and links to statute were created manually and verified by legal experts.

PrivacyQA²¹ [Ra19] is an English-language dataset focused on understanding privacy policy. It contains 1,750 questions generated by crowdworkers based on application metadata (not the policy text itself), and 3,500+ answers annotated and verified by legal professionals. The questions relate to 35 mobile applications from the Google Play Store.

Chinese Judicial Reading Comprehension (CJRC) [Du19] is a large-scale Chinese dataset designed for machine reading comprehension. It contains around 10,000 court judgment documents from the China Judgments Online platform, from which legal experts derived 50,000 question-answer pairs. These include span-based, yes/no, and unanswerable types across civil and criminal cases.

¹⁵ <https://github.com/lavis-nlp/GerDaLIR?tab=readme-ov-file> (MIT)

¹⁶ https://github.com/Christoph911/AIKE2021_Appendix (no license)

¹⁷ <https://de.openlegaldata.io/>

¹⁸ <https://nlp.uned.es/clef-qa/repository/pastCampaigns.php> (CC BY-NC-SA 4.0)

¹⁹ https://wt-public.emm4u.eu/Acquis/index_2.2.html

²⁰ <http://www.europarl.europa.eu/>

²¹ https://github.com/AbhilashaRavichander/PrivacyQA_EMNLP, (MIT)

ShARC²² [Sa18] is an English-language dataset for conversational QA on natural language rules. Rule texts and questions were collected from public government websites, focusing on welfare and benefits eligibility. The dataset includes 948 rule texts, 5,100 scenarios, and 32,436 utterances. Q&A data were generated by crowdworkers using templates and verified for quality and consistency.

We notice that most of the existing datasets are in languages other than German. The few German legal datasets are either manually created [Ho21], collected from public sources [BH24], or automatically generated without quality check [WK21].

3 Dataset Creation

The creation of benchmark datasets in the field of information retrieval has traditionally been based on the collection of relevance judgments. In this process, numerous documents are first retrieved for various queries using a basic retrieval method and are then manually evaluated for their relevance to the query. However, this procedure is extremely labour-intensive and costly in the legal context due to the necessity of specialized legal expertise. To address these challenges, we use a semi-automated approach, that combines algorithmic processes with human validation (human-in-the-loop). The dataset creation workflow consists of the following steps:

1. Public court decisions were first downloaded from <https://www.rechtsprechung-iminternet.de/>²³ in XML format. The relevant legal paragraphs are stated on this site in a machine-readable manner. The corpus of all legal paragraphs was created by crawling the site <https://www.gesetze-im-internet.de/>²⁴.
2. Machine-readable legal paragraphs were automatically extracted from the decisions.
3. These legal paragraphs, together with the respective context of the judgment, were passed to the GPT-4.1²⁵ language model [Op24] using the API provided by OpenAI. Using targeted prompt techniques, GPT-4.1 generated plausible search queries for which the respective legal paragraph constitutes a relevant document. The prompt for the query generation can be found in Appendix 1.
4. The automatically created queries were then reviewed and validated by two law students for their content consistency and quality regarding the respective legal paragraph.

In the following, we provide more details about the last validation step. Two legal experts were presented with the generated queries along with the relevant suggested paragraph. To validate the generated entry, the key question to answer is: can the lawyer answer the

²² <https://sharc-data.github.io/data.html> (CC BY-SA 3.0)

²³ From the website: "The decisions are available in all offered formats for free use and reuse."

²⁴ From the website: "The legal norms in German are available in all offered formats for free use and further use."

²⁵ ModelID: gpt-4.1-2025-04-14

question posed with the proposed legal paragraph? If this was the case, the option “suitable” was selected; otherwise “unsuitable” (passend) was selected. In cases of doubt, “unsuitable” (unpassend) should always be selected. There was also the option of labeling the query with the “No conclusion possible” (keine Aussage möglich). Queries with this label were disregarded for the final dataset. We used a self-hosted instance of the annotation tool doccano [Na18] for carrying out the annotations (Figure 3.1).

Passend p Unpassend u Keine Aussage Möglich k

QUERY
Darf ein Gericht bei der Beweiswürdigung auf Statistiken zurückgreifen, die nicht Bestandteil der Hauptverhandlung waren?

PARAGRAPH
§ 261 StPO https://www.gesetze-im-internet.de/stpo/_261.html

Fig. 1 User interface where the queries were presented to the annotators.

The annotator’s decision-making process is illustrated in the following example:

The following query is given: *Darf ein Gericht bei der Beweiswürdigung auf Statistiken zurückgreifen, die nicht Bestandteil der Hauptverhandlung waren?*

The proposed legal paragraph is §261 StPO, which reads as follows: *Über das Ergebnis der Beweisaufnahme entscheidet das Gericht nach seiner freien, aus dem Inbegriff der Verhandlung geschöpften Überzeugung.*

The law does not directly answer whether statistics may be used as in the query. However, a lawyer can conclude the following from the wording: When deciding whether a person is guilty and what punishment or measure, if any, is to be imposed, the court may only take into account the information it has received during the main hearing in accordance with certain rules of evidence prescribed by law. These rules are called ‘strict evidence’. This means that not just anything that becomes known during the proceedings may be used as the basis for the judgment.

Only certain types of evidence are admissible. This includes what the defendant himself says about the crime. The court may also take statements from witnesses, i.e. people who can say something important about the case because they have seen or heard something. The opinions of experts, for example medical or technical experts, may also be considered. Official documents, for example certificates, and things that can be viewed directly, such as crime scene photos or objects, may also be included in the decision.

To answer the initial question, the statistics were not introduced as evidence and therefore may not form the basis of the judgment. As a result, the legal paragraph is suitable for providing an answer to the question and has been marked as ‘suitable’. In total, 367 of 511 original queries have been marked as valid by both annotators, meaning that from their perspective, the given law paragraph answers the given query. Table 1 shows the distribution of the annotation type per annotator. The label “No conclusion possible” is

omitted, since queries with it have been sorted out before.

Annotator 1 \ Annotator 2	suitable	unsuitable
suitable	367	63
unsuitable	53	27

Tab. 1: The distribution of the annotation type per annotator.
This also shows the agreement between the two annotators.

The dataset of queries with relevance judgments consists of all queries that have been labeled by both annotators as suitable. If at least one of the annotators labeled a query as unsuitable or "no conclusion possible", the query was not added to the dataset.

4 Dataset Description

The final dataset consists of 367 queries (natural language questions), each with one relevant law paragraph. The corpus for retrieval consists of 90,798 individual paragraphs from the German legislation. It is published in TREC data format. TREC defines several standard data files used in information retrieval evaluation: document collection (corpus), topics (queries), relevance judgments (qrels), and system runs. In the following, we give an overview about the format of each of those files:

4.1 Document Collection

Documents are stored in plain text. Each document is enclosed in:

```
<DOC>
  <DOCNO>docID</DOCNO>
  <TEXT>...document body...</TEXT>
</DOC>
```

Here, DOCNO is a unique identifier. Other fields (e.g., AUTHOR, BIB) may be included but are optional. The corpus is a concatenation of such document entries.

4.2 Topics (Queries)

The topics are given in a two column, whitespace-separated format, containing only the columns id and query. The structure is shown in Tab. 2.

qid	query
206	Kann die Ablehnung der Annahme einer Verfassungsbeschwerde ohne Begründung erfolgen?
207	Wann muss der Arbeitgeber den Betriebsrat bei einer neuen Zuordnung von Mitarbeitern zu einer Entgeltgruppe informieren?
...	...

Tab. 2: Excerpt from the queries file.

4.3 Qrels (Relevance Judgements)

Relevance judgments⁹ are provided in a simple four column, whitespace-separated format, which is shown Tab. 3.

qid	iteration	docno	label
206	0	93d_bverfgg	1
207	0	99_betrvg	1
...	...	...	...

Tab. 3 Excerpt from the relevance judgments file.

5 Experiments

The dataset contains questions with relevant paragraphs from 58 different German law books. The experiment aims to retrieve relevant documents based on user queries using retrieval pipelines built with PyTerrier [Ma21] and evaluate the results using the GerLeRB dataset. A ranking model, BM25 [Am18], is applied for the initial retrieval of the top documents for each query. MonoT5 [PNL21] and DuoT5 [PNL21] are T5 model-based neural rerankers, designed to rerank the list of retrieval documents using a semantic relevance based on the query. To evaluate the effectiveness of the multi-stage retrieval system, PyTerrier’s `pt.Experiment()` [MT20] framework is used. This framework allows the evaluation of retrieval models using TREC like evaluation datasets and standard information retrieval metrics such as Precision, normalized Discounted Cumulative Gain (nDCG), and Mean Reciprocal Rank (MRR).

Precision [DD18] measures the fraction of number of correct relevant documents retrieved by the system to the total number of documents retrieved for a given set of queries. Precision@k [SD11] measures the proportion of relevant documents among top-k ranked retrieved documents. We chose this metric because it is independent of the order of the top-10 results, accounting for the fact that there might be other relevant paragraphs in the

corpus that are not marked as such in the dataset.

Discounted Cumulative Gain rewards placing highly relevant documents at top ranks using graded relevance scores and discounts results that appear lower in the ranked list. Normalized Discounted Cumulative Gain (nDCG) [Ro01] normalizes the discounted cumulative gain with ideal discounted cumulative gain.

The reciprocal rank [Vo00] is the reciprocal of the first place of the relevant document for a query found in the list of ranks. The average reciprocal ranks for all queries are defined as Mean Reciprocal Rank (MRR). The formulas for the metrics can be found in Appendix 2.

5.1 Experimental Setup

The corpus was indexed using the pyterrier’s class “TRECCollectionindexer²⁶” to create a Terrier index. The latter is then configured to store the document number (docno) up to 100 bytes and the text up to 4 KB, allowing efficient retrieval of documents. A custom tokenizer for German language is used to normalize queries from topics.txt, which converts the text to lowercase, to retain the relevant legal symbols and removes the whitespace and unnecessary punctuations. The BM25 retriever was then initialized with the indexed corpus and configured to retrieve the information of the top-100 relevant documents. The formula for the BM25 score is given in Appendix 3.

The latter are subsequently passed to the MonoT5 reranker. MonoT5 uses a pointwise approach [PNL21] to assign a relevance score to each of the 100 documents individually and reorder them with semantic relevance to a given query. The results of top-10 documents from the MonoT5 output are then passed to DuoT5, which uses a pairwise approach to rearrange them and produce the final reranked list. We evaluated the retrieval pipelines using relevance judgements (qrels) for all queries (topics).

5.2 Results

Table 4 presents the evaluation scores for three retrieval pipelines BM25, MonoT5, and DuoT5 using the evaluation metrics. MonoT5 achieved the highest performance with respect to nDCG and MRR via a pointwise reranking approach across all metrics, which suggests that semantic relevance modeling significantly enhances the ranking quality. DuoT5 showed lower performance compared to MonoT5 because it relies on pairwise document comparisons [PNL21], which require multiple relevant documents per query in the evaluation process [Gi22].

P@10	nDCG	MRR
------	------	-----

²⁶ <https://pyterrier.readthedocs.io/en/latest/terrier-indexing.html#treccollectionindexer>

BM25	0.036512	0.302783	0.234746
MonoT5	0.052044	0.424199	0.379878
DuoT5	0.052044	0.342363	0.286139

Tab. 4: Experiment results

The results also indicate that MonoT5 and DuoT5 yield identical values for precision, as both models retrieved the same number of correct relevant documents within the top-10 documents. The final precision score is calculated as the average for all queries, leading to identical scores for both models. The experiments show that the proposed dataset GerLeRP is suitable for differentiating between the effectiveness of different retrieval models and, therefore, can serve as a benchmark for the retrieval of German laws.

6 Limitations

Each query is created based on one specific document from the corpus, and this document is marked as relevant for the generated query. No other document from the corpus is marked as relevant. It is highly likely that for most of the queries, more than a single document, i.e. paragraph, is relevant. Furthermore, the legal text alone does not answer the question. So, this benchmark on its own is not sufficient to assess how well a system answers legal questions.

7 Conclusion and Future Work

We presented GerLeRB an expert validated dataset for evaluating retrieval systems over German laws. Currently, the dataset links questions to the law paragraphs, where some relevant answers can be found. Future work may add more fine-grained information, such as whether the paragraph explicitly and directly provides a relevant answer to the question, or whether the answer must be retrieved from the legal paragraph by way of intermediate inference. Likewise, it may be desirable to indicate whether the legal paragraph contains an exhaustive answer to the question or if other paragraphs need to be consulted as well to find an exhaustive answer. It would be beneficial to include other sources for the relation of legal questions and law book paragraphs, like textbooks and legal commentaries. Currently the only source is the publically available court decisions. To achieve an even higher quality in the judgements of the relevance, it would be beneficial to have a larger pool of legal experts with specific expertise in various areas of law for judging the questions. Another area of improvement is the development of techniques to reliably generate questions of greater or lesser specificity. Very specific questions tend to find their answer explicitly stated in single sentences (so-called ‘factoid’ questions). Less specific questions, on the other hand, will more likely require more elaborate steps of inference involving various sentences in the paragraph, or even require consulting several

paragraphs (so-called ‘non-factoid’ questions). Expert annotators can presumably assess the correctness of answers to factoid questions quickly and easily but require more time and effort to assess answers to non-factoid questions. When we can reliably control the specificity of questions generated by GPT-4.1, we can leverage this to optimize the availability of legal experts by focusing on less specific non-factoid questions when they have sufficient time and reserve work on factoid questions when their time is limited. In this way, it may be possible to scale up the corpus in size.

Bibliography

- [Am18] Amati, G.: BM25. In (Liu, L.; Özsu, M.T., eds.): *Encyclopedia of Database Systems*. Springer New York, New York, NY, pp. 323–326, 2018, https://doi.org/10.1007/978-14614-8265-9_921.
- [APJ23] Abdallah, A.; Piryani, B.; Jatowt, A.: Exploring the state of the art in legal QA systems. *J. Big Data* 10(1), p. 127, 2023, <https://doi.org/10.1186/s40537-023-00802-8>.
- [BH24] Büttner, M.; Habernal, I.: Answering legal questions from laymen in German civil law system. In (Graham, Y.; Purver, M., eds.): *Proceedings of the 18th EACL 2024*. ACL, St. Julian’s, Malta, pp. 2015–2027, 2024, <https://aclanthology.org/2024.eacl-long.122/>.
- [DD18] Dalianis, H.; Dalianis, H.: Evaluation metrics and evaluation. *Clinical Text Mining: secondary use of electronic patient records*, pp. 45–53, 2018.
- [Du19] Duan, X. et al.: CJRC: A Reliable Human-Annotated Benchmark Dataset for Chinese Judicial Reading Comprehension. In (Sun, M. et al., eds.): *Proceedings of CCL*. Vol. 11856. *Lecture Notes in Computer Science*, Springer, Kunming, China, pp. 439–451, 2019.
- [Gi22] Gienapp, L. et al.: Sparse Pairwise Re-ranking with Pre-trained Transformers. In (Crestani, F. et al., eds.): *ICTIR ’22: Proceedings of the 2022 ACM SIGIR, Madrid, Spain, July 11 - 12, 2022*. ACM, pp. 72–80, 2022, <https://doi.org/10.1145/3539813.3545140>.
- [Gi23] Gil, J.M.: A survey on legal question-answering systems. *Comput. Sci. Rev.* 48, p. 100552, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.cosrev.2023.100552>.
- [Go24] Goebel, R. et al.: Overview and Discussion of the COLIEE 2023. *The Review of Socionetwork Strategies* 18, 2024.
- [Ho21] Hoppe, C. et al.: Towards Intelligent Legal Advisors for Document Retrieval and QuestionAnswering in German Legal Documents. In: *2021 IEEE Fourth International Conference on Artificial Intelligence and Knowledge Engineering (AIKE)*. Pp. 29–32, 2021, <https://ieeexplore.ieee.org/document/9723721>.
- [Ma21] Macdonald, C. et al.: PyTerrier: Declarative Experimentation in Python from BM25 to Dense Retrieval. In (Demartini, G. et al., eds.): *CIKM ’21, Queensland, Australia, November, 2021*. ACM, pp. 4526–4533, 2021, <https://doi.org/10.1145/3459637.3482013>.
- [Ma24] Mauch, Marianne; Bachinger, Sarah T.; Bornheimer, Philipp; Breidenbach, Stephan; Ehrhardt, Daniela; Feddoul, Leila; Legner, Hannes; Löffler, Felicitas; Löffler, Frank;

- Raupach, Maximilian; Schindler, Sirko; Schröder, Jörg; König-Ries, Birgitta: From legal texts to digitized services for public administrations. In: Jusletter IT : die Zeitschrift für IT und Recht (2024), S. 165 - 174
- [MT20] Macdonald, C.; Tonello, N.: Declarative experimentation in information retrieval using PyTerrier. In: Proceedings of the 2020 ACM SIGIR on International Conference on Theory of Information Retrieval. Pp. 161–168, 2020.
- [Na18] Nakayama, H. et al.: doccano: Text Annotation Tool for Human, Software available from <https://github.com/doccano/doccano>, 2018, <https://github.com/doccano/doccano>.
- [Op24] OpenAI: GPT-4.1, <https://openai.com/index/gpt-4-1/>, Large language model, 2024.
- [Pe10] Peñas, A. et al.: Overview of ResPubliQA 2010: Question Answering Evaluation over European Legislation. In: Conference and Labs of the Evaluation Forum. 2010, <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:2437669>.
- [PNL21] Pradeep, R.; Nogueira, R.; Lin, J.: The Expando-Mono-Duo Design Pattern for Text Ranking with Pretrained Sequence-to-Sequence Models. CoRR abs/2101.05667, 2021, arXiv: 2101.05667, <https://arxiv.org/abs/2101.05667>.
- [Ra19] Ravichander, A. et al.: Question Answering for Privacy Policies: Combining Computational and Legal Perspectives. In: Proceedings of the Conference EMNLP-IJCNLP 2019. ACL, Hong Kong, China, pp. 4947–4958, 2019, <https://aclanthology.org/D19-1500/>.
- [Ro01] Robertson, S.: Evaluation in information retrieval. In: Lectures on Information Retrieval. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, pp. 81–92, 2001, <https://dl.acm.org/doi/10.5555/567292.567296>.
- [Sa18] Saeidi, M. et al.: Interpretation of Natural Language Rules in Conversational Machine Reading. In: Proceedings of the EMNLP 2018. Association for Computational Linguistics, pp. 2087–2097, 2018, <https://aclanthology.org/D18-1230>.
- [Sa21] Salmerón-Manzano, E.: Legaltech and Lawtech: Global Perspectives, Challenges, and Opportunities. Laws 10(2), 2021, <https://www.mdpi.com/2075-471X/10/2/24>.
- [SD11] Sujatha, P.; Dhavachelvan, P.: Precision at K in multilingual information retrieval. International Journal of Computer Applications 24(9), pp. 40–43, 2011.
- [Vo00] Voorhees, E.: The TREC-8 question answering track report. 2000, https://tsapps.nist.gov/publication/get_pdf.cfm?pub_id=151495.
- [WK21] Wrzałik, M.; Krechel, D.: GerDaLIR: A German Dataset for Legal Information Retrieval. In (Aletras, N. et al., eds.): Proceedings of the NLLP Workshop 2021. ACL, Dominican Republic, pp. 123–128, 2021, <https://aclanthology.org/2021.nllp-1.13/>

Appendix 1

“Es soll ein Datensatz fuer die Evaluation von Suchmaschinen und Verfahren zur Suche nach Gesetzestexten erstellt werden. Erstelle eine Suchanfrage, deren Antworten in der angegebenen Norm liegen, basierend auf der Norm und dem gegebenen Urteil. Es sollten kurze Anfragen sein, die in die Suchmaschine eingegeben werden könnten. Die Norm sollte in dem Query nicht vorkommen. Die Suchanfrage sollte als vollstaendige Frage formuliert werden. Erstelle ausserdem eine Erklaerung, wie sich die Frage aus dem ergibt und welcher Textabschnitt im Urteil relevant ist.”

Appendix 2

Metrics used for comparison:

Precision₁₀(q) = $\frac{1}{10} \sum_{k=1}^{10} \text{Ind}(\text{rel}(q, r_k) = 1)$, where Ind is the indicator.

nDCG_k(q) = $\frac{\text{DCG}_k(q)}{\text{IDCG}_k(q)}$, where

$$\text{DCG}_k(q) = \sum_{i=1}^k \frac{2^{\text{rel}(q, r_i)} - 1}{\log_2(i+1)} \quad \text{and} \quad \text{IDCG}_k(q) = \sum_{i=1}^k \frac{2^{\text{rel}(q, r_i^*)} - 1}{\log_2(i+1)}$$

RR(q) = $\min\{k \geq 1 \mid \text{rel}(q, r_k) = 1\}^{-1}$ if a relevant item exists, else 0

Appendix 3

BM25(q, d) = $\sum_{t \in q} \text{IDF}(t) \cdot \frac{f(t, d) \cdot (k_1 + 1)}{f(t, d) + k_1 \cdot (1 - b + b \cdot \frac{|d|}{\text{avgdL}})}$, where

$$\text{IDF}(t) = \log \frac{N - n_t + 0.5}{n_t + 0.5}$$

By $f(t, d)$ we denote the term frequency of term t in document d , $|d|$ denotes the length of document d (number of terms), avgdL denotes average document length in the collection. N is the total number of documents, n_t denotes number of documents containing term t and k_1 and b are free parameters, typically $k_1 \in [1.2, 2.0]$, $b = 0.75$.

Wie können Automatisierung und Künstliche Intelligenz die Justiz bestmöglich unterstützen?

Frank Binder¹ , Chris Zenner², Lydia Müller¹ , Lars Görner², Danny Lehmann²,
Claudia Glausch², Gerhard Heyer¹ 

Abstract: Die Digitalisierung in der Justiz ermöglicht perspektivisch in zunehmendem Maße die Nutzung von Automatisierung und Künstlicher Intelligenz (KI), um Abläufe und Geschäftsprozesse in Justizbehörden zu vereinfachen und zu beschleunigen. Damit verbunden sind aus Sicht der Praxis und aller Stakeholder jedoch noch viele Hürden und offene Fragen – darunter die nach der Auswahl und Priorisierung geeigneter Anwendungsfälle und solche zur erfolgreichen Erprobung und gewinnbringenden Nutzung derartiger technologischer Möglichkeiten. Mit Hilfe etablierter Methoden aus dem Innovationsmanagement für Unternehmen und inspiriert durch den Legal Design-Ansatz haben wir die Bedarfe am Einsatz von Automatisierung und KI in der Justiz in Sachsen systematisch erfasst, mit entsprechenden Kennzahlen versehen und ausgewertet. Die Methodik sowie die Ergebnisse präsentieren wir in diesem Beitrag.

Keywords: Justiz, Automatisierung, Künstliche Intelligenz, Innovationsmanagement, Legal Design

1 Einleitung und Motivation

Die Digitalisierung wurde im letzten Jahrzehnt intensiv vorangetrieben und ist inzwischen auch aus der öffentlichen Verwaltung und der Justiz nicht mehr wegzudenken. Dazu beigetragen hat – neben den technischen Entwicklungen der vergangenen Jahre in den Bereichen Künstliche Intelligenz (KI) und Legal Tech – ein sich verstärkender und anhaltender Fachkräftemangel in der Justiz. Dieser erzeugt einen Arbeitsstau, der ohne Digitalisierung nicht beherrschbar wäre. Vor diesem Hintergrund wurde mittels rechtlicher Grundlagen und Zwänge die Digitalisierung der Justiz weiter forciert. In ihrem Windschatten finden nun Automatisierung und KI zunehmend auch in den Justizbehörden³ Beachtung.

¹ Institut für Angewandte Informatik (InfAI), Abteilung Natural Language Processing,
Goerdelerring 9, 04109 Leipzig,
binder@infai.org,  <https://orcid.org/0000-0003-1964-0393>
lydia.mueller@infai.org,  <https://orcid.org/0000-0001-9544-121X>
heyer@infai.org,  <https://orcid.org/0000-0002-0442-392X>

² Leitstelle für Informationstechnologie der sächsischen Justiz (LIT), Bautzner Straße 19a, 01099 Dresden,
Referat 4.11 „Digitalisierung, Automatisierung und KI in der Justiz“: {Chris.Zenner, Lars.Goerner,
Danny.Lehmann}@lit.justiz.sachsen.de; Leiterin der LIT: Claudia.Glausch@lit.justiz.sachsen.de

³ Der Begriff der Justizbehörden soll im Folgenden unter Anerkennung ihrer Unabhängigkeit als Teil der dritten Staatsgewalt auch alle Gerichte im Sinne ihrer Betrachtung als Dienststellen umfassen.

Die Digitalisierung der Justiz wurde durch eine Reihe von Gesetzen vorangetrieben, die sich vor allem auf die Einführung des elektronischen Rechtsverkehrs (ERV), die elektronische Aktenführung und die Modernisierung von Verfahrensabläufen beziehen. Bereits seit 2022 besteht für bestimmte Nutzergruppen umfangreiche Verpflichtungen, Anträge und Erklärungen ausschließlich digital bei Gericht einzureichen. Mit dem Gesetz zur Einführung der elektronischen Akte in der Justiz und zur weiteren Förderung des elektronischen Rechtsverkehrs⁴ wurde eine Verpflichtung zur Führung elektronischer Akten für die Gerichte ab dem 1. Januar 2026 geschaffen⁵.

Auch in der Justiz bestimmt die föderale Struktur aus 16 Bundesländern und der Justiz auf Bundesebene vielfach die Möglichkeiten und Grenzen des koordinierten Vorgehens. So gibt es nicht nur im Bereich der elektronischen Akten, sondern auch im Vorgehen und Positionieren gegenüber dem Thema KI häufig konkurrierende Projekte und Produkte in den verschiedenen Bundesländern. Koordinierend wirken hier der 2012 gegründete E-Justice-Rat sowie die darin eingegliederte Bund-Länder-Kommission für Informationstechnik in der Justiz.⁶ Auf der Landesebene ist das Justizsystem stark gegliedert und setzt sich aus einer Vielzahl von Gerichten und Behörden zusammen. Eine besondere Rolle bei der Nutzung von Automatisierung und KI kommt hierbei den IT-Dienstleistern der Justiz zu, in Sachsen die Leitstelle für Informationstechnologie der sächsischen Justiz (LIT).⁷

Abb. 1 stellt die Struktur der Landesjustiz im Bundesland Sachsen schematisch dar. Es wird deutlich, dass Innovationen hier einerseits in Querschnittsthemen, andererseits in spezifischen Anwendungsfällen denkbar, wenn nicht gar erforderlich sind, um den eingangs genannten Herausforderungen erfolgreich zu begegnen. Die Kooperation KI4JUSTiS (KI für die Justiz in Sachsen) erforscht und erprobt Einsatzmöglichkeiten, Vorgehensweisen und Technologien für die Verwendung von Automatisierung und KI in der sächsischen Justiz.⁸ Die erste Phase dient dabei einer initialen Erhebung von Anwendungsfällen für KI und Automatisierung. Zentraler Ansatz ist dabei eine offene, technologie-agnostische Betrachtung primär aus Anwendersicht. Ein weiterhin wichtiges Ziel ist der Aufbau und die Pflege von Kontakten zu Ansprechpersonen aus der Zielgruppe. Dabei soll ein möglichst breiter Schnitt über alle Laufbahnen und Behörden abgedeckt sein.

2 Stand der Forschung

Zur systematischen Erhebung und Umsetzungsbewertung von möglichen Anwendungsfällen für den Einsatz von Automatisierung und KI in den Geschäftsprozessen der Landesjustiz sind uns bisher keine einschlägigen wissenschaftlichen Publikationen bekannt.

⁴ G. v. 5.7.2017, BGBl. I 2017, S. 2208

⁵ § 298a ZPO, § 32b StPO, § 55b VwGO, § 52b FGO

⁶ https://justiz.de/laender-bund-europa/e_justice_rat/index.php

⁷ <https://www.justiz.sachsen.de/lit/wir-die-lit.html>

⁸ <https://www.medienservice.sachsen.de/medien/news/1072872>

Erste öffentlich vorgetragene Überlegungen, die die bisherige Projektlandschaft zum Einsatz von KI in der Justiz kritisieren und weiterdenken, stellen dabei einerseits die Anforderungen der juristischen Praxis [Ro24, SH22] und andererseits den Rechtsrahmen der europäischen KI-Verordnung in den Vordergrund [El24].

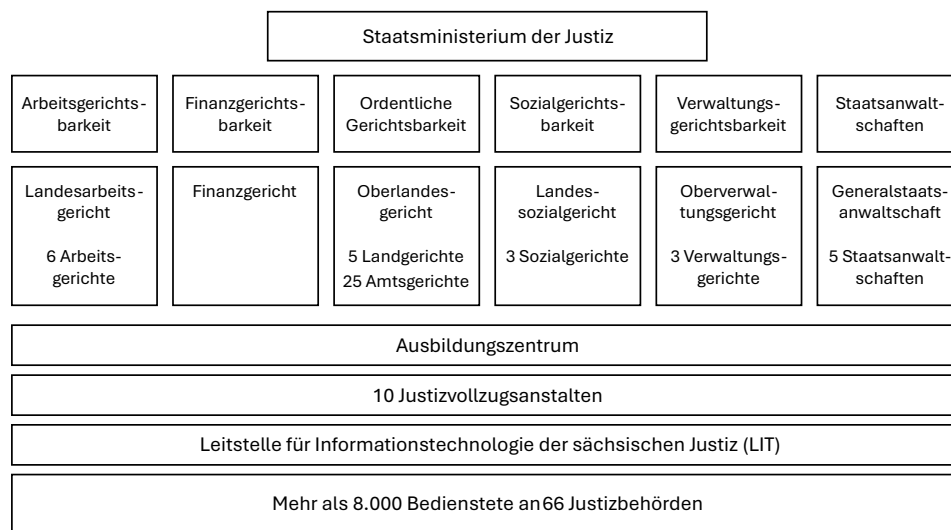


Abb. 1: Geschäftsbereich des Sächsischen Staatsministeriums der Justiz [Sä22, Ze25]

Die Unterstützung derartiger Innovationsprozesse von der Ideengenerierung bis zur späteren Umsetzung als Produkte oder Services ist Gegenstand des Innovationsmanagements, welches für Unternehmenskontexte bereits seit Jahrzehnten erforscht wird [VBO23]. Praktische Methoden und ko-kreative Ansätze für das Vorgehen bei der Gestaltung von Innovationen finden sich im Design Thinking. [KK21] propagieren eine Übertragung dieser Innovations- und Gestaltungsmethoden auf den Bereich des Rechtswesens und haben dabei vor allem die Anwaltschaft im Blick. Forschung zum Innovationsmanagement in der Justiz ist derzeit noch ein Desiderat. Die KI-Strategie des E-Justice-Rates vom April 2025 für den Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Justiz hat das Handlungsfeld identifiziert, so dass eine Etablierung von weiteren und neuen Forschungsvorhaben in diesem Zusammenhang überaus hilfreich wäre [De25].

3 Methodik und Ergebnisse

Zur Erhebung, Systematisierung und Priorisierung von Anwendungsfällen für Automatisierung und KI in der Justiz nutzen wir Elemente aus dem *Legal Design* und fokussieren uns auf die Generierung, Entwicklung, Bewertung und Auswahl von Ideen aus der Praxis

mit dem Ziel, eine Shortlist an Anwendungsfällen mit hohem Erfolgspotential zu erstellen und darauf basierend Handlungsempfehlungen zur weiteren Umsetzung abzuleiten. [KK21, S.51 ff.] definieren *Legal Design* als das „Einbetten von Design in den Bereich Recht, um nutzerzentrierte juristische Produkte, Dienstleistungen, Arbeit, Systeme, Geschäftsstrategien, Ökosysteme und Erlebnisse zu schaffen“, wobei sich *Design* und insbesondere *Design Thinking* unter den Facetten Theorie, Denkweise (*Mindset*), Fähigkeit und Prozess betrachten lässt [KK21, S.79]. Der in der vorliegenden Studie gewählte Ansatz entspricht weitestgehend einem Ideentrichter (auch Innovationstrichter, *Innovation Funnel*) [MD20, S.31, VBO23, S.385]. Zur schrittweisen Konsolidierung und Auswahl der Ideen kommt hierbei ein 7-stufiges Verfahren zum Einsatz, siehe Abb. 2.

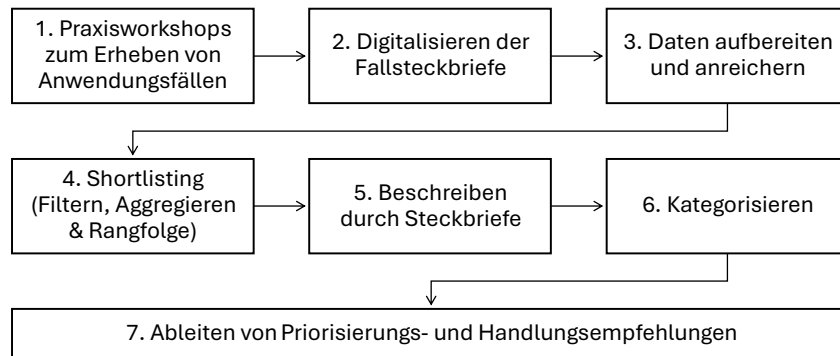


Abb. 2: Sieben Stufen zum Erheben und Priorisieren von Anwendungsfällen in KI4JUSTiS

Im ersten Schritt werden Workshops mit Praxisteilnehmenden aus allen Bereichen der sächsischen Justiz durchgeführt.⁹ Das Workshopkonzept orientiert sich dabei an [Bi25a]: Jeder Workshop besteht aus drei Phasen: Zunächst werden in einem Vortragsteil Begriffe zu KI und Automatisierung besprochen und praktische Beispiele für deren Einsatz aus Bereichen außerhalb der Justiz gezeigt. In einem darauffolgenden Brainstorming sammeln die Teilnehmenden individuell eigene Use Cases¹⁰ und dokumentieren diese anhand vorbereiteter Arbeitsblätter in Form von Fallsteckbriefen¹¹. Alle so entstandenen Ideen werden im Plenum wertungsfrei zusammengetragen und dabei bereits bei fachlicher Nähe oder Mehrfachnennungen geclustert. In der dritten Phase verorten alle Teilnehmenden die gesammelten Ideen gemeinsam in einer Nutzen-Machbarkeits-Matrix.¹² Die Erfassung der

⁹ Von März bis Juni 2024 wurden 8 Workshops mit insgesamt über 100 Praxisteilnehmern durchgeführt.

¹⁰ In dieser frühen Phase stehen die Ideen für Use Cases und ihre Diskussion im Vordergrund, weshalb wir gegenüber einer späteren Spezifikation eine möglichst einfache Darstellung einsetzen [Co01, S.7 ff.].

¹¹ siehe Anhang 1 Arbeitsblatt „Fallsteckbriefe“ der Workshops (Stufe 1) in [Bi25b]

¹² Vergleichbare Matrizen aus dem Innovationsmanagement zur Bewertung von Chancen (Nutzen, Potential) und Machbarkeit (Risiko, Aufwand, Kosten) sind auch für die Justiz hilfreich [KK21, S.160, Ro24].

Relevanz erfolgt zudem per demokratischer Abstimmung [KK21, S.162]: Alle Teilnehmenden verteilen je drei Stimmen auf den oder die aus ihrer Sicht wichtigsten Use Case(s).

In den Stufen 2 und 3 werden die gesammelten Arbeitsblätter digitalisiert¹³ und die darin erfassten Daten konsolidiert, mit dem Ziel eine grundsätzlich kennwertgetriebene Auswertung zu ermöglichen, auch wenn diese im vorliegenden Fall einfacher konzipiert ist als z.B. der Ansatz von [PM23]. Hierfür werden Zeiteinheiten und Häufigkeiten harmonisiert und in Größenordnungen kategorisiert. Zusätzlich werden die Daten mit Statistiken der Justiz in Sachsen angereichert.¹⁴ Die verteilten Abstimmungspunkte werden erfasst und die Positionierung des Use Cases in der Nutzen-Machbarkeits-Matrix kategorisiert. Im Ergebnis entsteht Tabelle mit 92 numerischen, binären und qualitativen Attributen zu 258 erhobenen Anwendungsfällen.

Zielgruppe	Anzahl		Anwendungsfälle			
	WS	TN	gesamt	nützlich & machbar	min. 10% der Stimmen	gruppiert für die Shortlist
Richter und StA ¹⁵	2	34	71	44	27	8
Rechtspfleger	2	20	68	21	16	5
Serviceeinheiten	2	28	66	46	23	6
Justizverwaltung	1	13	31	16	10	3
Justizvollzug	1	6	22	9	5	4
Summe	8	101	258	136	81	26

Tab. 1: Anzahl der durchgeführten Workshops (WS) und Teilnehmenden (TN) je Zielgruppe sowie die Anzahl der jeweils insgesamt erhobenen, der als hinreichend nützlich und machbar eingestuft und der daraus im Shortlisting letztlich gruppiert berücksichtigten Anwendungsfälle

Das anschließende Shortlisting in Stufe 4 wählt die relevantesten Anwendungsfallkandidaten anhand nachfolgender Kriterien aus: (1) Nutzen und Machbarkeit müssen anhand der von den Workshopeteilnehmern gemeinsam erarbeiteten Nutzen-Machbarkeits-Matrix als hoch eingeschätzt werden. (2) Mehr als 10% der Stimmen in einem Workshop sind für die Aufnahme in die Shortlist erforderlich („indirekte Stimmen“ durch Clustering nahezu identischer Use Cases werden berücksichtigt). Bei einem geringeren Stimmenanteil werden weitere Kriterien berücksichtigt: (3) Mehrfachnennungen zwischen Workshops und Zielgruppen und (4) ein numerischer Nutzenindikator. Letzterer ist aufgrund der lückenhaften Datenlage grob ermittelt anhand des Produkts „Größenordnung der Anwenderanzahl x minimaler Zeitaufwand“.

¹³ Aufgrund der Handschriften und teils nicht eingehaltener Steckbrieffelder erfolgt dieser Schritt manuell.

¹⁴ Anhand [Sä22] werden z.B. Einträge wie „alle Richter in Sachsen“ in quantitative Angaben überführt.

¹⁵ Staatsanwälte

In Stufe 5 beleuchten Tandems aus fachlicher und technischer Sicht die verbliebenen Anwendungsfälle der Shortlist und dokumentieren verschiedene Aspekte der möglichen Umsetzung in Steckbriefen, deren Datenfelder in Anhang 3 [Bi25b] erläutert sind. Dabei erfolgt eine grobe Beschreibung hinsichtlich der Chancen und Risiken. Diese ist in Relation zu den übrigen Steckbriefen zu verstehen und ermöglicht es, innerhalb der Shortlist eine Priorisierung abzuleiten und vorzuschlagen. Zugleich wird festgehalten, welche Beteiligte der IT-Organisation und der Justiz involviert werden müssen, sowie (mit Blick auf „Make or buy“-Entscheidungen) wie groß der Teil der Eigenentwicklung voraussichtlich wäre und welche potenziellen Lösungen bereits am Markt verfügbar sind.

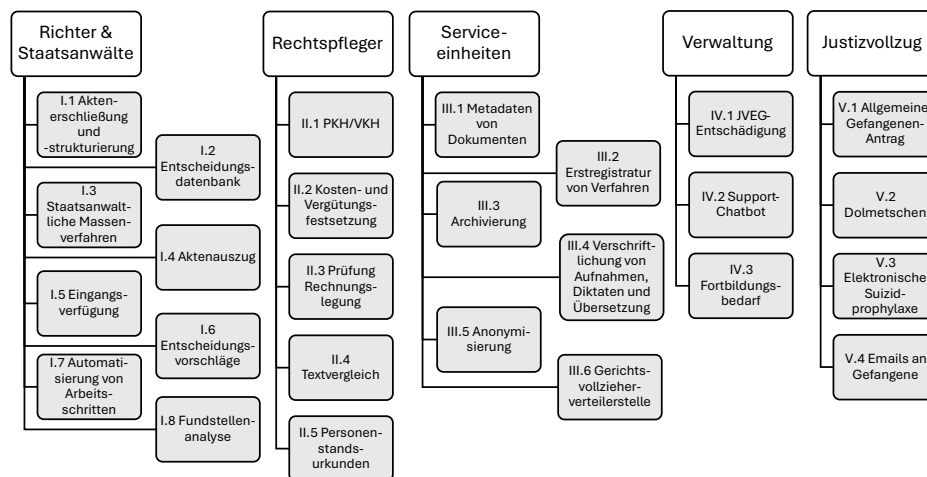


Abb. 3: Shortlist der erhobenen Anwendungsfälle für Automatisierung und KI in der Justiz

In Anlehnung an die Kategorien in [Li22] werden die Use Cases der Shortlist in Stufe 6 den nachfolgenden acht Themenbereichen zugeordnet. Der zugehörige Anhang 2 in [Bi25b] enthält Kurzbeschreibungen der Anwendungsfälle und Themenbereiche.

- (a) Aktenerschließung (I.1, I.4, II.4)
- (b) Anonymisierung (III.5)
- (c) Automatisierung von Standardprozessen (I.7, III.1-3, III.6, V.4)
- (d) Kosten- und Belegprüfung (II.1-3, IV.1)
- (e) Mustererkennung / Zuordnung von Textbausteinen (I.3, I.5-6, II.5)
- (f) Spracherkennung und Übersetzung (III.4, V.1, V.2)
- (g) Suchmaschinen / Recherche / Wissensmanagement (I.2, I.8, IV.2)
- (h) Vorschlagsysteme (IV.3, V.3)

Den Abschluss des Vorgehens bildet Stufe 7 mit dem Ableiten von Handlungs- und Priorisierungsempfehlungen. Dafür ziehen wir folgende Kriterien heran: (1) Umsetzungsaufwand, (2) Potenzieller Nutzen, (3) Bisherige Aktivitäten der LIT bzw. der sächsischen Justiz, (4) Entwicklungen in anderen Bundesländern, (5), Verfügbarkeit von bereits vorhandenen Lösungen, (6) Stand der technologischen Entwicklung, (7) etwaige Zusammenhänge oder Abhängigkeiten zwischen verschiedenen Fällen. Im Ergebnis steht die Zuordnung zu den vier Handlungsfeldern speziell für die sächsische Justiz¹⁶: (a) Kleinprojekte, (b) Großprojekte, (c) bereits laufende Projekte in Sachsen (neben KI4JUSTiS) und (d) Projekte, die aktuell nicht weiterverfolgt werden sollten. In letzterer Gruppe sind sowohl Vorhaben mit relativ ungünstiger Machbarkeit-Nutzen-Kombination als auch solche Themen enthalten, die in anderen Bundesländern aktuell bereits bearbeitet werden.

4 Diskussion und Reflexion

Für die Durchführung einer solchen Erhebung sind einige Entscheidungen zur genauen Gestaltung sowie zur Operationalisierung der Auswertung zu treffen. Die o.g. Ansätze aus dem Design Thinking, hier übertragen als Legal Design, sowie das erwähnte Ideentrichter-Modell erweisen sich als praktikabel und hilfreich in der Bewältigung der großen Zahl an Anwendungsfällen und ermöglichen uns letztlich, diese nicht nur zu sammeln, sondern zu analysieren und in Priorisierungs- und Handlungsempfehlungen zu überführen.

Um das hohe Potenzial der Praxisbeteiligung erfolgreich zu nutzen, ist es aus unserer Erfahrung wichtig, ein Umfeld zu schaffen, in dem Klarheit über technische Begrifflichkeiten besteht und das Kreativität fördert. Insbesondere Technologieoffenheit (bspw. keine Beschränkung auf LLMs) ist hier entscheidend, um ein breites Spektrum an Anwendungsfällen zu sammeln. Um Hierarchieeffekte zu minimieren und eine kreative, kollaborative und unbelastete Atmosphäre in den Workshops zu schaffen, ist es aus unserer Sicht hilfreich, die Teilnehmendenzahl zu beschränken und Laufbahnebenen zu trennen, d.h. pro Workshop nur eine Zielgruppe einzuladen. Zudem achten wir in jedem Workshop, d.h. innerhalb der Laufbahnebenen, auf eine möglichst ausgewogene Verteilung der Gerichtsbearbeitungen, um alle Bedarfe berücksichtigen zu können.

Es ist jedoch ersichtlich, dass methodische Details – insbesondere mit Blick auf die weitere Auswertung – bei einer etwaigen Wiederholung, Fortsetzung oder Validierung noch einmalig zu überdenken sind. Hierzu gehören z. B. die Vermeidung von Bias in den Abstimmungen und der Umgang mit der Unschärfe der Nutzen-Machbarkeits-Matrix aufgrund der notwendigen spontanen Einschätzungen auch ohne genaue Kenntnis der technischen und fachlichen Gegebenheiten. Zudem wäre eine workshopübergreifende vergleichende Betrachtung der erhobenen Werte, insbesondere der numerischen Indikatoren, sinnvoll¹⁷.

¹⁶ Für weitere Informationen siehe Anhang 4 „Übersicht der Handlungsfelder (Stufe 7)“ in [Bi25b].

¹⁷ Im ersten der acht Workshops wurde zudem noch keine Stimmabgabe durchgeführt. Die damit erhobenen Fälle mussten separat unter den übrigen Kriterien betrachtet und eingeordnet werden.

Auch die Gestaltung der Steckbriefvorlagen kann mit Blick auf die inzwischen vielfältig auffindbaren Canvas-Varianten für KI Use Cases [Me25] diskutiert und weiter optimiert werden.

Ein weiteres Desiderat wäre eine noch stärkere und besser erkennbare Berücksichtigung der vorhandenen Justizstatistiken¹⁸, etwa zur Geschäftsbelastung der Gerichtsbarkeiten, bei der Steuerung und Incentivierung von Innovationen in den Bereichen Digitalisierung, Automatisierung und KI für die Justiz. Um diese Steuerung des praktischen Innovationsmanagements für die Justiz weiter zu optimieren, wäre zudem die langfristige Begleitung, Evaluation und Validierung der hier noch jungen Adaption von Methoden des Design Thinking und des Legal Design auf die speziellen Kontexte der Justiz empfehlenswert - etwa aus der Perspektive der Design Science und mit Mitteln des Design Science Research [DLA15], auch um das hier gewählte Vorgehen stärker theoretisch zu fundieren.

In der Gesamtschau der so aufbereiteten Anwendungsfälle lässt sich feststellen, dass es zahlreiche, höchst verschiedene Einsatzgebiete für KI und Automatisierung in der Justiz gibt. Die Teilnehmenden der Workshops haben für jede Laufbahn und in vielen verschiedenen Facetten und Bereichen Ideen und Vorschläge eingebracht. Auch im Detaillierungsgrad sind die Anwendungsfälle höchst unterschiedlich. Manche Fälle basieren auf einem konkreten, leicht zu beschreibenden Anliegen mit klar umrissener Lösungsmöglichkeit. Andere Fälle hingegen sind fachlich komplex sowie facettenreich und müssen zunächst weiter heruntergebrochen oder abgeschichtet werden. Perspektivisch wird auch die Umsetzung der Maßnahmen und ihre mittel- und langfristige Wirkung in der Praxis kontinuierlich begleitend zu evaluieren sein¹⁹.

5 Fazit und Handlungsempfehlungen

Die hier vorgestellte Studie als Phase I der Forschungskooperation KI4JUSTiS hat zahlreiche Anwendungsfälle zum Einsatz von KI und Automatisierung gemeinsam mit den Mitarbeitern der sächsischen Justiz zusammengetragen. In 8 Workshops mit insgesamt 101 Teilnehmern verteilt über alle Gerichtsbarkeiten und 5 Laufbahnen wurden mehr als 250 Anwendungsfälle erhoben. Das zeigt, dass der Einsatz von KI und Automatisierung ein hohes Potenzial aufweist, die Arbeit in der gesamten Justiz über alle Laufbahnen und Fachbereiche hinweg zu erleichtern. Aus den so erhobenen Anwendungsfällen wurde eine Shortlist der 26 prominentesten Anwendungsfälle erstellt und diese jeweils in einem Projektsteckbrief beschrieben und mit Priorisierungs- und Handlungsempfehlungen versehen. Die Justiz Sachsen hat daraus in einem ersten Schritt fünf Vorhaben ausgewählt, die in den nächsten 18 Monaten unmittelbar bearbeitet werden sollen.

Der E-Justice-Rat hat mit der im April 2025 veröffentlichten KI-Strategie für den Einsatz von künstlicher Intelligenz in der Justiz die Basis geschaffen, um mit einer systematischen

¹⁸ https://www.bundesjustizamt.de/DE/Service/Justizstatistiken/Justizstatistiken_node.html

¹⁹ Siehe etwa die spannenden, obgleich vielleicht noch nicht abschließenden Erkenntnisse in [HV25].

Erhebung und Bewertung des Potenzial des Einsatzes von KI und Automatisierung in der Justiz zu erschließen und damit genau das hier vorgestellte Vorgehen adressiert [De25, S.27 ff.]. Die darin beschriebenen Maßnahmen zielen unter anderem darauf ab, ein gemeinsames Framework zur Priorisierung von KI-Projekten zu entwickeln. Es besteht zudem die Hoffnung, dass damit eine Standardisierung justizieller Geschäftsprozesse einhergeht, die für eine effektive Digitalisierung der Justiz notwendig ist.

Danksagungen

Diese Arbeit im Rahmen von KI4JUSTiS wurde finanziert aus dem IT-Budget des sächsischen Justiz-Ressort. Wir danken allen Teilnehmenden der Praxisworkshops und allen bisher konsultierten Ansprechpartnern innerhalb der sächsischen Justizbehörden. Zudem danken wir Frau Sonja Ewert-Schlaak, die zwei der Workshops begleitet und durch wertvolle Hinweise auf Vernetzungsmöglichkeiten in die Legal Design Community bereichert hat. Nicht zuletzt danken wir den zuständigen Personen im Sächsischen Staatsministerium für Justiz für die interessierte und konstruktive Begleitung des Vorhabens.

Literaturverzeichnis

- [Bi25a] Binder, F.; Müller, L.; Balling, J.; Zenner, C.; Glausch, C.; Heyer, G.: Anwendungsfälle und Datenverfügbarkeit für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz in Geschäftsprozessen der Justiz auf Landesebene - Einblicke in die nutzerzentrierte Bedarfsermittlung für das Projekt KI4JUSTiS. In: Praxishandbuch Verwaltungsinformatik. transcript Verlag, 2025 — ISBN 978-3-8252-6431-4
- [Bi25b] Binder, F.; Zenner, C.; Müller, L.; Görner, L.; Lehmann, D.; Glausch, C.; Heyer, G.: Wie können Automatisierung und Künstliche Intelligenz die Justiz bestmöglich unterstützen? - Anhänge und ergänzende Materialien, 2025, DOI: 10.5281/ZENODO.17101174
- [Co01] Cockburn, A.: Writing effective use cases. Addison-Wesley, Boston [u.a.], 2001 — ISBN 978-0-201-70225-5
- [De25] Der E-Justice-Rat: Strategie für den Einsatz von Künstlicher Intelligenz in der Justiz, 2025, URL: https://hdr4.bmj.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Fachpublikationen/2025_KI_Strategie.html, Stand: 16. 06. 2025
- [DLA15] Dresch, A.; Lacerda, D. P.; Antunes Jr, J. A.V.: Design Science Research: A Method for Science and Technology Advancement. Springer International Publishing, Cham, 2015 — ISBN 978-3-319-07373-6
- [El24] Elborg, T.: Alles Hochrisiko? – Eine Taxonomie von KI-Systemen in der Justiz. In: KI-Verordnung und Justiz. Arbeitskreis zum 33. EDVGT. Saarbrücken, 2024, URL: <https://www.edvgt.de/veranstaltungen/ki-verordnung-und-justiz/>, Stand: 04.07.2025.

- [HV25] Humlum, A.; Vestergaard, E.: Large Language Models, Small Labor Market Effects, SSRN Scholarly Paper, Rochester, NY, 2025, URL: https://www.nber.org/system/files/working_papers/w33777/w33777.pdf, Stand: 06.07.2025.
- [KK21] Kohlmeier, A.; Klemola, M: Das Legal Design Buch: So geht Recht im 21. Jahrhundert. Wolters Kluwer Deutschland GmbH, Hürth, 2021 — ISBN 978-3-472-09726-6
- [Li22] Limperg, B.; Malik, D.; Altgen, C.; v. Geldern-Crispendorf, B.; Michalczyk, C.; Hundt, U.; Kintzel, G.; Tschöpe, C.; Otte, S.; Hoffmann, M.; Coners, S.; Richter, F.; Saam, D.; Schäpers, G.; Sabrowsky, A.; Biallaß, I.; Baumann, A.; Knöchel, D.; Riedel, A.; Radke, H.; Schmieder, P.; Henrichs, T.; Grein-Eimann, S.; Werner, I.; Huber, C.; Sokoll, M.; Dickert, T.; Mielke, B.; Lesche, U.; Waßmann, S.; Schäfer, H.; Weiten, T.; Spoenle, J.: Einsatz von KI und algorithmischen Systemen in der Justiz. Grundlagenpapier. In: 74. Jahrestagung der Präsidentinnen und Präsidenten der Oberlandesgerichte, des Kammergerichts, des Bayerischen Obersten Landesgerichts und des Bundesgerichtshofs vom 23. bis 25. Mai 2022 in Rostock, 2022 URL: https://www.justiz.bayern.de/media/images/behoerden-und-gerichte/oberlandesgerichte/nuernberg/einsatz_von_ki_und_algorithmischen_systemen_in_der_justiz.pdf, Stand: 04.04.2024.
- [MD20] Müller-Prothmann, T.; Dörr, N.: Innovationsmanagement. Strategien, Methoden und Werkzeuge für systematische Innovationsprozesse. Hanser, München, 2020 — ISBN 978-3-446-43931-3
- [Me25] Meyrat, P.: KI Usecase Canvas Verwaltung, 2025, URL: <https://de.linkedin.com/pulse/ki-usecase-canvas-verwaltung-paul-meyrat-tdltf>, Stand: 15.06.2025
- [PM23] Pidun, T.; Müller, D.: A Scoring Model for Public Administration Process Prioritization in Germany. In: Auth, G.; Pidun, T. (Hrsg.): 6. Fachtagung Rechts- und Verwaltungsinformatik, RVI 2023, Dresden, Germany, October 26-27, 2023, LNI. Bd. P-341: Gesellschaft für Informatik e.V., Bonn, S. 82–95, 2023, DOI: 10.18420/RVI2023-019.
- [Ro24] Rollinger, M.: Kann KI-unterstützte Automatisierung die Personallücke der Justiz schließen? (Keynote). In: 7. Fachtagung Rechts- und Verwaltungsinformatik (RVI 2024). Wiesbaden, 2024
- [Sä22] Sächsisches Staatsministerium der Justiz und für Demokratie, Europa und Gleichstellung: Faltblatt „Zahlen und Fakten“ (Stand 1. Januar 2022), 2022, URL: <https://www.justiz.sachsen.de/content/594.htm>, Stand: 18.06.2025
- [SH22] Schlicht, C.; Heetkamp, S.: „Legal Tech in der Zivilgerichtsbarkeit – Chancen und Herausforderungen“ Ein Tagungsbericht – Teil 2, 2022, URL: <https://legal-tech.de/legal-tech-in-der-zivilgerichtsbarkeit-tagungsbericht-teil-2/>, Stand: 17.06.2025
- [VBO23] Vahs, D.; Brem, A.; Oswald, C.: I: Innovationsmanagement: Schäffer-Poeschel, 2023 — ISBN 978-3-7910-4280-0
- [Ze25] Zenner, C.; Görner, L.; Binder, F.; Müller, L.: Anwenderzentrierter Einsatz von KI und Automatisierung in der sächsischen Justiz. In: Internationales Rechtinformatik Symposium 2025 (IRI§25), 2025, DOI: 10.5281/ZENODO.15807237.

Student Track

Einführung in die Mathematik der Quantencomputer unter Berücksichtigung des Grover-Algorithmus

Lionel Kehl ¹

Abstract: Die Beschleunigung komplexer Suchvorgänge in großen Datenmengen kann die Effizienz (digitalisierter Prozesse) unter anderem in den Bereichen Verwaltungs- und Rechtsinformatik erheblich steigern. Dies könnten Quantencomputer und konkret der Grover-Algorithmus leisten. Die Veröffentlichung vermittelt die Grundlagen des Quantencomputings mit Schwerpunkt auf dem sogenannten Grover-Algorithmus. Zunächst werden zentrale Konzepte des Quantencomputers wie Superposition und Bra-Ket-Notation vorgestellt. Der Grover-Algorithmus, der die Suche in unstrukturierten Datenbanken massiv beschleunigt, wird detailliert erklärt und mathematisch analysiert. Ein besonderer Fokus liegt auf der neuen Erklärungsmethode: Mit Hilfe einer dreidimensionalen Darstellung wird die komplexe Funktionsweise geometrisch vereinfacht vermittelt. Dadurch wird der ursprünglich abstrakte Algorithmus anschaulich und leichter verständlich. Von besonderer Relevanz für die öffentliche Verwaltung ist dabei, dass Grovers Verfahren auch klassische Verschlüsselungsmethoden schwächen könnte und somit langfristig Fragen der Datensicherheit und Vertraulichkeit berührt. Im Fazit betont die Arbeit die Bedeutung des Quantencomputings für die Zukunft und die Rolle des Grover-Algorithmus, weist jedoch auch auf die bestehenden Herausforderungen hin. Weitere Forschung und technologische Entwicklungen sind notwendig, um das volle Potenzial dieser Technologie auszuschöpfen.

Keywords: Quantencomputer, Grover-Algorithmus, Qubit-Darstellung

1 Einleitung

Im Jahre 1964 versuchte der berühmte Physiker Richard Feynman seine Studenten der Quantenmechanik-Vorlesung mit den Worten zu beruhigen, dass niemand die Quantenmechanik wirklich verstehen würde: „I think I can safely say that nobody understands quantum mechanics“[R.84]. Inzwischen sind viele Jahrzehnte vergangen – und obwohl die Welt der Quantenphysik noch immer nicht vollständig verstanden ist, wurden ihre Grundlagen doch besser erforscht und zunehmend anschaulich dargestellt. Darüber hinaus wird sie nicht mehr nur theoretisch behandelt: Erste Prototypen von Quantencomputern existieren bereits, und sie könnten die Welt des Rechnens durch ihre besondere Funktionsweise und Rechenleistung grundlegend verändern.

Doch auch heute bleiben viele Fragen offen: Was genau unterscheidet Quantencomputer von klassischen Computern? Welche Algorithmen – wie etwa der berühmte Grover-

¹ Technische Universität München (TUM), TUM School of Natural Sciences, Department of Physics, James-Frank-Straße 1, 85748 Garching bei München, lionel.kehl@tum.de,  <https://orcid.org/0009-0000-3287-8297>

Algorithmus – ermöglichen es ihnen, in riesigen unsortierten Datenmengen deutlich effizienter nach bestimmten Einträgen zu suchen?

Gerade in unserer heutigen datengetriebenen Welt ist die effiziente und zugleich sichere Verarbeitung großer Informationsmengen von zentraler Bedeutung, nicht nur in der theoretischen Informatik, sondern auch in praxisnahen Bereichen wie der Verwaltungsinformatik und Rechtsinformatik. In der öffentlichen Verwaltung werden täglich umfangreiche Register, Datenbanken und Verwaltungsprozesse bearbeitet, abgeglichen und ausgewertet. In der Rechtsinformatik geht es um die strukturierte Erfassung und Analyse juristischer Dokumente, Gesetzestexte oder Gerichtsurteile. Dies sind Aufgaben, die mit steigender Datenmenge immer komplexer werden. Quantenalgorithmen wie Grovers Suchalgorithmus könnten hier neue Maßstäbe setzen, indem sie Suchvorgänge in großen, unstrukturierten Datenbeständen drastisch beschleunigen und so zur Effizienzsteigerung beitragen.

Allerdings birgt gerade der Grover-Algorithmus auch sicherheitsrelevante Herausforderungen: Er kann symmetrische Verschlüsselungsverfahren, wie sie in vielen Bereichen der öffentlichen Verwaltung oder im juristischen Kontext eingesetzt werden (z. B. für Dokumentensicherung oder Datenübertragung), deutlich schneller entschlüsseln als klassische Algorithmen. Zwar reduziert Grover die Komplexität nicht auf ein triviales Maß, aber er beschleunigt Brute-Force-Angriffe, was bedeutet, dass Systeme, die heute als sicher gelten, durch Quantenangriffe potenziell verwundbar werden könnten. Für verwaltungs- und rechtsbezogene IT-Systeme, die hohe Anforderungen an Datenschutz, Vertraulichkeit und Integrität stellen, ist dies ein ernstzunehmender Aspekt.

Für das Verständnis von Quantencomputern im Allgemeinen und dem Grover-Algorithmus im Speziellen ist ein fundierter Einblick unabdingbar. Um die oft abstrakten mathematischen Konzepte greifbarer zu machen, wird in dieser Arbeit ein neuer dreidimensionaler Erklärungsansatz verfolgt. Durch eine anschauliche Visualisierung der zentralen Operationen von Grovers Algorithmus im vereinfachten dreidimensionalen Raum wird es möglich, sowohl die algebraischen als auch die geometrischen Aspekte des Algorithmus nachvollziehbar zu machen. Diese neue Veranschaulichungsform erleichtert nicht nur den Zugang zur komplexen Quantenmechanik, sondern eröffnet auch praxisnahe Denkanstöße für deren Anwendung in Fachgebieten der Informatik mit rechtlichem oder verwaltungstechnischem Bezug.

2 Qubit – „die Recheneinheit“ in Quantencomputern

Analog zu „klassischen“ Computern, die mit Bit rechnen, liegt Quantencomputern die Recheneinheit Quantenbits, abgekürzt „Qubits“, zugrunde. Nachfolgend werden sie kurz erläutert, ihre mathematische Darstellung als Vektor sowie die sogenannte „Dirac-Notation“ beschrieben und auf Besonderheiten bei der Messung von Qubits eingegangen.

2.1 Erläuterung Qubits

Ein Qubit ist die kleinste Recheneinheit bei quantenalgorithmischen Vorgängen. Im Gegensatz zu klassischen Bits, die die Zustände „0“ und „1“ annehmen können, sind Qubits zusätzlich dazu in der Lage, für eine bestimmte Dauer einen Zwischenzustand aus Null und Eins einzunehmen. [GK17] Dieses Phänomen nennt man auch „Superposition“. Die Fähigkeit, diese Zwischenzustände anzunehmen und viele Rechenvorgänge gleichzeitig auszuführen, ist eine der Gründe, weshalb Quantencomputer so performant sind. Ein weiterer Grund für die besondere Leistungsfähigkeit von Quantencomputern ist die quantenphysikalische Verschränkung von Qubits,² die von Albert Einstein auch als „spukhafte Fernwirkung“ [EB05] bezeichnet wurde.

2.2 Darstellung der Qubits als Vektor

Mit Blick auf die zugrundeliegende Mathematik kann ein Qubit als ein Vektor $\vec{\psi} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix}$ mit $\alpha, \beta \in \mathbb{C}$ dargestellt werden. Zur Vereinfachung wird das Qubit als Linearkoordinaten umgeformt:

$$\vec{\psi} = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} = \alpha \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \beta \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Zudem ist zu berücksichtigen, dass die Summe der Quadrate der Beträge der komplexen Zahlen 1 ergeben muss: [Ho22]

$$|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$$

Nun kann man $\vec{\psi}$ vereinfacht in einem zweidimensionalen Diagramm darstellen:

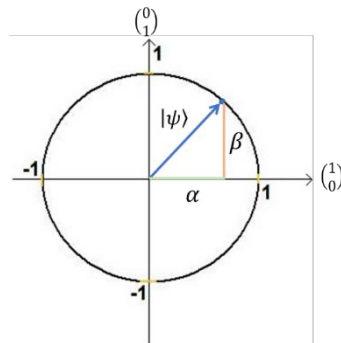


Abbildung 1: Darstellung Qubit im Einheitskreis

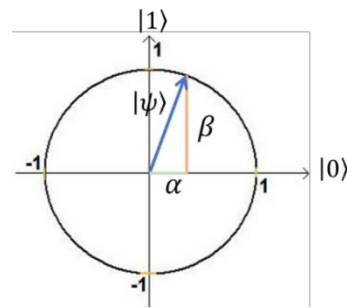


Abbildung 2: Erklärung Messung im Einheitskreis

² Unter der quantenphysikalischen Verschränkung von Qubit versteht man, vereinfacht gesagt, eine spezielle Verbindung zwischen Qubits, die dazu führt, dass sie sich gegenseitig beeinflussen. Bei verschränkten Qubits hat die Veränderung eines Qubits die gleichzeitige Veränderung des bzw. der anderen Qubits unabhängig von der Entfernung zur Folge. Vgl. hierzu [Br99].

Wegen der Regel $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$ muss der Vektor $\vec{\psi}$ auf dem Einheitskreis liegen, für $|\alpha|, |\beta| \in \mathbb{R}$.

2.3 Dirac-/ Bra-Ket Notation

In der Quantenphysik werden Qubits in der Regel nicht als Vektoren $\vec{\psi}$, sondern in der Dirac-Notation oder Bra-Ket-Notation als $|\psi\rangle$ geschrieben. Diese von Paul Dirac entwickelte Notation unterteilt sich in „Bras“ (Zeilenvektoren) und „Kets“ (Spaltenvektoren).

Die Basiszustände eines Qubits werden als Kets $|0\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \end{pmatrix}$ und $|1\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \end{pmatrix}$ dargestellt. Somit kann ein allgemeines Qubit geschrieben werden als: $|\psi\rangle = \alpha \cdot |0\rangle + \beta \cdot |1\rangle$.

Für mehrere Qubits wird die Notation erweitert. Beispielsweise werden zwei Qubits im Zustand $|01\rangle$ dargestellt. Bei der Multiplikation von Bras mit Kets ergibt sich das Skalarprodukt, welches als $\langle\psi|\psi\rangle = |\psi|^2$ geschrieben wird. Multipliziert man hingegen ein Ket mit einem Bra, ist das Ergebnis eine Matrix M , was einem Tensorprodukt entspricht. Die Dirac-Notation ist in der Quanteninformatik eine gängige Abkürzung für algebraische Operationen.

2.4 Messung

Wichtig ist, dass ein Qubit zwar, wie gesehen, über Null und Eins hinaus auch verschiedene Zwischenzustände annehmen kann, dass das Qubit allerdings bei einer Messung, also einem Zugriff, einen der beiden definierten Zustände annimmt, nämlich $|0\rangle$ oder $|1\rangle$. Das Messergebnis wird dann in herkömmlichen Bits gespeichert. [Ba21] Am besten lässt sich der Vorgang der Messung anhand des Beispiels aus Abbildung 2 erklären.

Wie immer gilt die Voraussetzung $|\alpha|^2 + |\beta|^2 = 1$, wobei man $|\alpha|^2 + |\beta|^2$ auch als Wahrscheinlichkeiten sehen kann. Somit wäre die Formel folgende:

$$P_\alpha + P_\beta = 1$$

Hier gilt: $|\beta|^2 > |\alpha|^2$, daher muss $P_\alpha < P_\beta$ sein. Daraus kann man folgern, dass man häufiger eine $|1\rangle$ als eine $|0\rangle$ messen würde.

3 Grover-Algorithmus in Quantencomputern

Mit den gewonnenen Erkenntnissen über die Berechnungsweise von Quantenschaltung und die Funktionsweise der Quantengatter, insbesondere des Hadamard-Gatters, kann man einen der wichtigsten Algorithmen der Quantencomputer, den Grover-Algorithmus, betrachten. Dieser wurde von dem indisch-amerikanischen Informatiker Lov Grover

entwickelt und im Jahre 1996 veröffentlicht. [Gr96]

3.1 Einleitung Grover-Algorithmus

Der Algorithmus von Grover ist ein Funktionsinvertierer. Das heißt, vereinfacht gesagt, dass man das Ergebnis bereits kennt, jedoch nicht das „Urbild“. Der Algorithmus ermittelt folglich den passenden Eingangswert bei gegebener Lösung. Mathematisch gesehen findet man zu

$$y = f(x)$$

die Umkehrfunktion

$$x = f^{-1}(y)$$

Ein wichtiger Anwendungsbereich für den Grover-Algorithmus ist die Durchsuchung unsortierter Datenbanken [Le20]. Ein praktisches Beispiel ist, dass man einen Anruf von einer unbekannten Telefonnummer erhält und wissen möchte, wer angerufen hat.

$$\text{Telefonnummer} = f(\text{Name})$$

führt zu

$$\text{Name} = f^{-1}(\text{Telefonnummer})$$

Da das Ergebnis bekannt ist (Telefonnummer), kann man durch Umkehrung der Funktion den Namen ermitteln.

Andere praktische Anwendungsfelder des Grover-Algorithmus sind zum einen die Kryptographie, konkret sein Einsatz bei der Entschlüsselung von Codes, und zum anderen die Lösung von Optimierungsproblemen, d.h. die Suche nach dem optimalen Lösungsweg. [Ho22] Im Gegensatz zu klassischen Brute-Force-Algorithmen kann der Grover-Algorithmus eine quadratische Geschwindigkeitsverbesserung bieten und ist damit als Quantenalgorithmus herkömmlichen Methoden überlegen. [Le20] Wichtig ist, dass der Grover-Algorithmus ein probabilistischer Algorithmus ist. [Gr97] Er arbeitet mit Wahrscheinlichkeiten. Dies bedeutet, dass er mit hoher Wahrscheinlichkeit das korrekte Ergebnis findet.

Die Grundidee des Grover-Algorithmus besteht darin, eine Superposition aller möglichen Zustände des Systems zu erzeugen und dann die Wahrscheinlichkeit zu maximieren, das gesuchte Element zu finden. Dies wird durch die Anwendung von sogenannten „Grover-Iterationen“ erreicht. In jeder Wiederholung wird die Amplitude des gesuchten Elements verstärkt, indem man eine Spiegelung durchführt, wodurch sich die Amplituden der anderen Elemente verringern. Dieser Vorgang wird so oft durchgeführt, bis die Wahrscheinlichkeit, das gesuchte Element zu finden, möglichst nahe an 100 Prozent herankommt.

Der Grover-Algorithmus besteht aus den Schritten: Der Superposition, des Orakels und

der Inversionsspiegelung. [Ho22]

Schritt 1: Superposition: Die Qubits werden zunächst in die Superposition überführt. Darunter versteht man das quantenmechanische Prinzip, dass ein System gleichzeitig in mehreren möglichen Zuständen (auch anderen Zuständen als nur $|0\rangle$ und $|1\rangle$) existieren kann, solange keine Messung erfolgt. Formal wird dies durch den Superpositionsvektor $|s\rangle$ beschrieben: [Gr97]

$$|s\rangle = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} |x\rangle$$

Jeder Basiszustand $|x\rangle$ repräsentiert hierbei eine mögliche Konfiguration der Qubits. Die gleichmäßige Verteilung der Amplituden stellt sicher, dass alle Zustände mit identischer Wahrscheinlichkeit in die weitere Verarbeitung des Algorithmus eingehen.

Schritt 2: Orakel: Das sogenannte „Orakel“ ist vereinfacht gesagt ein Suchfilter bzw. eine Art Prüfroutine, die als eine von außen nicht zugängliche „Black Box“ arbeitet. [Ho22] Es identifiziert das gesuchte Element, das in der Regel als Winner $|\omega\rangle$ benannt wird.³ Bei der Anwendung des Orakels wird $|s\rangle$ an einem Vektor $|s'\rangle$ gespiegelt, der zwei Bedingungen erfüllen muss: Zum einen muss er orthogonal zum identifizierten Element $|\omega\rangle$ stehen und zum anderen muss er sich in derselben Ebene befinden, die von $|s\rangle$ und $|\omega\rangle$ aufgespannt wird. Dadurch wird eine Invertierung der Amplitude des gesuchten Vektors vorgenommen. Das erfolgt mit der nachfolgend beschriebenen Operation U_ω : [L.02]

$$U_\omega = I - 2|\omega\rangle\langle\omega|$$

Schritt 3: Inversionsspiegelung: Die Inversions-Operation U_s spiegelt sodann den erzeugten Vektor $U_\omega|s\rangle$ an dem Superpositionsvektor $|s\rangle$ und „dreht“ damit den erzeugten Vektor $U_\omega|s\rangle$ zur richtigen Lösung $|\omega\rangle$ hin [SS09]. Die dafür notwendige Operation ist:

$$U_s = 2|s\rangle\langle s| - I$$

Schritt zwei und Schritt drei werden zumeist wiederholt, um die Wahrscheinlichkeit, das gesuchte Element zu finden, zu maximieren (sogenannte Iteration). [Gr97], [SS09] Am Ende der Durchführung des Grover-Algorithmus erfolgt die Messung, um das gesuchte Element zu finden. [Gr96]

Damit lässt sich der Grover-Algorithmus G wie folgt in einer Zeile darstellen:

$$G = U_s U_\omega |s\rangle,$$

wobei die Iteration, U_s und U_ω , k-mal wiederholt werden, um das Ergebnis zu optimieren.⁴

³ Der Name „winner“ bezeichnet den „Gewinner“, also das gesuchte Element.

⁴ Siehe unten die exakte Erläuterung zur erforderlichen Anzahl der Iterationen in Kapitel 3.9

3.2 Vereinfachte Durchführung im dreidimensionalen Raum

Die abstrakte Durchführung des Grover-Algorithmus führt schnell zu unübersichtlichen Matrizen, da man sich schon bei zwei Qubits in einem vierdimensionalen Raum der komplexen Zahlen bewegt. Man kann aber die Funktionsweise des Grover-Algorithmus auch vereinfacht im dreidimensionalen Raum darstellen und daran erklären. Wichtig ist, dass die Vektoren nun klassische Vektoren des dreidimensionalen Raums sind und keine Qubits, was aber für die mathematische Betrachtung irrelevant ist. Die Vektoren sind wie bei Qubits genormt auf Einheitsvektoren der Länge 1. Dies vorausgeschickt, wird unten der Grover-Algorithmus nach den eben beschriebenen Schritten durchgeführt. Dabei erfolgt zur Veranschaulichung die geometrische Darstellung im dreidimensionalen Raum und im Anhang algebraisch die relevante Matrizen-Vektorrechnung.

3.3 Superposition geometrisch betrachtet

Im dreidimensionalen Raum „spiegelt“ man den Vektor erst um 45° von der x-Achse aus zur z-Achse und „überlagert“ sozusagen den x-Wert mit dem z-Wert. Anschließend wird der Vektor hoch um 45° in Richtung der positiven y-Achse gespiegelt. Damit entsteht das folgende dreidimensionale Bild:

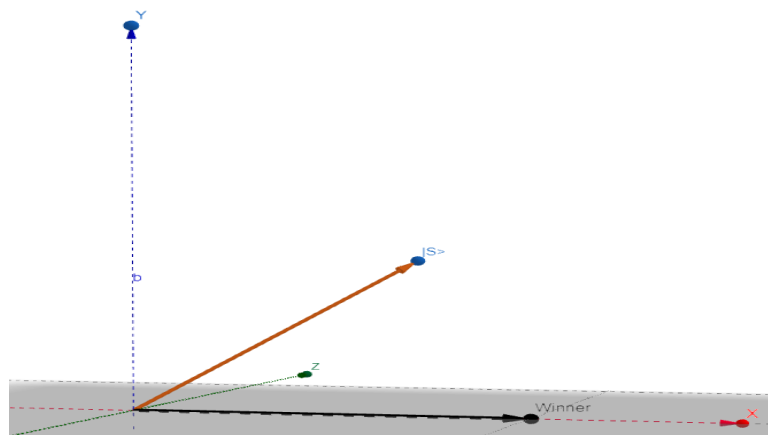


Abbildung 3: Grover-Algorithmus in 3-D Darstellung

In einer theoretischen Amplitudendarstellung gegen die Achsen x, y, z, erhielte man anteilig für jede Achse eine Amplitude von $\frac{1}{\sqrt{3}}$. Damit ergäbe sich folgendes Bild:

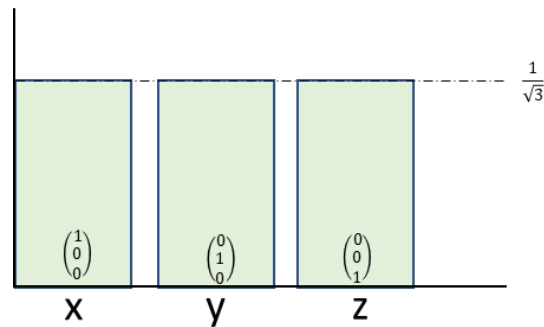
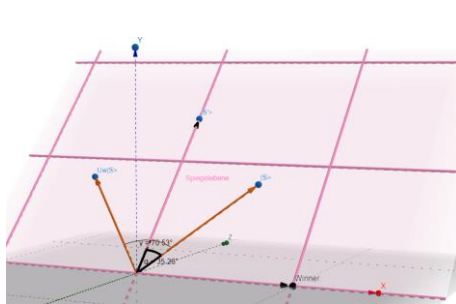
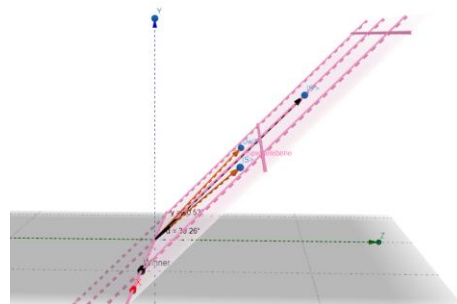


Abbildung 4: Amplitudendarstellung

Es zeigt sich, dass die Amplituden keine Ausprägung aufweisen. Das sogenannte Orakel ist der nächste Schritt des Grover-Algorithmus.

3.4 Orakel geometrisch betrachtet

Geometrisch betrachtet entspricht das Orakel einer Spiegelung an einem Vektor $|s'\rangle$, der orthogonal zu $|\omega\rangle$ ist und sich in derselben Ebene (im Bild unten in der Farbe Magenta) wie $|s\rangle$ befindet. Der Vektor $|s'\rangle = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ erfüllt diese Eigenschaften. Das folgende Bild veranschaulicht die Spiegelung des Superpositionsvektors $|s\rangle$ in diesem Beispiel um $70,53^\circ$ auf $U_\omega|s\rangle$.

Abbildung 5: Spiegelung des Superpositionsvektors an $|s'\rangle$ Abbildung 6: Perspektivische Ansicht: Spiegelung des Superpositionsvektors an $|s'\rangle$

Perspektivisch gezeichnet ist deutlich ersichtlich, dass die Spiegelung nur in einer Ebene stattfindet.

Es ist erkennbar, dass sich alle Vektoren in einer Ebene befinden. Der neue Vektor

$|\omega'\rangle = U_\omega|s\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$ hat dann in der Amplitudendarstellung eine negative Amplitude bei x :

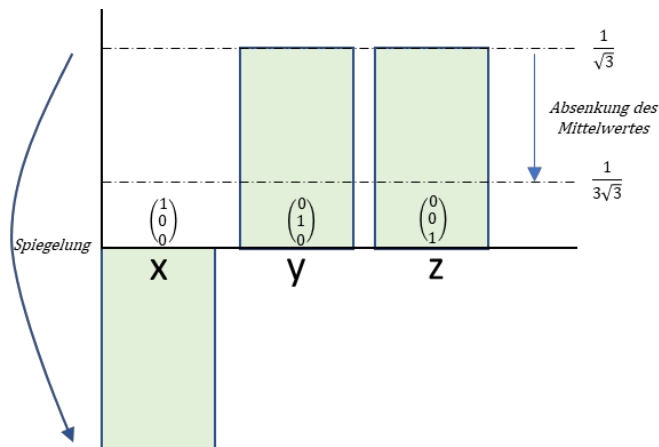


Abbildung 7: Spiegelung in der Amplitudendarstellung

Durch diese Spiegelung wird somit der Mittelwert der Amplituden auf $\frac{1}{3} \left(\frac{1}{\sqrt{3}} + \frac{1}{\sqrt{3}} - \frac{1}{\sqrt{3}} \right) = \frac{1}{3\sqrt{3}}$ abgesenkt. Nach der Superposition und dem Orakel ist die Inversionsspiegelung der dritte Schritt des Grover-Algorithmus.

3.5 Inversion geometrisch betrachtet

Der erzeugte Vektor $U_\omega|s\rangle$ wird an dem ursprünglichen Superpositionsvektor $|s\rangle$ gespiegelt. Man „dreht“ damit das Ergebnis in die Richtung des Winners $|\omega\rangle$.

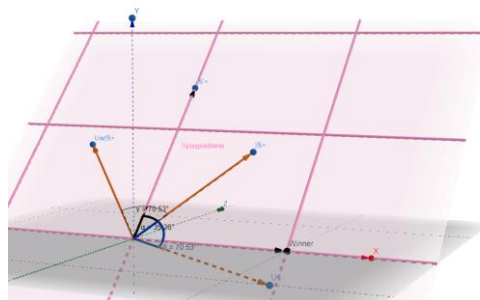


Abbildung 8: Drehung an $|s\rangle$

In der Amplitudendarstellung lässt sich das als Spiegelung der Amplitude um den abge-

senkten Mittelwert $\frac{1}{3\sqrt{3}}$ veranschaulichen. Durch die Spiegelung wird der markierte Winner-Vektor $|\omega\rangle$ -Anteil verstärkt und die anderen Zustände abgeschwächt.

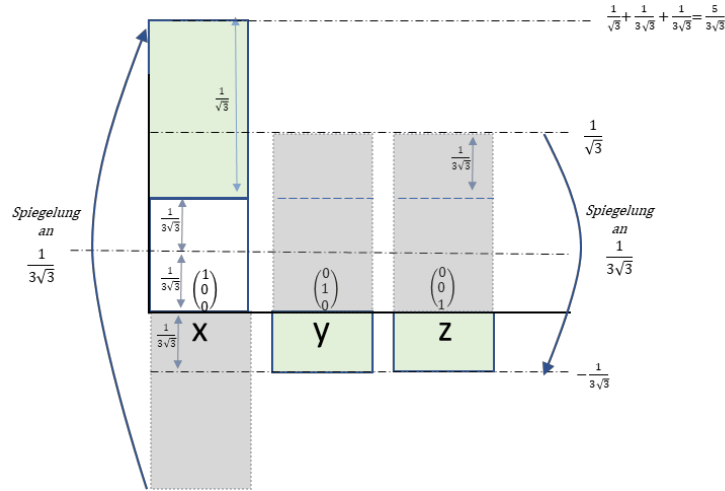


Abbildung 9: finale Amplitudenspiegelung

In dem hier beschriebenen konkreten Beispiel steigt der gesuchte x -Anteil auf $\frac{5}{3\sqrt{3}}$, während die anderen y und z Anteile abgeschwächt werden. Damit zeigt auch die geometrische Darstellung, dass der Vektor im vorliegenden Beispiel nach nur einer Iteration seinen gewünschten Zielzustand erreicht. Weitere Iteration würden ihn wieder „wegdrehen“ und die Wahrscheinlichkeit des Winners P_w verringern.

3.6 Anzahl benötigter Iterationen

Wenngleich im oben dargestellten Beispiel zur vereinfachten Darstellung lediglich eine Iteration für den gewünschten Zielzustand ausreichte, muss, wie eingangs erwähnt, in der Regel der Grover-Algorithmus mehrmals durchgeführt werden, um ein optimales Ergebnis zu erhalten. [Ka21] Zur Berechnung der Anzahl der notwendigen Iterationen betrachtet man die Ebene, die von dem Winner $|\omega\rangle$ und dem Superpositionsvektor $|s\rangle$ aufgespannt wird.

Damit man $|s\rangle$ möglichst nah zu $|\omega\rangle$ „hindreht“, muss der Winkel $\frac{\pi}{2} - \theta$ möglichst klein werden. Dieser Winkel lässt sich mit der Standardformel für einen Vektor zwischen zwei Winkeln berechnen:

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \frac{\langle \omega | s \rangle}{|\omega| \cdot |s|}$$

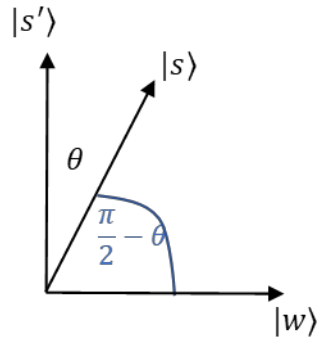


Abbildung 10: Drehwinkel bei Grover

Da es sich aber um normierte Einheitsvektoren handelt, kann die Formel wie folgt weiter vereinfacht werden:

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \frac{\langle w|s \rangle}{1 \cdot 1}$$

Die aufgespannte Ebene zwischen $|w\rangle$ und $|s\rangle$ ergibt das Skalarprodukt $\langle w|s \rangle$ der Vektoren $\frac{1}{\sqrt{N}}$. Da für den Superpositionsvektor $|s\rangle$ gilt [Gr97]

$$|s\rangle = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} |x\rangle$$

und für Winner Folgendes vorausgesetzt ist [SS09],

$$|w\rangle = \begin{cases} x_i = 0, & x \neq \text{winner} \\ x_i = 1, & x = \text{winner} \end{cases}$$

ergibt sich zwingend:

$$\langle w|s \rangle = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Daraus folgt diese Gleichung:

$$\cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) = \sin(\theta) = \frac{1}{\sqrt{N}}$$

Für große N ergibt sich näherungsweise, dass $\sin(\theta) \leq \theta$ ist. Da θ sehr klein ist, verwendet man die Kleinwinkelnäherung: [Ho22]

$$\frac{1}{\sqrt{N}} \approx \theta$$

Betrachtet man nochmal die Spiegelung im zweidimensionalen Raum, ergibt sich für eine Drehung folgendes Bild:

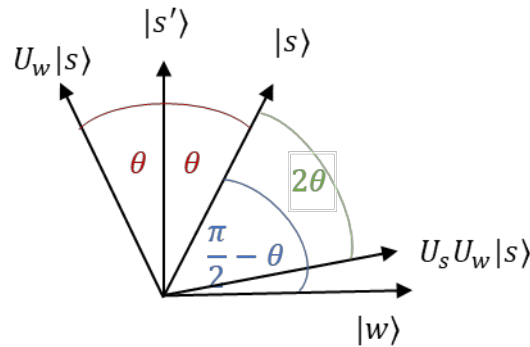


Abbildung 11: Komplette Drehung beim Grover-Algorithmus

Wenn nun eine Anzahl von k Spiegelungen durchgeführt wird - wobei $k \in \mathbb{N}$ gilt - ist der Winkel zwischen $|s\rangle$ und $U_s U_w |s\rangle$ gleich $k \cdot 2\theta$. Dabei soll möglichst wieder exakt $\frac{\pi}{2} - \theta$ erreicht werden, weshalb die nachfolgende Bedingung gilt: [Ho22]

$$\frac{\pi}{2} - \theta = k \cdot 2\theta$$

$$\frac{\pi}{4\theta} - \frac{1}{2} = k$$

Setzt man nun die Näherung $\frac{1}{\sqrt{N}} \approx \theta$ ein, ergibt sich folgendes:

$$\frac{\pi}{4 \cdot \frac{1}{\sqrt{N}}} - \frac{1}{2} = \frac{\pi}{4} \sqrt{N} - \frac{1}{2} \approx k$$

Da $k \in \mathbb{N}$ ist, wird gerundet und es ergibt sich:

$$k \approx \left(\frac{\pi}{4} \sqrt{N} - \frac{1}{2} \right) \Rightarrow k \sim \sqrt{N}$$

Dies bedeutet, dass der Grover-Algorithmus proportional zu $\sqrt{N}$ Iteration ist, um das gesuchte Ergebnis zu bekommen. Damit ist er wesentlich besser als ein herkömmlicher Algorithmus, der im Durchschnitt $\frac{N}{2}$ Iterationen braucht, um zum Ergebnis zu kommen.⁵ Bei einer hohen Anzahl an Datenbankeinträgen zeigt daher der Grover-Algorithmus einen klaren Geschwindigkeitsvorteil. Der Mathematiker J. C. Zalka hat sogar bewiesen, dass der Grover-Algorithmus im Vergleich zu anderen Algorithmen für die Suche in unsortierten Datenbanken die geringstmögliche Anzahl an durchschnittlich benötigten Versuchen aufweist. [Za99]

⁵ L. K. Grover hat auch gezeigt, dass $\sqrt{N}$ das Optimum ist, was man erwarten kann [Gr97].

4 Vorteile und Nachteile des Grover-Algorithmus

Der entscheidende Vorteil des Quantencomputers im Vergleich zu klassischen Computern ist die Geschwindigkeit. Es ist der optimale Algorithmus für die Suche in unsortierten Datenbanken. [Za99]

Veranschaulichen lässt sich dies gut anhand des einleitend zum Grover-Algorithmus beschriebenen Beispiel des Telefonanrufs. Man sieht die Telefonnummer, weiß allerdings nicht, wer angerufen hat. Die unsortierte Datenbank, in der die passenden Namen zur Nummer gesucht werden, hat beispielsweise 10 Milliarden Einträge. Ein Computer, der mit einem Brute Force Algorithmus arbeitet, braucht durchschnittlich $\frac{N}{2}$ Iterationen, also ca. 5 Milliarden Versuche, um auf das richtige Ergebnis zu kommen. Im Gegensatz dazu benötigt ein Quantencomputer, der den Grover-Algorithmus verwendet, nur $\sqrt{N}$ Iteration, also ca. 100.000 Versuche, um mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit auf das richtige Ergebnis zu kommen. Das heißt, der Quantencomputer mit dem Grover-Algorithmus ist rund um das 50.000-fache schneller als ein klassischer Algorithmus.

Jedoch gibt es derzeit noch Nachteile bzw. Herausforderungen bei der Nutzung des Quantencomputers. Eine Herausforderung bezieht sich vorwiegend auf den Stand der Technik bei Quantencomputern. Um Algorithmen wie den Grover-Algorithmus auszuführen zu können, benötigt man einen leistungsfähigen Quantencomputer mit ausreichend vielen Qubits und einer langen Kohärenzzeit, also die Zeitspanne, in der sie ihren Quantenzustand behalten können. Die Kohärenzzeit ist jedoch bei den derzeitigen Prototypen von Quantencomputern aufgrund der Anfälligkeit für Störungen noch begrenzt. Somit kann man nicht lange mit Quantencomputern arbeiten. Zusätzlich müssen genaue und fehlerresistente Quantengatter und -operationen implementiert werden, um die Qubits zu manipulieren und den Algorithmus durchzuführen. Dies ist bisher auch nur begrenzt möglich [SSW20].

Konkret bezogen auf den Grover-Algorithmus ist die eigentliche Herausforderung das Orakel. [PO21] Es muss effizient und umkehrbar sein, was bedeutet, dass es schnell berechnet und leicht rückgängig gemacht werden kann. Die Entwicklung eines solchen Orakels ist jedoch sehr anspruchsvoll, insbesondere für komplexe oder unbekannte Funktionen. Es sind manchmal zusätzliche Qubits oder Quantengatter notwendig, um das Orakel zu implementieren, wodurch wiederum die Komplexität des Algorithmus erhöht wird. Wenngleich die Theorie des Grover-Algorithmus nachvollziehbar ist, ist es in der Praxis derzeit bei komplexeren Fragestellungen noch eine Herausforderung, wie man das Orakel „baut“. Es wird noch Zeit und Forschungsarbeit benötigen, um die Theorie des Grover-Algorithmus auch für komplexere Anwendungen in der Praxis in Quantencomputern umzusetzen.

Trotz dieser Herausforderungen bleibt der Grover-Algorithmus gerade wegen seines Geschwindigkeitsvorteils gegenüber klassischen Algorithmen sehr vielversprechend und hat das Potenzial, in zukünftigen Bereichen der Quanteninformatik erfolgreich ange-

wandt zu werden.

5 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Welt der Quantencomputer seit den berühmten Worten von Richard Feynman im Jahr 1964 große Fortschritte gemacht hat. Was einst als unverständlich und mysteriös galt, ist heute zunehmend erforscht, mathematisch analysiert, visualisiert und teilweise auch bereits praktisch umgesetzt.

Einer der bedeutenden Quanten-Algorithmen ist der Grover-Algorithmus. Er zielt darauf ab, in unsortierten Datenbanken die richtige Lösung effizient zu finden. Er nutzt die quantenmechanische Superposition und ermöglicht es, durch Iteration von Orakel und Inversionsspiegelung die benötigten Schritte für die Suche der richtigen Lösung im Vergleich zu klassischen Suchalgorithmen drastisch zu reduzieren. Beim Grover-Algorithmus wurde die zugrundeliegende Mathematik im Detail analysiert und zur Vereinfachung im dreidimensionalen Raum graphisch erläutert. Im Anhang befinden sich die vereinfachte algebraische Betrachtung im dreidimensionalen Raum sowie ein Link zur praktischen Vertiefung der Thematik und Simulation des Algorithmus mit 2 und 3 Qubits mit Hilfe eines Jupyter Notebooks.

Doch jenseits der mathematischen Eleganz liegt die eigentliche Bedeutung in den künftigen Anwendungsmöglichkeiten. Gerade für datenintensive Bereiche wie die Verwaltungsinformatik und Rechtsinformatik könnten Quantenalgorithmen in Zukunft einen entscheidenden Fortschritt darstellen: So könnten sie etwa beim Abgleich von Massendaten, der Analyse komplexer Verwaltungsprozesse oder der automatisierten Prüfung juristischer Dokumente neue Effizienzpotenziale eröffnen. Auch bei der Entwicklung neuer kryptografischer Verfahren zum Schutz sensibler Verwaltungs- und Rechtsdaten werden quanteninspirierte Ansätze eine Rolle spielen.

In einer Zeit, in der Daten in immer größerer Menge verfügbar sind, eröffnet die praktische Nutzung von Quantencomputern mit Hilfe von Anwendungsalgorithmen wie dem Grover-Algorithmus weitreichende Möglichkeiten. Mittel- bis langfristig ist auch ein Internet der Quantencomputer vorstellbar, welches das Potential für Anwendungen nochmals erweitern würde. [WEH18]. Die Erforschung und Entwicklung von Quantencomputern im Allgemeinen sowie Algorithmen wie dem von Grover im Speziellen ist daher von entscheidender Bedeutung, um das volle Potenzial von Quantencomputern zu erschließen.

Literaturverzeichnis

- [Ba21] Banks, T.: Quantum Mechanics. An introduction. Taylor&Francis, Boca Raton, London, New York, 2021.
- [Br99] Briegel, H.-J. et al.: Quantum computing with neutral atoms, 1999.
- [EB05] Einstein, A.; Born, M.: Albert Einstein, Max Born Briefwechsel. 1916-1955. Langen-Müller, München, 2005.
- [GK17] Gehrke, J.P.; Köberle, P. Hrsg.: Moderne Physik. De Gruyter, 2017.
- [Gr96] Grover, L. K.: A fast quantum mechanical algorithm for database search, S. 212–219, 1996.
- [Gr97] Grover, L. K.: Quantum Mechanics Helps in Searching for a Needle in a Haystack. Physical Review Letters 2/79, S. 325–328, 1997.
- [Ho22] Homeister, M.: Quantum Computing verstehen. Grundlagen - Anwendungen - Perspektiven. Springer Vieweg, Wiesbaden, Heidelberg, 2022.
- [Ka21] Kasirajan, V.: Fundamentals of quantum computing. Theory and practice. Springer Nature, Cham, Switzerland, 2021.
- [L.02] L. K. Grover: Tradeoffs in the quantum search algorithm, S. 1–13, 2002.
- [Le20] Lenze, B.: Mathematik und Quantum Computing. Logos Verlag Berlin, Berlin, 2020.
- [PO21] Pronin, C. B.; Ostroukh, A. V.: Developing Mathematical Oracle Functions for Grover Quantum Search Algorithm. arXiv, 2021.
- [R.84] R. Fehnman: The Character of Physical Law. M.I.T Press, Massachusetts, 1984.
- [SS09] Sturm, T. F.; Schulze, J.: Quantum Computation aus algorithmischer Sicht. Oldenbourg, München, 2009.
- [SSW20] Swan, M.; Santos, R. P. d.; Witte, F.: Quantum computing. Physics, block-chains, and deep learning smart networks. World Scientific, New Jersey, London, Singapore, Beijing, Shanghai, Hong Kong, Taipei, Chennai, Tokyo, 2020.
- [WEH18] Wehner, S.; Elkouss, D.; Hanson, R.: Quantum internet: A vision for the road ahead. Science (New York, N.Y.) 6412/362, 2018.
- [Za99] Zalka, C.: Grover’s quantum searching algorithm is optimal. Physical Review A 4/60, S. 2746–2751, 1999.

Anhang: Algebraische Betrachtung des Grover Algorithmus

Als Ergänzung zur geometrischen Darstellung wird nachfolgend der Grover Algorithmus in vereinfachter Form algebraisch betrachtet, und zwar in den drei Schritten Superposition, Orakel und Inversion.

Superposition algebraisch betrachtet

Man bringt einen Einheitsvektor, das Qubit, im dreidimensionalen Raum in die Superposition, indem die Beträge der x, y und z Elemente exakt gleich sind. Algebraisch lässt sich dies folgendermaßen darstellen:

$$|s\rangle = \frac{1}{\sqrt{N}} \sum_{x=0}^{N-1} |x\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} \sum_{x=0}^{3-1} |x\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Orakel algebraisch betrachtet

Zur Darstellung des Orakels wird als Beispiel Vektor $|\omega\rangle = \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ als gesuchter Vektor definiert. Um diesen Vektor erfolgreich zu markieren, ist bei der Durchführung der Operator U_ω auf $|s\rangle$ anzuwenden. Dieser Vorgang entspricht einer Amplituden Spiegelung des gesuchten Elements. Algebraisch kann der Operator U_ω wie folgt dargestellt werden:

$$U_\omega = (I - 2|\omega\rangle\langle\omega|)$$

$$U_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - 2 \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \otimes (1 \ 0 \ 0) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - 2 \begin{pmatrix} 1 \cdot (1 \ 0 \ 0) \\ 0 \cdot (1 \ 0 \ 0) \\ 0 \cdot (1 \ 0 \ 0) \end{pmatrix} =$$

$$U_\omega = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - 2 \cdot \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$U_\omega = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Angewandt auf den Superpositionsvektor $|s\rangle$ erhält man den gespiegelten Vektor $U_\omega|s\rangle$, auch $|\omega'\rangle$ genannt, mit negativer Amplitude.

$$|\omega'\rangle = U_\omega|s\rangle$$

$$|\omega'\rangle = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} -1 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 \\ 0 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 0 \cdot 1 \\ 0 \cdot 1 + 0 \cdot 1 + 1 \cdot 1 \end{pmatrix}$$

$$|\omega'\rangle = U_\omega |s\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Inversion algebraisch betrachtet

Um den Vektor $U_\omega |s\rangle$ in Richtung des Winners $|\omega\rangle$ zu drehen, wird die Inversionspiegelung U_s am anfänglichen Superpositionsvektor $|s\rangle$ durchgeführt. Diese lässt sich durch den folgenden Operator U_s darstellen:

$$U_s = (2|s\rangle\langle s|) - I =$$

$$U_s = 2 \cdot \left(\begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \otimes \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \right) - I = 2 \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \\ \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{pmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} & \frac{1}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \end{pmatrix} - I$$

$$U_s = 2 \cdot \begin{bmatrix} \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \\ \frac{1}{3} & \frac{1}{3} & \frac{1}{3} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{2}{3} & \frac{2}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & \frac{2}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & \frac{2}{3} & \frac{2}{3} \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$U_s = \begin{bmatrix} -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \end{bmatrix}$$

Damit ist der Operator U_s berechnet. Sodann wendet man diesen auf $U_\omega |s\rangle$ an, um den Grover-Algorithmus für die erste Iteration abzuschließen:

$$U_s U_\omega |s\rangle = \begin{bmatrix} -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} & \frac{2}{3} \\ \frac{2}{3} & \frac{2}{3} & -\frac{1}{3} \end{bmatrix} \frac{1}{\sqrt{3}} \begin{pmatrix} -1 \\ 1 \\ 1 \end{pmatrix} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{pmatrix} \left(\left(-\frac{1}{3} \right) \cdot -1 \right) + \frac{2}{3} \cdot 1 + \frac{2}{3} \cdot 1 \\ \left(\frac{2}{3} \cdot -1 \right) + \left(\left(-\frac{1}{3} \right) \cdot 1 \right) + \frac{2}{3} \cdot 1 \\ \left(\frac{2}{3} \cdot -1 \right) + \frac{2}{3} \cdot 1 + \left(-\frac{1}{3} \right) \cdot 1 \end{pmatrix}$$

$$U_s U_\omega |s\rangle = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \begin{pmatrix} \frac{5}{3} \\ \frac{1}{3} \\ -\frac{1}{3} \end{pmatrix}$$

Dieser Vektor lässt sich auch mit den Einheitsvektoren darstellen:

$$U_s U_\omega |s\rangle = x_{U_s U_\omega |s\rangle} \cdot \begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} + y_{U_s U_\omega |s\rangle} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + z_{U_s U_\omega |s\rangle} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Vektor $\begin{pmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ dem gesuchten Winner $|\omega\rangle$ entspricht.

$$U_s U_\omega |s\rangle = x_{U_s U_\omega |s\rangle} \cdot |\omega\rangle + y_{U_s U_\omega |s\rangle} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} + z_{U_s U_\omega |s\rangle} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix}$$

Misst man jetzt den Ergebnisvektor $U_s U_\omega |s\rangle$ gegen die Achsen, bekommt man mit einer nachfolgend errechneten hohen Wahrscheinlichkeit von 92,6 % als Ergebnis den gewünschten Vektor $|\omega\rangle$:

$$P_{|\omega\rangle} = |x_{U_s U_\omega |s\rangle}|^2 = \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \frac{5}{3} \right|^2 = 0,926$$

Dies bedeutet im Umkehrschluss, dass die Wahrscheinlichkeit der Messung der anderen Zustände minimal ist:

$$\overline{P_{|\omega\rangle}} = |y|^2 + |z|^2 = 2 \cdot \left| \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot -\frac{1}{3} \right|^2 = 2 \cdot 0,037 = 0,074$$

Dieses Beispiel zeigt, dass der Grover-Algorithmus hier mit nur einer Iteration mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit in der Lage ist, den gesuchten Vektor $|\omega\rangle$ zu finden.

Weiterführende Informationen

Unter diesem Link von GitHub findet man zwei Jupyter Notebook Dateien zur Simulation des Algorithmus mit 2 und 3 Qubits, sodass der Leser die Berechnungen selbst simulieren kann.

<https://github.com/LK-tum/Grover-Algorithmus.git>

Autorenverzeichnis

A

Auth, Gunnar, 57, 87

B

Bauer, Luca, 13

Binder, Frank, 169

Bonagiri, Suresh Kumar, 157

Brückweh, Lina Neele Sophie Agnes, 117

D

Dörnemann, Robin, 13

F

Faber, David, 143

Feddoul, Leila, 157

Finster, Rebecca, 27

Fock, Steffen, 129

Frehe, Volker, 101

Freudenberg, Eric, 41

Fritzsche, Robin, 13

G

Glausch, Claudia, 169

Görner, Lars, 169

Grogorick, Linda, 27

H

Hakemeyer, Marie-Chantal, 117

Heyer, Gerhard, 169

Hünemohr, Holger, 57

K

Karg, Pirmin Mathias, 157

Kehl, Lionel, 181

Klewer, Norman, 157

König-Ries, Birgitta, 157

Korte, Niklas, 117

L

Laufkötter, Jörg, 101

Lehmann, Danny, 169

M

Mauch, Marianne, 157

Müller, Dirk, 41

Müller, Lydia, 169

N

Niehaves, Björn, 13, 129

O

Opitz, Georg, 87

P

Paritala, Balaramakrishna, 157

Pidun, Tim, 41

R

Rechu, Abhilash Reddy, 157

Robra-Bissantz, Susanne, 27

S

Schmittwilken, Jörg, 57

Schön, Sarah, 117

Sender, Lars, 101

Siebenlist, Tobias, 57

Siefken, Annika Marie, 117

Speckmann, Ann-Marie Charlott, 117

Spitzer, Vera, 71

U

Unger, Christoph, 157

W

Weber, Malte, 157

Wimmer, Maria, 71

Wyszynski, Marc, 129

Z

Zenner, Chris, 169

Gesellschaft für Informatik e.V. (GI)

publishes this series in order to make available to a broad public recent findings in informatics (i.e. computer science and information systems), to document conferences that are organized in co-operation with GI and to publish the annual GI Award dissertation.

Broken down into

- seminars
- proceedings
- dissertations
- thematics

current topics are dealt with from the vantage point of research and development, teaching and further training in theory and practice. The Editorial Committee uses an intensive review process in order to ensure high quality contributions.

The volumes are published in German or English.

Information: <https://www.gi.de/service/publikationen/lni/>

ISSN 2944-7682 (Online)

The eighth joint conference on legal and public administration informatics (RVI 2025, formerly FTVI & FTRI) aims to promote the dialog between science and practice and to substantially advance the digital transformation of government and administration by presenting and discussing scientifically validated findings. Digital transformation not only changes public services itself but also changes the way public administration is perceived by service providers as well as service consumers – both expecting and striving towards efficient, transparent and citizen-oriented methods and structures.