

# Proceedings of FDIBA 2024/2025

First FDIBA Summer Conference

2024 FDIBA Annual Conference, November 28 - 29

2025 FDIBA Annual Conference, November 26 - 27

FDIBA Conference Proceedings

Volume 8

**ISSN 2535–132X (Print)**

**ISSN 2535–1338 (Online)**

---

Tagungsband FDIBA      2024/2025

Erste FDIBA Sommerkonferenz

2024 FDIBA Jahreskonferenz, 28 - 29. November

2025 FDIBA Jahreskonferenz, 26 - 27. November

Tagungsbände der FDIBA Konferenz

Volumen 8

**ISSN 2535–132X (Gedruckt)**

**ISSN 2535–1338 (Online)**



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

With the financial support of the German Academic Exchange Service



Deutscher Akademischer Austauschdienst  
German Academic Exchange Service

Mit der Förderung des Deutschen Akademischen Austauschdienstes

#### **Technical Program Committee**

Chair: Prof. Dr. Marin Marinov

Prof. Dr. Lidia Galabova  
Prof. Dr. Thomas Heupel

#### **Organisation Committee**

Chair: Assist. Prof. Dr. Boris Kirov

Georgi Nenov  
Maria Kalcheva

First FDIBA Summer Conference and 14th FDIBA Conference, November 28 – 29, 2024 FDIBA  
Conference Proceedings, 2024, Volume 8  
Assist. Prof. Dr. Boris Kirov, Prof. Dr. Lidia Galabova, Prof. Dr. Thomas Heupel (Eds.) Book size  
A4-ISO (210 × 297 mm), pages  
Paperback  
Published by  
Sofia, Bulgaria  
December 2025  
ISSN 2535–132X (Printed)  
ISSN 2535–1338 (Online)

# Contents

Access Control Algorithm	
Aleksandar Marinchev <sup>†</sup> , Toshko Pavlov*, Stanislav Enev <sup>‡</sup> , Vassil Galabov, Jordan Ostrev .....	1
Development of a mathematical or numerical model for the evaluation of plastic gears	
Arakel Bochosyan.....	5
Preprocessing Strategies for MRI and CT Images of the prostate in Neural Network Applications	
Diana S. Tsvetkova .....	9
Russland kann kein verlässlicher Partner sein!	
Franz Peter Lang, Vedat Kanat .....	15
Renaissance of Nuclear Power Energy	
Nikolay Kambosev .....	27
Modeling Financial Clients: Insights from Deep Neural Networks and Logistic Regression Approaches	
Radoslav Keremidchiev .....	31
Design Approach Based on 5 UX Planes	
Svetla Lukanova Ivanova-Vassileva .....	35
Flicker check optimization for automotive information display	
Vergil Todorov Djamiykov*, Vasil T. Galabov <sup>†</sup> .....	39

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK

# Access Control Algorithm

## Zutrittskontrolle Algorithmus

Aleksandar Marinchev<sup>†</sup>, Toshko Pavlov\* Stanislav Enev<sup>‡</sup>, Vassil Galabov, Jordan Ostrev

\*Affiliation 1: FDIBA, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, t.pavlov@tu-sofia.bg

†Affiliation 2: FDIBA, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, amar@tu-sofia.bg

‡Affiliation 3: FDIBA, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, enev@tu-sofia.bg

**Abstract** — Access control systems are widespread, with a proven effect, and are therefore preferred by relatively many, especially by medium and large companies, where the effect of their implementation is even greater. Traditionally, they use appropriate sensors, actuators, specific hardware and software. Most often, access control systems work with databases containing specific information. Usually, many tasks are solved in areas such as security, cost control, etc. The article describes an implemented and working algorithm using information from a database of an access control system, which offers the creation of statistical information and accounting information presented directly in files of a different format - Excel files, and for this purpose it is not required to have a prior Microsoft Office, or text files. Software was designed and implemented using C++11/14.

**Zusammenfassung** — Zutrittskontrollsysteme sind weit verbreitet und haben eine nachgewiesene Wirkung. Daher werden sie von relativ vielen bevorzugt, insbesondere von mittleren und großen Unternehmen, bei denen die Wirkung ihrer Einführung noch größer ist.

### I. INTRODUCTION

In this article, we present an algorithm designed to process data from access control systems, providing auxiliary accounting analysis generated in a user-selected data format. The stated objectives of the proposed algorithm are to reduce the cost of access control systems, increase flexibility, improve reporting and security capabilities, and offer better data processing to the staff of companies that have an access control system. This is done automatically by the algorithm. Collections of documents are prepared for statistical purposes and accounting processing. It is only necessary for the user to state the number and type of documents for a selected number of persons and the time periods to which these documents refer. Access control systems usually solve issues related to ensuring access security and create and save most often useful information stored in a database, the processing of which requires specialized knowledge from the user of the system, which does not guarantee that the user will make mistakes, also from various additional points of view subject to additional scrutiny. Usually, access systems guarantee high reliability for the control they implement, but they are not designed and most often do not include other additional functionalities, such as data processing or document preparation. They carry out everything necessary to control authorized access to offices and buildings or other specific spaces - accessibility for authorized persons and refusal and non-admission of unauthorized persons. Through the proposed algorithm, similar processes are carried out automatically, which adds new functionalities to already built

access control systems and increases their competitiveness. The algorithm has been implemented in many companies working with a PostgreSQL database, but it is not dependent on the database management system and can be implemented for any other, for example, Microsoft SQL Server, Oracle, MySQL or others. The algorithm enables easy development and processing of both structured and unstructured data, incorporating advanced machine learning techniques and data analysis to identify patterns, anomalies and potential fraud. Users can easily generate custom reports and export them in various formats.

### II. INFORMATION THAT ACCESS CONTROL SYSTEMS WORK WITH

#### A. Data for persons with authorized access

The necessary information includes data on persons making access attempts, information on authorized persons having the right to access, other data related to the specific access control system. In Fig. 1 shows a general diagram of an access control system. It contains identification sensors, such as fingerprints, iris or retina sensors, chip-control sensors or others, specific hardware for 'open-closed' state access and, in the most general case, a database.

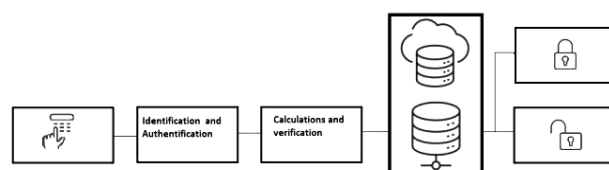


Fig. 1. General diagram of ACS

Access Control is a 24/7 electronic security solution providing physical and operational security whilst your premises and data open or closed. [2]

Access Control Systems works with credit data - fingerprints, biometric data, chip or other type of personal data. Depending on the type of credit data, it is stored in one or several database tables. They are usually digital data, multiple numbers representing, for example, a given fingerprint (rather than the fingerprint itself as a graphic file) or some other type of information for potential identification later in time. This information is used in the operation of the identification and authentication system [1][3].

Information read using a sensor is compared with previously entered information from a database, and when a data matching sufficiency criterion is met, an event is generated that completes the process. Possible events in turn cause states – ‘allowed’ or ‘forbidden’, as a minimum sufficiency of events for normal operation. This last step usually completes the access control scenario, and all events are usually stored. Events are associated with a set of data - the moment of the time of the event (year-month-day-hour-minute-second), data about the access control point and data about the person who passed identification and authentication.

### B. Data archive

The availability of powerful and affordable computers allows archiving of all events in a given access control system. Process history results are stored in databases. It can be processed by users with specific qualifications, but not all access control systems use this information in automatic mode. The use of archive information (as well as real-time information) without requiring the specified level of user qualification is one of the goals for creating the proposed algorithm.

### C. Other data

For example, specific information about automatically sending data from the system and documents to certain email addresses, phones, etc.

## III. GENERAL DESCRIPTION OF THE ALGORITHM

To implement the algorithm, software was designed and implemented - an application running under Windows, created using Visual Studio, C++ 14, MFC (Microsoft Foundation Classes) and STL (Standard Template Library); appropriate classes for graphical user interface, working with databases, a class for building an Excel file (but not necessarily requiring Microsoft Office to be installed previously or permanently) and working with it and other data formats have been created. The algorithm implements operations for connecting to the database, building and saving requests for preparing documents and operations for creating documents - files with results in different formats, preferably Excel. A sequence diagram is presented here (Fig. 2).

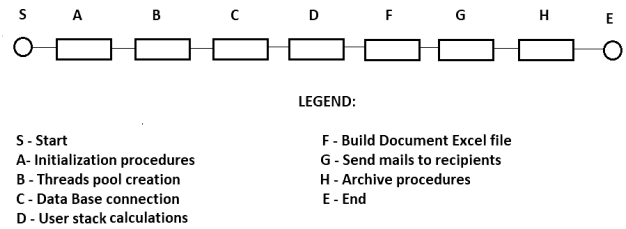


Fig. 2. Sequence diagram

These documents concern a random and pre-selected number of staff and refer to one or more pre-specified past periods of time. It is an option for the algorithm to send the documents to specified email addresses, but sending is not mandatory. Implementing these different scenarios is done with a collection of objects from database, GUI, and file handling classes. The base class is the AccessControl class presented in Fig.3. It contains a data member m\_excell, an object of the CExcell class, and through this object, after the necessary calculations, the Excel file representing the corresponding document is built. An object of the AccessControl class implements and maintains an archive for already prepared documents and their recipients.

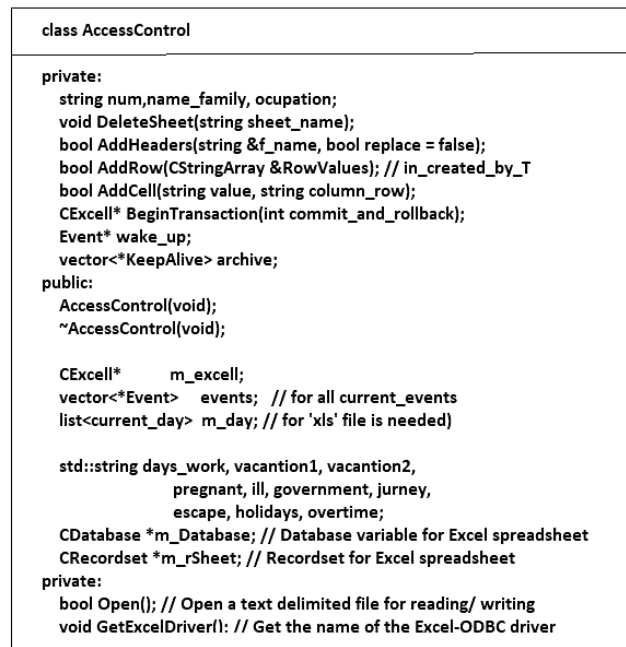


Fig. 3. Class diagram

Fig.3 shows a class diagram of the object class that is responsible for building an Excel file containing an accounting document previously selected from a menu. Object from that class is responsible to create and build all necessary documents. Some of the more important types of documents that the algorithm creates are:

- Early leave
- Late arrival
- Full time present
- Other specific staff document for a previously given time period

#### IV. SOME RESULTS

Two documents from the above are presented in Fig.4 and Fig.5. Also a useful functionality is the ability (if requested in advance) to prepare all documents for all time periods in just one Excel file containing the required number of Sheets for each of the documents.

A useful functionality required for accounting processing and documentation, which contains the proposed algorithm, is the selection of one or several time periods for which preselected one or several documents will be prepared. For example, staff availability (department, sub-department or a given employee), delays and early departures (for the periods) and for one, several employees or all for the selected time periods. For this purpose, it is necessary to first request these

data about employees, time periods and types of documents by the user through relevant menus. In the algorithm, this functionality is implemented through linked lists for each parameter – employees, time periods and types of documents. In this way, preparation of such documents does not require special knowledge and skills on the part of the user. This makes the algorithm extra reliable, because it saves money and guarantees accuracy and speed, as well as quick corrections in the content of documents if necessary, for example, the number of personnel or the amount of time periods for which documents have been prepared. New functionalities can be added to the proposed algorithm (or already existing ones can be changed) if the format and content of the documents need to be changed, if necessary. In practice, the algorithm adds several new threads for parallel processing to the standard scenario existing in

#	Name surname	fa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	
2	790105 Илиана Янкова Николаева	-	3:17	-	-	-	-	-	-	1:2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
3	731214 Трайко Трайков Соколов	-	0:44	-	-	-	0:0	0:58	7:38	8:37	-	-	9:19	9:14	9:36	8:46	8:40	-	-	-	8:43	9:21	8:39	-
4	660619 Марияна Димитрова Тодорова	-	0:1	-	-	-	-	-	-	8:26	-	-	8:23	8:23	8:21	8:20	8:22	-	-	-	8:21	8:20	8:26	8:2
5	710615 Намен Костов Йорданов	-	0:0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
7	8302046367 Добрин Александров Йорданов	-	-	-	-	-	-	0:15	-	1:9	-	-	0:54	1:43	1:2	1:15	0:50	-	-	-	0:43	0:34	1:22	1:1
8	9310033890 Радост Райчева Робертова	-	-	-	-	-	-	0:21	-	0:46	-	-	0:40	6:13	0:51	7:43	0:29	-	-	-	0:44	0:51	2:18	1:3
10	8005266507 Николай Николов Иванов	-	-	-	-	-	-	0:49	9:1	8:40	-	-	8:58	9:14	9:30	10:1	7:29	-	-	-	6:13	8:32	9:28	8:4
11	7806226980 Йордан Андреев Лулчев	-	-	-	-	-	-	7:14	8:24	8:36	12:38	-	9:11	12:47	9:10	9:4	8:47	-	-	-	8:21	7:45	10:19	8:3
12	7808196289 Николай Иванов Георгиев	-	-	-	-	-	-	-	-	10:52	-	-	8:50	9:18	8:59	8:38	7:27	-	-	-	11:21	9:56	8:7	7:4
14	8211246549 Людмил Ацев Божидаров	-	-	-	-	-	-	-	-	9:12	-	-	8:14	1:27	2:40	11:28	2:32	-	-	-	7:28	9:15	8:26	1:2
16	7706039163 Галин Добрев Георгиев	-	-	-	-	-	-	8:49	9:23	-	-	-	8:56	8:50	10:1	8:54	8:55	9:4	-	-	7:56	9:8	1:31	3:1
16	8701038543 Явор Георгиев Зоров	-	-	-	-	-	-	3:12	1:59	-	-	-	4:32	9:11	2:46	9:7	13:43	-	-	-	-	-	-	-
17	7901076897 Мария Царева Димитрова	-	-	-	-	-	-	0:36	-	0:23	-	-	1:2	0:58	1:57	-	0:43	-	-	-	-	-	-	-
18	7707076602 Васил Вучков Георгиев	-	-	-	-	-	-	0:5	-	-	-	-	0:7	-	-	-	0:4	-	-	-	-	0:5	0:39	0:2
19	6202067423 Лъчезар Воденичаров Асенов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0:1	0:21	0:2	0:4	0:2	-	-	0:5	0:5	-	-
20	8512121927 Пламен Пешев Мирославов	-	-	-	-	-	-	0:5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0:9	-	-	0:20	0:3	0:12	0:6
21	8408256744 Божин Поповски Стефанов	-	-	-	-	-	-	0:2	0:59	1:18	-	0:2	0:44	0:36	0:42	0:11	0:38	-	-	-	0:43	1:5	0:40	0:1
22	7510093249 Красимир Григоров Николов	-	-	-	-	-	-	0:17	0:29	1:16	-	0:10	-	0:9	3:13	0:17	0:6	-	-	-	0:42	0:11	0:56	1:1
23	8103246526 Георги Андреев Милчев	-	-	-	-	-	-	-	1:30	0:31	-	0:8	0:5	0:17	0:48	0:11	0:3	-	-	-	0:1	0:31	0:7	0:9
24	8302184601 Александър Йовков Иванов	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0:4	0:38	0:5	0:15	0:11	-	-	-	0:5	0:16	0:27	0:1
26	7603218507 Петър Войнов Петров	-	-	-	-	-	-	0:6	-	0:4	-	0:7	0:2	0:10	-	0:8	0:7	-	-	-	0:4	0:3	0:6	0:1
26	7809103886 Деислав Блатоев Боянов	-	-	-	-	-	-	0:0	-	0:42	-	-	0:23	0:22	0:16	0:50	0:11	-	-	-	0:28	0:12	0:14	0:2
27	7103096384 Кирил Александров Николов	-	-	-	-	-	-	-	-	0:49	-	0:46	0:45	0:39	0:35	0:52	0:39	-	-	-	0:40	0:48	0:1	0:3
28	8906201709 Даниел Петков Плименов	-	-	-	-	-	-	-	0:11	0:2	-	0:3	-	-	0:30	0:27	0:5	-	-	-	-	-	-	-
29	8110297056 Венцислав Спасов Иванов	-	-	-	-	-	-	-	-	0:5	-	0:10	0:13	0:8	0:9	0:10	0:7	-	-	-	0:3	0:9	0:13	-

Fig. 4. „Full time present“ document

#	Name and Family (ID)	Gate #	НАЧАЛО	КРАЙ	Изход	EarlyLeave	Staff test Beta Version - OK
2	Lilia Krasteva	Vhod	2016-12-08 07:26:12				
3	03 003 Martina Marinova	Vhod	2016-12-09 07:43:17				
4	04 004 Vasilena Avdzhieva	Vhod	2016-12-09 07:32:46				
5	05 005 Evelin Hristov	Vhod	2016-12-09 08:01:26				
6	06 006 Antonia Marinova	Vhod	2016-12-09 07:57:19				
7	07 007 Zornitsa Gergova	Vhod	2016-12-09 07:43:42				
8	08 008 Aleksandar Paytalov	Vhod	2016-12-09 07:57:42				
9	09 009 Ilian Hristov	Vhod	2016-12-09 08:04:49				
10	10 010 Delyan Pachev	Vhod	2016-12-09 07:40:00				
11	12 Stoycho Mostrov	Vhod	2016-12-09 05:53:24				
12	13 Dimitar Trashlev	Vhod	2016-12-09 07:39:27				
13	14 Zahari Angelov	Vhod	2016-12-09 07:39:39				
14	16 Valeri Gorov	Vhod	2016-12-08 22:30:59				
15	17 Rumen Tsisonkov	Vhod	2016-12-09 07:57:51				
16	18 Kostadin Chakarov	Vhod	2016-12-07 14:37:47				
17	19 Nikolay Mladenov	Vhod	2016-12-09 07:30:52				
18	20 Kostadin Stoev	Vhod	2016-11-30 07:33:00				
19	21 Desislava Naydenova	Vhod	2016-12-09 08:57:29				
20	22 Stanislav Dudev	Vhod	2016-12-09 07:58:00				
21	23 023 Dragomir Dragoev	Vhod	2016-12-09 07:32:55				
22	24 Jordanka Karadimova	Vhod	2016-12-09 05:34:07				
23	25 Georgi Peykovski	Vhod	2016-12-09 07:25:12				
24	34 Ivan Boyukliev	Vhod	2016-12-09 05:20:26				
25	35 Gyulten Kadir	Vhod	2016-12-06 05:18:10				

Fig. 5. Early leave document

Access Control systems - one thread for working with the database (in real time) and several new threads, depending on the type and number of documents requested by the user. (Fig.1) The production of aggregated and specific information from the algorithm significantly supports accounting and statistical processing, but also for various purposes in machine learning. Also the algorithm creates collections of documents if necessary- for one or a group of persons for different periods and types of documents in only one Excel file as different sheets - at once.

#### V. CONCLUSION

The proposed algorithm can easily be added to existing algorithms for Access Control systems and does not affect their existing scenarios, because in practice it adds new threads of computation to existing ones. In other words, thanks to additional functionalities offered by it, existing scenarios in access systems are upgraded, data is integrated and documents are generated, for the preparation of which additional and specific knowledge is required. This is done automatically and thus avoids possible errors and potentially possible subjective statistics. Also, the algorithm does not depend on the database management system. The algorithm is responsible and implements necessary procedures for existing requests for documents, to prepare them in Excel format and optionally to be sent to previously requested recipients as 'attached files'. The algorithm offers 'Just in Time' functionality for a rich collection of documents relating personally to one person, a department, several departments or to all persons in a given company or organization, as well as their automatic sending as email with attachments.

#### REFERENCES

- [1] M. Benantar, "Access Control Systems: Security, Identity Management and Trust Models", Springer, 2006.
- [2] "A specifier's guide to access control systems", British Security Industry Association, April 2016.
- [3] C. Vincent, F. David, D. Ferraiolo, R. Kuhn, "Interagency Report 7316 Assessment of Access Control Systems", Computer Security Division, U.S. Department of Commerce Information Technology Laboratory, National Institute of Standards and Technology, September 2006.

# Development of a mathematical or numerical model for the evaluation of plastic gears

## Entwicklung eines mathematischen oder numerischen Modells zur Auswertung von Kunststoff- Verzahnungen

Arakel Bochosyan, Burgas, Bulgaria, bochosyan@gmail.com

*Abstract:* The aim is to create a type of software for the evaluation of gears ('black box' software). CAD is imported and the model is analysed in the background. A report is created at the end. Loads such as misuse, fatigue (possibly acoustics: quiet gears) are analyzed. If the commercial FE software allows, it is possible to develop an optimization of the gearing (in terms of reduction of width and volume). In recent years, more and more functions in the FE tools have become more open to programming. The OEMs provide smaller and smaller installation spaces of the gearbox.

*Zusammenfassung:* Es sollte eine Art Software zur Beurteilung von Verzahnungen entstehen (Software „Black box“). CAD wird importiert und im Hintergrund wird das Modell analysiert. Ein Bericht wird am Ende erstellt. Dabei werden Lasten wie Missbrauch, Ermüdung (ggf. Akustik: leise Getriebe) betrachtet. Falls die kommerziellen FE Software erlauben ist möglich eine Optimierung der Verzahnung (hinsichtlich Reduktion der Breite und Volumen) zu entwickeln. (In den letzten Jahren immer mehr Funktionen in den FE Tolls sind offener für Programmieren geworden.) Die OEMs stellen immer kleinere Bauräume vom Getriebe zur Verfügung.

*Keywords:* Efficiency in engineering; black box for gearbox optimisation, installation space optimisation, mass reduction, lightweight gears

*Schlüsselwörter:* Effizienz im Engineering; „black box“ für Getriebe-Auslegung, Bauraumoptimierung, Massenreduktion, leichte Zahnräder

### I. EFFIZIENZ IM ENGINEERING:

Effizienz im Ingenieurwesen ist wichtig, um wettbewerbsfähig zu bleiben und den Geschäftserfolg langfristig zu sichern. Sie ist ein zentraler Bestandteil moderner Unternehmensstrategien und trägt maßgeblich zur Stabilität und Zukunftsfähigkeit von Firmen bei. Ingenieure spielen dabei eine entscheidende Rolle, da sie als Schlüsselfaktor für die Rentabilität und Leistung eines Unternehmens gelten. Ihre Arbeit beeinflusst nicht nur technische Abläufe, sondern auch wirtschaftliche Entscheidungen auf höchster Ebene. Durch die Entwicklung kostengünstigerer und zugleich leistungsfähigerer Komponenten können Produktionskosten deutlich gesenkt und die Rentabilität signifikant gesteigert werden. Dies führt zu einer direkten Reduzierung der Produktionskosten und trägt gleichzeitig zur

Maximierung der Gewinne bei. Unternehmen können ihre Ressourcen effizienter einsetzen und den finanziellen Spielraum für Investitionen und Innovationen erweitern. Gleichzeitig ermöglichen neue Technologien sowie automatisierte Prozesse kürzere Forschungs- und Entwicklungszeiten, sodass Unternehmen schneller und flexibler auf Marktnachfragen reagieren können. Diese Agilität wird in zunehmend dynamischen Märkten zu einem entscheidenden Wettbewerbsvorteil.

Eine der wichtigsten Verbesserungen in vielen Branchen ist die Entwicklung leichter Komponenten. Diese verringern nicht nur das Gewicht von Produkten, sondern verbessern auch deren Energieeffizienz und Umweltbilanz. Dies kommt sowohl den Endverbrauchern zugute, die von geringeren Betriebskosten profitieren, als auch der Umwelt, da weniger Energie verbraucht und Emissionen reduziert werden. Durch solche Innovationen kann ein Unternehmen einen

nachhaltigen wirtschaftlichen Vorteil gegenüber der Konkurrenz erlangen, was zu einer stärkeren Marktposition, gesteigerter Kundenbindung und langfristigem Erfolg führt.

Insgesamt sorgt Effizienz für eine sparsame Ressourcennutzung, optimiert Produktionsprozesse und sichert den Geschäftserfolg. Sie ist damit nicht nur ein technischer Aspekt, sondern ein strategischer Erfolgsfaktor für Unternehmen aller Größenordnungen. Die konsequente Umsetzung effizienter Lösungen im Ingenieurwesen wird auch in Zukunft entscheidend dafür sein, wie gut sich Unternehmen im globalen Wettbewerb behaupten können.

## II. Die Industrie hat Bedarf vom Thema

Im Automotive werden immer mehr Bauteilen aus Metall mit Plastik ersetzt. Diverse Getriebe werden aus Kunststoff umgesetzt. Diese Strukturen zum Teil befinden sich im Innenraum vom Auto; zentrale Anforderungen: leise und Festigkeit

## III. Wie wird heute ein Getriebe von einem Auto-mobilzulieferer entwickelt?

1. Der Konstrukteur erstellt erste Vorauslegung vom Getriebe mit einer Software für Verzahnungen. Aus dem Toll stammt die Zahnkontur, die Stufen und die Abstände zw. den Gängen.
2. Es wichtig zu erwähnen, diese Software schlagen auch die Dicken der Verzahnungen vor. Die Software benutzt im Hintergrund Normen für Kunststoffräder, die sind aber konservativ und beruhen nicht auf der Numerik. Mit dem Toll ist möglich gute Verzahnung zu entwickeln aber nicht ein optimierte hinsichtlich Volumen und Kosten.
3. Die erstellte Verzahnung und Getriebe wird vom Berechnungsingenieur analysiert. Die Struktur ist grundsätzlich in Ordnung. Im ersten Schritt wurde sie schon anhand der Norm ausgelegt. Somit hat die FE Analyse eine schon vordefinierte positive Antwort.
4. Das Getriebe kann grundsätzlich das OEM-Pflichtenheft erfüllen.
5. Die Herausforderung bei den Schritten 1 bis 4.

a) Fehlende Interaktion zw. Punkt 3 und 1.

b) Verkürzung der Entwicklungszeiten beim Zulieferer durch den OEM. Daher Verbesserung der fehlenden Interaktion vom vorigen Punkt

c) Oft bei den Zulieferern fehlt einen „Architekt“, der kritisch die Konstruktion anschauen kann. Der Projektleiter hat eher andere Ziele; ggf. keine Erfahrung auf diesem Gebiet

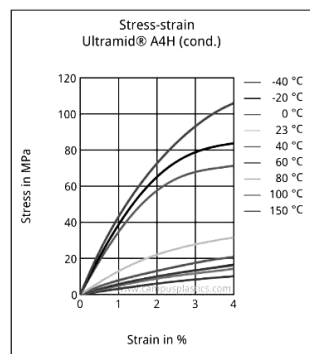
d) Das Getriebe aus Kunststoff ist neues Thema aus dem letzten 10 oder 20 Jahren und es fehlt manchmal Fachwissen bei allen Beteiligten im Projekt.

e) Kampf bei den Zulieferern um jeden Cent; cost down; einige Mitbewerber kämpfen um Nominierung vom Produkt durch den OEM

f) Rohstoffkosten steigen in den letzten Jahren; daher ein überdimensioniertes Getriebe ist auch teurer

## IV. Nachteile von den kommerziellen Tolls auf dem Markt für Auslegung von Verzahnungen:

- Analytische Betrachtung der Verzahnung mit Balken; keine Numerik bei der Auslegung
- E-Modul von Plastik ist  $1000 \times 10^6$  Pa (1000 MPa) oder sogar  $300 \times 10^6$  Pa (300 MPa) bei 80- oder 120 Grad. Bei Stahl ist das Modul bei 20 Grad 200 000 MPa. Der Kunststoff hat 200 Mal weiches E-Modul bei 20 Grad; und bei 80 Grad: das 660 fache niedrigere E-Modul.
- Z. Bsp. hier ist die Spannungsdehnungskurve von Ultramid A4H zu sehen. Es ist die Anfälligkeit gegen Wärme zu sehen.



• In den kommerziellen Tolls fehlt die Betrachtung der Spannungsdehnungskurve

• Die OEMs beschreiben genau die Anforderungen über das Getriebe, daher kann man direkt eine numerische Untersuchung durchführen.

- Die Software kann nicht die Überdeckung der Verzahnung ermitteln/ berechnen. Diese Überdeckung kann von einem FE Software durchgeführt werden. Die Abbildungen zeigt das. Hier ist die Last 0,42 Nm. Der erste Zahn ist am Anfang im Kontakt, aber am Ende wird die Belastung vom 2-ten, 3-ten und 4ten Zahn (bei Last oberhalb 0,420 Nm) übertragen.

- Überdeckung: Der 2-te und 3-te Zahn im Kontakt

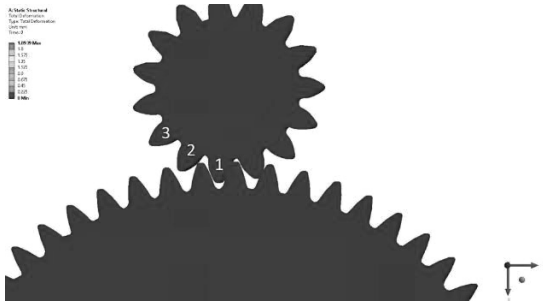


Fig. 1. Deformation; Verzahnungspaar vor der Belastung; Nummerierung der Zähne, die in Kontakt kommen

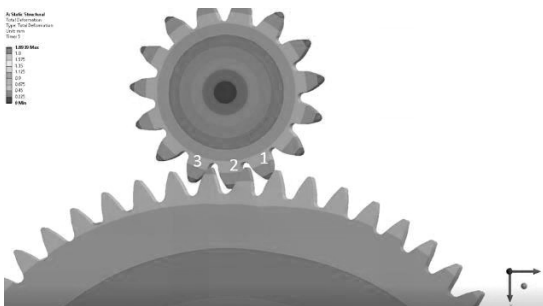


Fig. 2. Deformation; Nummerierung der Zähne, die in Kontakt kommen, bei der Erstellung vom notwendigen Drehmoment von 0,42 Nm

#### V. Herausforderungen bei einem FE Modell bei Verzahnungsberechnung:

- Nicht linearer Kontakt mit Reibung
- Stufenweise Aufbringung der Last
- Nicht lineare Geometrie
- Nicht lineare Werkstoffeigenschaften vom Kunststoff
- Am Ende mit den oben erwähnten Parametern soll das FE Modell gelöst werden.

#### VI. Was wird das Ergebnis vom TOLL?

- Völlig automatische Analyse der Verzahnung. Der Anwender stellt die CAD Verzahnung zur Verfügung. Automatisch:

- CAD Import
- Werkstoff- Erstellung und Zuweisung;
- Kontakterstellung
- Vernetzung
- Lastaufbringung und Berechnung

- Automatische Auswertung der Verzahnung hinsichtlich
- Missbrauch

- Ermüdung

- Kontaktdruck

- Zahnkraft (analytische Auswertung vom Kontaktdruck)

- Auswertung vom Zahn im oberen und unteren Totpunkt (Zahneingriff: dynamisch)

Mit den Werten aus diesem Schritt kann eine Optimierung der Verzahnung durchgeführt werden (Dicke und breite).

#### VII. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die hier beschriebene Vorgehensweise kann die Zuverlässigkeit von Verzahnungen deutlich erhöhen und die Optimierung durch numerische Methoden wesentlich erleichtern. Durch den gezielten Einsatz moderner Simulationsverfahren lassen sich kritische Belastungspunkte frühzeitig erkennen und konstruktiv verbessern. Dies führt nicht nur zu einer höheren Betriebssicherheit, sondern auch zu einer längeren Lebensdauer der Bauteile.

Gleichzeitig wird es möglich, das Potenzial von Verzahnungen effektiver auszuschöpfen und konstruktive Reserven gezielt zu nutzen. Auf diese Weise lassen sich sowohl Material als auch Gewicht einsparen, was vor allem in Anwendungen mit begrenztem Bauraum von großer Bedeutung ist. Eine durchdachte numerische Optimierung unterstützt damit nicht nur die technische Leistungsfähigkeit, sondern auch die Effizienz in der Produktentwicklung und Fertigung.

## VII. DANKSAGUNG

Ich möchte der FDIBA für ihre außergewöhnliche Unterstützung und Hilfe während dieses Projekts meinen aufrichtigen Dank aussprechen. Ihr technisches Fachwissen und ihre Anleitung waren entscheidend für die Bewältigung verschiedener Herausforderungen. Darüber hinaus haben die anregenden Gespräche und das aufschlussreiche Feedback während der Konferenzen in Bansko im Oktober 2024 meine Arbeit sehr bereichert und zu ihrem Erfolg beigetragen. Ich weiß es sehr zu schätzen, dass ich die Gelegenheit hatte, mich mit so kompetenten Fachleuten auszutauschen und ihren unschätzbaren Beitrag zu erhalten, der sich nachhaltig auf die Richtung und Qualität dieser Forschungsarbeit ausgewirkt hat.

# Preprocessing Strategies for MRI and CT Images of the prostate in Neural Network Applications

## Vorverarbeitungsstrategien für MRT- und CT-Bilder der Prostata in neuronalen Netzwerk-Anwendungen

Diana S. Tsvetkova

Faculty of German Engineering Education and Industrial Management, Technical University of Sofia,  
8 Kl.Ohridski Blvd., 1000 Sofia, Bulgaria

**Abstract** — This paper presents preprocessing strategies for MRI and CT images of the prostate in neural network applications, highlighting the importance of improving dataset quality and consistency. It focuses on how highquality data enhances model accuracy, reduces bias, and leads to better patient outcomes. Key preprocessing techniques, such as normalization, denoising, bias field correction, and resampling, are outlined to address the unique challenges of prostate imaging. Additionally, considerations for ethical approval, data de-identification, and secure storage are discussed. The goal is to optimize the preprocessing stage to improve neural network performance in prostate imaging, supporting more accurate AI-driven diagnostics.

**Keywords:** Image Preprocessing, Prostate Imaging, MRI, CT, Neural Networks

**Zusammenfassung** — In diesem Artikel werden Vorverarbeitungsstrategien für MRT- und CT -Bilder der Prostata in neuronalen Netzwerkanwendungen vorgestellt, wodurch die Bedeutung der Verbesserung der Datensatzqualität und -konsistenz hervorgehoben wird. Der Schwerpunkt liegt darauf, wie hochwertige Daten die Modellgenauigkeit verbessern, die Verzerrung reduzieren und zu besseren Patientenergebnissen führen. Wichtige Vorverarbeitungstechniken wie Normalisierung, Rauschunterdrückung, Bias-Feld-Korrektur und Resampling werden vorgestellt, um die besonderen Herausforderungen der Prostata-Bildgebung zu bewältigen. Darüber hinaus werden Überlegungen zur ethischen Zulassung, zur Datenidentifizierung und zur sicheren Speicherung diskutiert. Ziel ist es, die Vorverarbeitungsstufe zur Verbesserung der Leistung der neuronalen Netzwerke in der ProstataBildgebung zu optimieren und genauere KI-gesteuerte Diagnostik zu unterstützen.

**Schlüsselwörter:** Bildvorverarbeitung, MRT- und CT -Bilder der Prostata, Neuronale Netze

### I. INTRODUCTION

In recent years, artificial intelligence (AI) has revolutionized the medical imaging field, offering new opportunities for improving diagnostic accuracy and efficiency. Within radiology, AI has shown remarkable potential in automating tasks such as classification, segmentation, and quantification of medical images, outperforming traditional methods in terms of speed, pattern recognition, and reproducibility [1]. This is especially important in areas like prostate imaging, where precise interpretation of Magnetic Resonance Imaging (MRI) and Computer Tomography (CT) scans is crucial for effective diagnosis and treatment planning. Deep learning algorithms have made significant strides by leveraging their ability to learn complex, nonlinear relationships in medical data. However, these models require large, high-quality datasets to achieve optimal performance, which remains a challenge due to privacy concerns and the limited availability of annotated medical images [2].

To overcome these challenges, preprocessing strategies play a pivotal role in preparing medical imaging data for AI applications. MRI and CT images, especially those related to prostate imaging, are inherently complex due to variations in acquisition protocols, resolution, and field of view across different institutions and scanners. Preprocessing steps are essential for creating a consistent and high-quality dataset that can be effectively used for training neural networks. These steps

not only enhance image quality but also address inherent variability in the data, ensuring that AI models can generalize effectively across different imaging conditions [1].

In this paper, preprocessing strategies for prostate imaging are explored, with a focus on MRI and CT modalities, all of which are crucial for enhancing model performance in tasks like classification, detection, and segmentation. These strategies address the unique challenges posed by prostate imaging and aim to provide a comprehensive framework for preprocessing medical images in neural network applications, ultimately contributing to more accurate and reliable AI-driven diagnostic tools [2].

### II. CT IMAGING OVERVIEW

Advancements in prostate imaging techniques have greatly enhanced the ability to detect tumors, stratify patient risk, and improve the overall quality of care. Of these methods, CT imaging of the prostate typically reveals the gland's size, shape, and any abnormalities that may indicate the presence of cancer. The modality is particularly adept at identifying calcifications within the prostate, which can be indicative of certain pathological conditions [3]. Additionally, CT can visualize lymph nodes and other structures in the pelvic region, which is essential for staging prostate cancer and assessing potential metastasis [4,5]. However, it is important to note that while CT is useful for detecting larger tumors and assessing local

invasion, it is generally less sensitive than MRI for early-stage prostate cancer detection [4].

Despite its advantages, CT imaging is not without limitations. Artifacts can significantly affect image quality and diagnostic accuracy. Common artifacts include beam hardening, which can obscure structures and create misleading appearances of lesions, and motion artifacts due to patient movement during the scan. Additionally, the presence of metal implants or calcifications can lead to streak artifacts, complicating the interpretation of images. Understanding and mitigating these artifacts is essential for radiologists to ensure accurate diagnosis and treatment planning.

### III. MRI IMAGING OVERVIEW

In cases where CT images suffer from poor quality, a promising approach is the use of Multi-parametric magnetic resonance imaging (mpMRI), since it has become the most sensitive tool, aiding in the diagnosis, pinpointing, risk assessment, and staging of clinically significant prostate cancer (PCa) [5]. Prostate MRI offers clearer and more intricate visualizations of the soft-tissue components within the prostate gland compared to alternative imaging techniques. This high level of detail and resolution renders MRI indispensable for the early detection and assessment of prostate cancer [6].

Magnetic resonance imaging (MRI) uses strong magnetic fields and radiofrequency pulses to generate detailed images of internal structures. The MRI scanner detects signals from hydrogen atoms in water and fat molecules within the body. By manipulating the magnetic field, MRI produces high-contrast images that are particularly useful for soft-tissue differentiation, making it ideal for prostate imaging. MRI images reflect tissue characteristics such as density, composition, and structure, providing a wealth of information that can assist in identifying cancerous tissue.

Using mpMRI images to guide targeted transperineal biopsies leads to better detection of clinically significant prostate cancer (PCa) and reduces the chances of finding clinically insignificant PCa compared to the standard transrectal biopsy approach. [7]. While MRI images provide substantial information about the prostate gland, there are also factors that can compromise the quality of these images. These factors may include patient movement, insufficient signal, or technical limitations of the MRI machine. Nevertheless, mpMRI can occasionally show false negative results. The factors causing poor quality in the mpMRI images of the prostate can be categorized as either patient-related or system-related. On Figure 1, a categorization of the factors causing poor quality of MRI images of the prostate is presented.

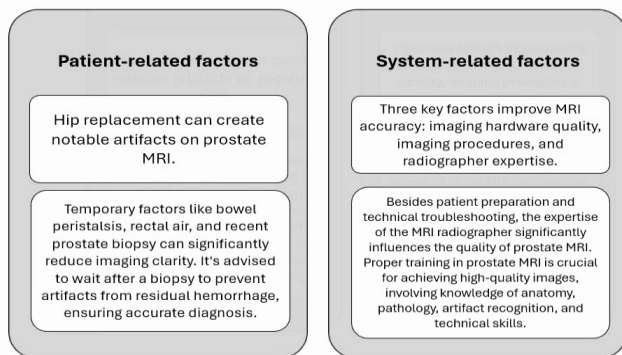


Figure 1 Categorization of factors, causing poor quality of MRI images of the prostate

### IV. MEDICAL IMAGE DATABASE PREPROCESSING STRATEGIES

Before medical images can be utilized for AI algorithm development, specific procedures must be followed. Usually, approval from the clinic's ethics committee is required to ensure that the use of the medical data for research or commercial AI purposes is appropriate. This includes assessing potential risks to patients, such as the possibility of data breaches.

After ethical approval, the medical image data needs to be accessed, properly de-identified and securely stored. After the data becomes accessible to AI developers, multiple approaches can be utilized to find and extract medical images along with their associated clinical information. One option is to contact the radiologist or image diagnostic specialist responsible for the required data. Alternatively, a systematic search using PACS or radiology information system search engines can be performed to extract the necessary data.

However, after accessing and selecting the images that will be part of the dataset, they need to go under quality check to see whether they qualify for being part in the dataset made for a particular problem. For example, if we are constructing a database for the task of registration of MRI and CT images of the prostate even, we must check if all the images are of patients with a prostate. There might be some cases where the prostate is operationally removed and the control images after the operation have been annotated as of a patient with Prostate cancer. Such cases might decrease the successfulness in the afterwards training of the neural network, therefore quality check should not be compromised.

When the wanted imaging data is gathered it must be deidentified in order to follow the HIPAA, and the European General Data Protection Regulation requirements for data proper de-identification. Identifiable information is commonly present in the DICOM metadata (header) and multiple tools are available to automatically remove this information [8].

Once the data is gathered, quality assessed, and securely stored, the next step is to divide it into subsets. Dividing a dataset into training, validation, and test subsets is essential for developing robust machine learning models. A common approach is to allocate approximately 70% of the data for training, 15% for validation, and 15% for testing, which allows for effective model training while ensuring that hyperparameters can be optimized without overfitting to the test data [11]. Various strategies can be employed for this division, including random sampling, stratified sampling, and cross-validation techniques such as k-fold and leave-one-out cross-validation.

Resampling is also a crucial preprocessing step when preparing CT and MRI images of the prostate for neural network applications, as it standardizes input dimensions and improves consistency across different imaging modalities. For CT images, resampling often involves adjusting pixel size and image thickness to ensure uniformity, which can significantly impact the extraction of radiomic features and the performance of subsequent analyses [12]. Similarly, resampling MRI images addresses variations in voxel dimensions caused by different scanning protocols and equipment [13]. Cubic-spline and B-spline functions are often preferred for resampling images because they closely approximate an ideal low-pass filter. Poor resampling choices can negatively impact later stages, such as registration and processing, by reducing the resolution below the expected size of detectable objects. [1].

Figure 2 illustrates the process mentioned above and highlights that, after resampling, the images must undergo customized preprocessing steps designed to correct artifacts present in the images. These techniques are described in the following two paragraphs.

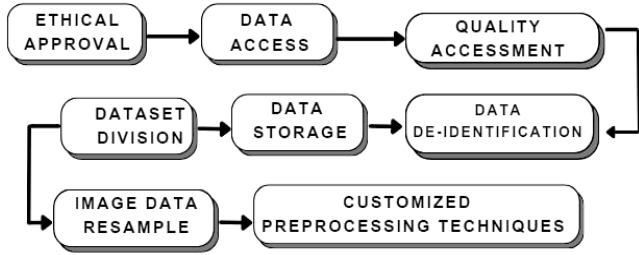


Figure 2 Database Preprocessing Stage

## V. CT IMAGE PREPROCESSING

### A. Normalization of CT images

The accessed and de-identified medical imaging data should be stored in a secure place. There are two main options – to store the data on physical storage space and to store the data in a cloud-based storage space. To see the advantages and disadvantages of both options see the Table 1 below:

Data Storage Type	Advantages	Disadvantages
Physical Storage Space	Ensures data safety and availability	Limited ability to share data with other institutions
	One time cost	
Cloud-based Storage Space	Enhanced data sharing capabilities	Requires a fast, reliable internet connection
	Provides data Backup	Higher costs

TABLE I. MEDICAL IMAGE DATA STORAGE OPTIONS

To map CT data intensity values efficiently within the defined range for input images (either 8 or 16 bits), a linear transformation is applied. This adjusts the smallest and largest values to fit within a specific range, commonly (0, 255) for 8bit images and (0, 65,535) for 16-bit images. This process is typically performed using the minimum and maximum pixel values across all patients. A frequently used approach is to set the image boundaries based on the windowing cut-off values of  $WL \pm WW/2$ , where  $WL$  represents Window Level and  $WW$  refers to Window Width [1]. In some cases, CT image normalization may be performed at the patient level or even slice level for specific applications. This method helps mitigate the impact of varying exposure levels and improves the robustness of subsequent analyses. An example of linear normalization of the intensity values of a CT image of the prostate is shown in Figure 3. Visually, there is no noticeable difference, but the rescaling of pixel values can be seen along the vertical axis.

Additionally, advanced normalization techniques such as instance normalization and batch normalization are utilized in deep learning frameworks to stabilize the training process and enhance model performance. These methods adjust the mean and variance of the feature maps, allowing for better convergence during training.

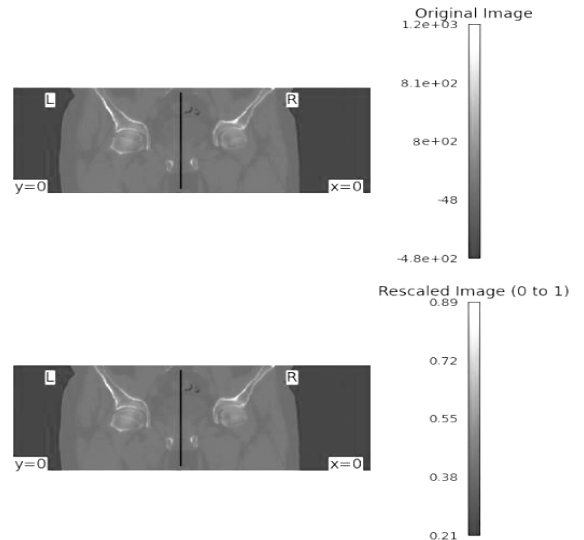


Figure 3 Before and after intensity normalization of CT image.

### B. Windowing of CT images

CT windowing enhances the visualization of specific anatomical structures and pathological features in CT images. By adjusting the window level (WL) and window width (WW), radiologists can optimize the contrast of tissues. This not only improves manual interpretation but also significantly enhances the performance of deep learning algorithms by providing clearer and more relevant features for training [14]. Studies have shown that integrating windowing into preprocessing workflows can lead to substantial improvements in model accuracy and reliability, making it a critical step in the development of automated diagnostic systems [14,15].

CT images are initially captured in a 12- or 16-bit DICOM format, which encodes tissue density in Hounsfield Units (HU), typically ranging from around -1024 to 4000 HU. While the human eye can only distinguish about 100 shades of gray simultaneously [16], windowing allows radiologists to increase contrast in regions of interest, making the images easier to interpret. For each organ, CT values are clipped around a specific range of HU values, following established standards. Although computers are not limited by these visual constraints, many deep learning libraries support only 8-bit image formats like PNG or JPEG. In such cases, windowing is recommended to prevent irreversible compression of important visual details. Research also suggests that using 16bit formats like float or uint16, when supported, can yield better results in neural network training.

### C. Denoising of CT images

CT images are subject to several sources of disturbance, each causing artifacts that affect image quality. The denoising of these artifacts is extensively discussed in the literature [17,18,19], and we will not cover them in detail here. Since artifacts do not appear in every image within a dataset, this inconsistency can negatively impact the training outcomes of neural networks. Additionally, noise can distort organ boundaries, potentially causing misinterpretation of the images. Therefore, selecting an appropriate denoising technique, when necessary, is crucial in image preprocessing to ensure data consistency and improve diagnostic accuracy.

## VI. MRI IMAGE PREPROCESSING

### A. Bias-field-correction

Bias field correction in MRI images is an essential preprocessing step used to address low-frequency intensity inhomogeneities, which can obscure anatomical details and impact quantitative analyses. Several algorithms have been developed for this purpose, with N3 (Nonparametric Nonuniformity Normalization) and its enhanced version, N4ITK, being among the most used [20]. These methods estimate the bias field and apply corrections to normalize intensity values across the entire scan. Research indicates that performing bias field correction before other preprocessing steps, such as noise reduction, significantly improves the reproducibility of radiomic features and enhances overall image quality [21]. Figure 4 shows the results of bias correction applied to an MRI image.

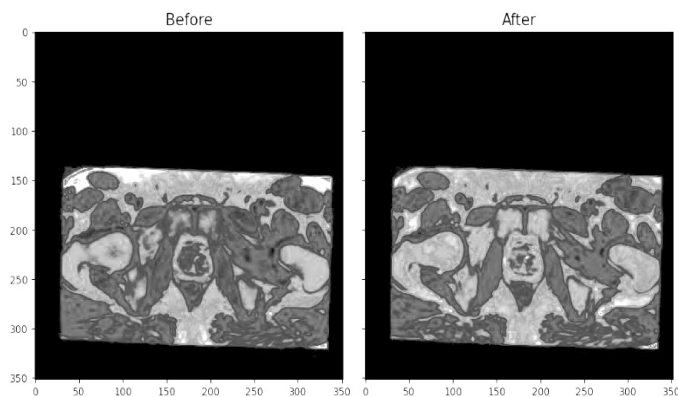


Figure 4 MR-Image before (left) and after (right) a bias-correction procedure

### B. MR-data Denoising

Denoising MRI images is a crucial preprocessing step for creating high-quality datasets suitable for neural network applications. Various techniques have been developed to effectively reduce noise while preserving important anatomical details. These denoising techniques can be broadly categorized into spatial domain techniques, which operate directly on pixel values (e.g., Non-Local Means), and frequency domain techniques, which process images after transforming them into the frequency domain (e.g., waveletbased filtering). Additionally, model-based techniques (e.g., Total Variation) and deep learning-based techniques (e.g., FFDNet) are also employed to address different noise patterns in MRI data.

There are numerous other denoising techniques, far too many to detail here, as they have been extensively covered in various scientific articles [22,23,24]. These methods not only improve the visual clarity of MRI images but also enhance the accuracy of subsequent analyses, making them essential for reliable medical diagnoses and treatment planning.

## VII. EVALUATION OF THE PREPROCESSING STAGE

To evaluate the preprocessing database stage on medical images in regard to neural network applications, several key metrics and methodologies can be employed. The effectiveness of denoising techniques can be evaluated using quantitative metrics like Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR), Structural Similarity Index (SSIM), and Universal Image Quality Index (UQI), which assess how well image quality and details are preserved after denoising. Additionally, qualitative assessments

through visual inspection by radiologists can provide insights into the clinical relevance of the processed images. It is also essential to evaluate the impact of preprocessing on the performance of neural networks by conducting experiments that compare model accuracy, sensitivity, and specificity on datasets with and without preprocessing. Furthermore, cross-validation techniques can be utilized to ensure that the preprocessing methods enhance the generalization capabilities of the neural networks across different datasets. By systematically applying these evaluation strategies, researchers can optimize the preprocessing stage to improve the overall performance of neural network applications in medical imaging.

## VIII. CONCLUSION

This paper has explored various preprocessing strategies for MRI and CT images of the prostate within neural network applications, emphasizing the importance of high-quality, standardized data in improving AI model performance. Given the complexity of medical imaging data, particularly in prostate imaging, preprocessing steps such as normalization, denoising, and bias field correction are crucial for ensuring consistency and accuracy in datasets. MRI and CT modalities each present unique challenges, such as artifacts, varying resolution, and intensity inconsistencies, all of which can be addressed through specific preprocessing techniques. Furthermore, evaluating the effectiveness of these preprocessing steps using metrics such as PSNR and SSIM, along with qualitative assessments, is essential to ensure that the processed images improve neural network performance. By applying these strategies, we can optimize neural networks for tasks such as classification, segmentation, and image registration, ultimately enhancing the reliability and diagnostic accuracy of AI-driven tools in prostate cancer management. As the field of AI in medical imaging continues to evolve, refining these preprocessing stages will remain key to advancing neural network applications and improving patient outcomes.

## ACKNOWLEDGMENT

This work was supported by the Research and Development Sector at the Technical University of Sofia, within the project №242PD0003-07/24 “Algorithms for fusion of nuclear magnetic resonance and positron emission tomography images of the prostate-specific membrane antigen”.

## REFERENCES

- [1] S. Masoudi, S. A. Harmon, S. Mehravivand, S. M. Walker, H. Raviprakash, U. Bagci, P. L. Choyke, and B. Turkbey, "Quick guide on radiology image pre-processing for deep learning applications in prostate cancer research," *J. Med. Imaging (Bellingham)*, vol. 8, no. 1, p. 010901, 2021, doi: 10.1117/1.JMI.8.1.010901.
- [2] M. J. Willeminck, "Preparing Medical Imaging Data for Machine Learning," [Online]. Available: <https://pubs.rsna.org/doi/epdf/10.1148/radiol.2020192224>. [Accessed: Sep. 5, 2024].
- [3] Khan, C. M. Moore, and M. M. Siddiqui, "Prostate MRI and image quality: The urologist's perspective," *Eur. J. Radiol.*, vol. 170, p. 111255, 2024, doi: 10.1016/j.ejrad.2023.111255.
- [4] J. A. Neto and D. B. Parente, "Multiparametric magnetic resonance imaging of the prostate," *Magn. Reson. Imaging Clin. N. Am.*, vol. 21, no. 2, pp. 409-426, 2013, doi: 10.1016/j.mric.2013.01.004.
- [5] D. Tsvetkova, V. Georgieva, V. Hadzhiyska, and Y. Gramatikov, "Review of multimodal medical image fusion techniques and their application in prostate cancer," in *Proc. 17th Int. Conf. Commun., Electromagn. Med. Appl. (CEMA)*, 2023, pp. 16-20.

- [6] O. Cussenot, R. Renard-Penna, S. Montagne, V. Ondet, A. Pilon, J. Guéchet, and others, "Clinical performance of magnetic resonance imaging and biomarkers for prostate cancer diagnosis in men at high genetic risk," *BJU Int.*, vol. 131, no. 6, pp. 745-754, 2023, doi: 10.1111/bju.15968.
- [7] R. Hsi, T. Dinh, M. Greer, C. Bensen, M. Mitchell, A. Liet, and others, "Performance of multiparametric prostate magnetic resonance imaging validated by targeted and systematic transperineal biopsies," *BJU Compass*, vol. 4, no. 1, pp. 96-103, 2022, doi: 10.1002/bco2.184.
- [8] K. Y. Aryanto, M. Oudkerk, and P. M. van Ooijen, "Free DICOM deidentification tools in clinical research: Functioning and safety of patient privacy," *Eur. Radiol.*, vol. 25, no. 12, pp. 3685-3695, 2015, doi: 10.1007/s00330-015-3767-z.
- [9] B. J. Erickson, P. Fajnwaks, S. G. Langer, and J. Perry, "Multisite image data collection and management using the RSNA image sharing network," *Transl. Oncol.*, vol. 7, no. 1, pp. 36-39, 2014, doi: 10.1593/tlo.13799.
- [10] The Cancer Imaging Archive, "TCIA: The Cancer Imaging Archive," [Online]. Available: <https://www.cancerimagingarchive.net/>. [Accessed: Sep. 5, 2024].
- [11] D. Nguyen, J. Luo, X. Lu, S. Bechis, R. Sur, S. Nakada, and others, "Estimating the health-related quality of life of kidney stone patients: Initial results from the Wisconsin stone quality of life machine-learning algorithm (WisQoL-MLA)," *BJU Int.*, vol. 128, no. 1, pp. 88-94, 2020, doi: 10.1111/bju.15300.
- [12] R. Ger, S. Zhou, P. Melinda, H. Lee, R. Layman, A. Jones, and others, "Comprehensive investigation on controlling for CT imaging variabilities in radiomics studies," *Sci. Rep.*, vol. 8, no. 1, 2018, doi: 10.1038/s41598-018-31509-z.
- [13] E. Kondrateva, P. Drudjinina, A. Dalechina, B. Shirokikh, M. Belyaev, and A. Kurmukov, "Negligible effect of brain MRI data preprocessing for tumor segmentation," 2022, doi: 10.48550/arXiv.2204.05278.
- [14] M. Nasir, M. Farid, Z. Suhail, and M. Khan, "Optimal thresholding for multi-window computed tomography (CT) to predict lung cancer," *Appl. Sci.*, vol. 13, no. 12, p. 7256, 2023, doi: 10.3390/app13127256.
- [15] S. Umopathy, M. Murugappan, D. Bharathi, and M. Thakur, "Automated computer-aided detection and classification of intracranial hemorrhage using ensemble deep learning techniques," *Diagnostics*, vol. 13, no. 18, p. 2987, 2023, doi: 10.3390/diagnostics13182987.
- [16] J. Kube, et al., "Windowing CT," 2019. [Online]. Available: <https://radiopaedia.org/articles/windowing-ct>.
- [17] P. Milanfar, "A tour of modern image filtering: New insights and methods, both practical and theoretical," *IEEE Signal Process. Mag.*, vol. 30, no. 1, pp. 106-128, Jan. 2013, doi: 10.1109/MSP.2011.2179329.
- [18] T. Zhao, J. Hoffman, M. McNitt-Gray, and D. Ruan, "Ultra-low-dose CT image denoising using modified BM3D scheme tailored to data statistics," *Med. Phys.*, vol. 46, no. 1, pp. 190-198, 2019, doi: 10.1002/mp.13252.
- [19] D. Karimi and D. Ruan, "Image denoising in computed tomography using learned discriminative dictionaries," *Biomed. Phys. Eng. Express*, vol. 4, no. 1, p. 015015, 2018, doi: 10.1088/2057-1976/aa979b.
- [20] N. Tustison, B. Avants, P. Cook, Y. Zheng, A. Egan, P. Yushkevich, and others, "N4ITK: Improved N3 bias correction," *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 29, no. 6, pp. 1310-1320, 2010, doi: 10.1109/TMI.2010.2046908.
- [21] H. Moradmand, S. Aghamiri, and R. Ghaderi, "Impact of image preprocessing methods on reproducibility of radiomic features in multimodal magnetic resonance imaging in glioblastoma," *J. Appl. Clin. Med. Phys.*, vol. 21, no. 1, pp. 179-190, 2019, doi: 10.1002/acm2.12795.
- [22] P. Kaur, G. Singh, and P. Kaur, "A review of denoising medical images using machine learning approaches," *Curr. Med. Imaging Rev.*, vol. 14, no. 5, pp. 675-685, 2018, doi: 10.2174/1573405613666170428154156.
- [23] J. Phd, P. Coupé, and A. Buades, "MRI noise estimation and denoising using non-local PCA," *Med. Image Anal.*, vol. 22, 2015, doi: 10.1016/j.media.2015.01.004.
- [24] H. Lv and R. Wang, "Denoising 3D magnetic resonance images based on low-rank tensor approximation with adaptive multirank estimation," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 85995-86003, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2924907.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK

# Russland kann kein verlässlicher Partner sein!

## Russia cannot be a reliable partner!

Franz Peter Lang, Vedat Kanat

**Zusammenfassung-** Wahlerfolge prorussischer Parteien zeigen, dass viele Deutsche vom russischen Chauvinismus manipuliert werden. Im Osten ist dies Folge jahrzehntelanger russischer Indoktrination, im Westen ist es das Ergebnis unzureichender Kenntnisse zur russischen Geschichte und den deutsch-russischen Beziehungen. Die Analyse zeigt, dass der Kommunismus (Marxismus-Leninismus) nur vorübergehend die Ideologie russischer Machtsicherung war. Die Russisch-Orthodoxe Kirche hat diese Rolle wieder übernommen. Militarismus, Vertragsbruch, politische Verleumdung, Manipulation und politischer Mord sind traditionell und heute wieder Werkzeuge der russischen Politik. Naive Fehleinschätzungen haben die deutsche Politik seit der Vereinigung in Energieabhängigkeit und militärische Unterrüstung geführt. Politik und Wirtschaft müssen diesen Zustand dringend beenden, ihre globalen Beziehungen, einschließlich derer zu den USA, kritisch überprüfen und revidieren. Die innenpolitische Subversion durch vom Ausland kontrollierte politische Parteien muss beendet werden. Notwendig ist der Ausbau einer modernen europäischen Rüstungsindustrie und IT-Infrastruktur, die militärische Abschreckung aus eigener Kraft ermöglicht und zugleich die Modernisierung der Industrien sichert.

**Keywords** - Russian imperialism, energy dependence, rearmament, reindustrialization.

### I. EINLEITUNG: RUSSLANDS FÜNFTE KOLONNE!

Im Wahlkampf zur vorgezogenen Bundestagswahl haben Spitzenpolitikerinnen der Parteien AfD (Alternative für Deutschland) und der Partei BSW (Bündnis Sahra Wagenknecht) wiederholt behauptet, die Russische Föderation sei einer der bedeutendsten Außenhandelspartner Deutschlands und man müsse sich darum mit ihr gut stellen und insbesondere auf pazifistische Gefühlsduseleien verzichten.

Tatsächlich rangiert sie im Jahr 2020 (2024) als Empfänger von deutschen Exporten auf Platz 15 (36), während sie als Lieferant von deutschen Importen auf Platz 14 (59) steht. Die Russische Föderation war und ist also nicht wirklich ein bedeutender Handelspartner. Sie ist kriegsbedingt sogar deutlich zurückgefallen. Existenznotwendig für die deutsche Wirtschaft ist sie offenbar nicht!

Trotz oder gerade wegen solcher „Fake News“ haben die genannten Parteien insbesondere im Osten besonders gute Ergebnisse erzielt. Kennzeichnet man die betreffenden Wahlkreise mit der blauen Farbe der AfD, so entsteht eine „Blaue Zone“, die geografisch nahezu exakt mit dem Territorium der ehemaligen „Sowjetisch besetzten Zone (SBZ)“ übereinstimmt. Als „Zone der Putin-Versteher“ und Russlandfreunde hat der nostalgische Begriff wieder eine neue Bedeutung erlangt. Zwar gibt es auch in der alten Bundesrepublik „blaue Flecken“ mit AfD-Mehrheiten. In

diesen sind es aber Ausländerfeindlichkeit und Migrationsphobie die Motive, welche die Wähler zur AfD treiben.

Professionalität und Ausmaß der kostspieligen Wahlkampfführung dieser Parteien lassen vermuten, dass es eine erhebliche, finanzielle Unterstützung von außen gibt. Im November 2024 veröffentlichte Zahlen zeigen z.B. dass das mitgliederschwache BSW sogar kurzzeitig an der Spitze der Empfänger von Parteispenden lag[1].

AfD und BSW zeichnen sich durch eine ausgesprochen antiukrainische, prorussische Polemik aus. Sie weisen ganz in Sinne des Putinismus Ukraine und NATO die Schuld an dem Krieg zu. Daher ist anzunehmen, dass auch ihre Wähler <ähnliche Positionen einnehmen, in der Aggression Russlands nichts Kritikwürdiges erkennen und russische Interessen teilen. Die russische Führung ist über diese „Fünfte Kolonne“ insbesondere in Ost-Deutschland sehr einflussreich vertreten.

Die Suche nach Gründen für dieses Wahlverhalten beschränkt sich in Politik und Medien meist darauf, die Ostdeutschen als frustrierte Verlierer der deutschen Vereinigung zu sehen. Sie hatten sich mehrheitlich in der Situation der Teilung eingerichtet und waren mit den Lebensverhältnissen in der DDR zufrieden.

Dennoch knüpften auch treue DDR-Bürger an die ohne ihr Zutun und vielfach auch gegen ihren Willen eingetretene Vereinigung hohe Erwartungen, zumal ihnen von westdeutschen Politikern „blühende Landschaften“ versprochen worden waren. Die Veränderungen der Gesamtsituation brachten aber Umbrüche in den Lebensgewohnheiten, die sie bei Fortbestand des DDR-Sozialismus nicht hätten ertragen müssen.

Rational ist eine „Enttäuschung“ der Ostdeutschen allerdings wenig verständlich, denn die gewaltigen Transferzahlungen von West nach Ost belegen, dass Ostdeutschland eindeutig der Nutznießer Vereinigung ist. So sind bis zum Jahr 2023 Zahlungen von ca. 1600 Mrd. Euro zur Deckung der Transformationskosten in den Osten geflossen. Hinzu kommen die Übernahme der Auslandsschulden der abgewirtschafteten DDR und die erheblichen Zahlungen an Russland, das sich die Freigabe seines Vorzeigesatelliten DDR fürstlich bezahlen ließ. Vorsichtige Berechnungen taxieren alleine ca. 12 bis 15 Milliarden Deutsche Mark für den Truppenabzug.

Darüber hinaus wurden DDR-Bürger, auch wenn sie Kritiker der Vereinigung waren, mit Ansprüchen an die deutschen Renten- und Sozialkassen ausgestattet. Die erheblichen Investitionen in die Modernisierung der Infrastruktur, die Restrukturierung der Industrie usw. liegen um ein Vielfaches höher[2]. Die Finanzierung der Einheit ging aber im Wesentlichen zu Lasten der Westdeutschen und ist nach wie vor nicht abgeschlossen.

Die Lebensverhältnisse in Ost- und Westdeutschland sind freilich auch nach dreißig Jahren nicht vollkommen angeglichen. Sie werden es auch niemals in allen Teilregionen sein. Dies gilt für alle heterogenen Wirtschaftsräume, da ökonomische Agglomerationseffekte und Mobilität agiler Menschen immer zu ungleichen regionalen Entwicklungen führen[3]. Dennoch findet man im Osten Wachstumspole mit modernen Industrien und früher nach dem Westen emigrierte Bewohner kehren nicht nur im Ruhestand zurück.

Im Westen muss man dagegen feststellen, dass die vernachlässigte Infrastruktur zunehmend verfällt, da die Transferzahlungen in den Osten zu erheblichen Engpässen in der Finanzierung öffentlicher Investitionen geführt haben. Auch andere wichtige Positionen, wie der Verteidigungshaushalt, wurden sogar mit gefährlichen Konsequenzen für die nationale Sicherheit vernachlässigt. Dies ist allerdings auch durch die politisch unflexibel vorgegebene „Schuldenbremse“ im Staatsbudget mitverursacht.

In der politischen Diskussion wurde weiterhin bislang vollständig übersehen, dass der enorme Restaurierungs- und Neubauboom durch den „Aufbau Ost“ über die durch ihn ausgelöste Sonderkonjunktur Baukosten und Vorleistungspreise erhöht und über die zwangsläufige Lohn-Preis-Diffusion überregional und branchenübergreifend verteilt hat. Diese belasten heute bundesweit Bautätigkeit und Wirtschaft als indirekte Folge der für den Osten „luxuriösen“ Vereinigung und mindern die Wettbewerbsfähigkeit der gesamten Wirtschaft.

Die zusätzlichen ausländischen Arbeitskräfte, die zu Aufbau Ost angeworben werden mussten, sind zu einem erheblichen Teil ebenfalls eine Folge der Bewältigung der Altlasten des DDR-Staates. Dennoch sehen sie sich heute, insbesondere in der „Blauen Zone“, einer erheblichen Ausländerfeindlichkeit gegenüber.

Der im Jahr 1970 in der DDR geborene Schriftsteller Marco Martin[4] betrachtet die Befindlichkeiten der Menschen im Osten kritisch. Er stellt als Zeitzeuge richtig, dass Millionen DDR-Bürger vor dem Mauerfall eben nicht auf der Straße waren, sondern abwartend kein Risiko eingingen. Für ihn ist dies ein Hinweis darauf, warum Ostdeutsche auch heute noch mehrheitlich streng geordneten autoritären Systemen zuneigen. Er sieht dies insbesondere bestätigt durch die Wahlergebnisse der, wie er sagt, "WagenknechtSekte" BSW, die offen infamste „Kreml-Propaganda“ verbreite.

Als Ursache dieser provozierenden Unterstützung Russlands sieht er einen ausgeprägten Egoismus, der selbst im Protest gegen den russischen Angriffskrieg auf die Ukraine einen Vorwand dafür sehen lasse, dass sich nicht genug um die Belange der „armen Ostdeutschen“ gekümmert werde.

Martin verweist auch auf die enge Bindung der DDR-Bürger zu ihrem autoritären Staat. Als Belege dafür sieht er neben den zahlreichen Stasispitzeln die extrem geringe Zahl der Wehrdienstverweigerer und die Tatsache, dass die übergroße Mehrheit der männlichen Jugendlichen und Erwachsenen kein Problem mit Armee, Wehrkundeunterricht, vormilitärischer Ausbildung und

"Betriebskampfgruppen" gehabt hätte. Angesichts ihrer Empfänglichkeit für prorussische Parolen fragt er, ob womöglich noch immer jene Propaganda nachwirke, die Frieden nur dann gewährleistet sah, wenn er den Machtinteressen Russlands diene und NATO sowie West-Deutschland als Kriegstreiber hingestellt wurden.

Zudem fühlten DDR-Bürger sich nicht an das demokratische System der Bundesrepublik Deutschland angebunden. Notwendige Kompromisslösungen würden geringgeschätzt und demokratisch getroffene Entscheidungen würden mit einseitiger Durchsetzung von Mehrheitsinteressen verwechselt. Auch das Verständnis für die zwangsläufige Langsamkeit demokratischer Willensbildungs- und Entscheidungsprozesse sei durch die jahrzehntelange Sozialisierung im zentralistischen Real-Sozialismus schwächer ausgeprägt als im Westen. Die festzustellenden Präferenzen für populistische Parolen von deutschen Politikern und die hohen Sympathiewerte für Autokraten wie Putin oder Orbán, seien weitere Belege für einen erheblichen Mangel an Demokratieakzeptanz.

Diese mentalen Altlasten des Sozialismus seien auch auf die junge Generation übertragen worden, was man anhand von Analysen des Jungwählerverhaltens sehen könne. Dies sei insofern nicht überraschend, weil nachgewiesen sei, dass die Generation der Enkel häufig unbewusst Sichtweisen der Großeltern übernehme. Hier werden von Psychologen Beispiele wie Alice Weidel und Marine Le Pen angeführt. Dies gelte allerdings in allen Staaten, die sich im Transformationsprozeß befänden und bewirke auch dort eine Präferenz für autokratische Herrschaftsformen. Vermutlich sei dies eine Folge der Abgeschlossenheit der postsozialistischen Gesellschaften. Die Anhänglichkeit muslimischer Immigranten an den türkischen Autokraten Erdogan oder an den salafistischen Fanatismus hat die gleichen Ursachen.

Das Jungwählerverhalten zeigt danach ebenfalls eine Neigung zu radikalen Tendenzen dieser Art, von denen sowohl die AfD, als auch die wiedererstarkte Linke profitieren. In beiden Fällen mag auch die von den anderen Parteien vernachlässigte Präsenz von jungen Kandidatinnen und jugendorientierten Programmen eine Rolle gespielt haben. Insbesondere deren Kombination mit Instrumenten der modernen Informationstechnik wurde von Populisten in Frankreich (Marine Le Pen) und Italien (Giorgia Meloni) erfolgreich erprobt. Es erweist sich dort, dass weibliche Extremistinnen eine höhere Akzeptanz erfahren, als männlich Extremisten[5]. Interessant ist auch die jeweilige Unterstützung durch ausgereifte, publikumswirksame Konzepte, die nachweislich von russischen Propagandaprofis hergestellt und in den sozialen Medien ohne Kritik präsentiert werden.

Der deutsche Osten habe aber auch wegen der Ungleichverteilung der Bevölkerung zu Gunsten des Westens ein Repräsentationsproblem. Die von westdeutschen dominierte politische Klasse und die Informationsmedien trügen zweifellos zu dieser Selbstsicht bei. Es hat sich zudem aus bequemen Selbstmitleid bzw. Minderwertigkeitsgefühl die Selbsteinschätzung als „Ossi“ verfestigt, eine Karikatur, die aus der Phase der Agonie des DDR-Staates herübberragt.

Angesichts der angeblich früher nicht vorhanden gewesenen, „neuen Wertschätzung“ von Russland, darf nicht übersehen werden, welche Rolle dabei die bemerkenswerten Sympathien für den russischen Führer Putin spielen, die in Ost- und in West-Deutschland nicht zuletzt darauf beruhen, dass er aufgrund seiner Ausbildung zum Agenten des KGB für kontrollierende und subversive Aktivitäten in Deutschland relativ fließend die deutsche Sprache erlernt hat.

Dies hat er durch seine bemerkenswerte Rede im Deutschen Bundestag im Jahr 2001[6] eindrucksvoll belegt. Auch gibt es Interviews mit ihm, in denen er anrührende Geschichten vom schweren Schicksal seiner Eltern im belagerten Leningrad während des Krieges (er selbst ist Jahrgang 1952) erzählt. Dass seinen Auftritten ausgefeilte Drehbücher russischer Organe zugrunde liegen dürften, wird dabei naiv übersehen.

Das besondere Verständnis der „Putin-Versteher“ für russische Interessen ist ein wichtiger Anknüpfungspunkt für die prorussische, antiukrainische Argumentation von AfD und BSW. Dabei stört es offenbar weder den „in der Wolle gefärbten DDR-Bürger“ noch den „Westdeutschen Gutmenschen“, dass Putin-Russland mit den nostalgisch verklärten Verhältnissen in der ehemaligen DDR oder der „Gorbimanie“ im Westen nichts gemeinsam hat.

Leider muss man zur Kenntnis nehmen, dass die deutschen Bundesregierungen seit den Kohl und den Schröder- und Merkel-Jahren die realen politischen Entwicklungen in Russland weitgehend falsch eingeschätzt haben. Sie haben trotz vieler Warnungen nicht nur Abhängigkeiten in der Energieversorgung, sondern auch eine Schwächung der nationalen Verteidigungsfähigkeit in Kauf genommen[7]. Dabei äußern russische Politiker schon seit Beginn“ der Putin-Ära, dass sie im „Westen“ und insbesondere in Deutschland ihren natürlichen Feind sehen.

Diese Situation liefert Ansatzpunkte für die russische Subversions- und Destabilisierungspolitik, die offenbar in Deutschland leicht willige Unterstützer großrussischer Ambitionen findet. AfD und BSW leisten hierbei auf jeweils spezifische Weise ihre Beiträge, denn durch Wählervotum haben sie im parlamentarisch-demokratischen Staatswesen auch ohne eigene Mehrheit erheblichen Einfluss auf die deutsche Politik und damit auf die Einschätzung Deutschlands in der Welt.

Dabei führt deutsche Russophilie keineswegs dazu, dass Russland Signale senden würde, von seiner für Deutschland schädlichen Politik abgehen zu wollen[8]. Das Gegenteil ist der Fall. Dies kann aber nicht überraschen, da die russische Politik diese Entwicklung als erwünschtes Resultat ihrer Geopolitik ansieht. Es ist eine Politik, die Feindschaft konstruiert, um Rechtfertigung für die eigene Aggressivität gegen Nachbarn zu schaffen, zu denen letztendlich auch Deutschland gehört. Deutschland eignet sich für Russland vorzüglich als Feindbild, zumal insbesondere die Deutschen in der „Blauen Zone“ die russische Variante der Geschichte (s.u.) ebenso verinnerlicht haben, wie die Russen selbst.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, inwieweit Russland die Fähigkeit hat über den in der Ukraine oder in Nord-Afrika bereits realisierten Umfang hinaus militärische Aggressionen umzusetzen.

## II. RUSSLAND EINE HALBORIENTALISCHE DESPOTIE“

Westliche Beobachter sahen zwischen „Russland“ und der „Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken (UdSSR)“ [9] keinen Unterschied. Klar war, sie ist zwar das flächengrößte und rohstoffreichste Land der Erde und atomar hoch gerüstet, sie verfügte allerdings nur über eine unterentwickelte Infrastruktur und ist weitgehend von hochwertigen Konsum-, Technologie- und Investitionsgüterimporten aus westlichen Ländern abhängig. Das gilt auch noch im Jahr 2025 für die Russische Föderation.

Trotz dieser wirtschaftlichen Schwäche steckte sie gewaltige Mittel in militärische Rüstung, die Kontrolle der eigenen Bevölkerung und die Kontrolle ihrer Vasallen, die sogenannten "Sozialistischen Länder". Finanziert wurde dies vor allem aus dem Rohstoffreichtum der bereits unter den Zaren kolonisierten und annektierten Gebiete im Osten.

Das Bruttoinlandsprodukt (BIP) betrug 1989 nur 28 Prozent des Bruttoinlandsprodukts (BIP) der USA, bei einer allerdings um 40 Millionen größeren Bevölkerung. Folge war ein relativ niedriger Lebensstandard und eine latente Unzufriedenheit der Bevölkerung. Solche Rahmenbedingungen machen eine ins Trudeln kommende Autokratie jedoch gefährlich, da sie dazu neigt, von inneren Problemen durch militärische Auslandsabenteuer abzulenken.

Nach dem durch verschleppte Reformen selbstverursachten Zusammenbruch der Sowjetunion und ihrer Satelliten sowie der korrupten Aneignung („Privatisierung“) des bis dahin als Volkseigentum bezeichneten Produktivvermögens durch sogenannte „Oligarchen“ hat sich die Effizienz der Wirtschaft deutlich erhöht. Diese waren zwar mehrheitlich Mitglieder der früheren „Nomenklatura“[10], zu der auch KGB-Agenten sowie die leitenden Kader der militärischen und staatlichen Apparate gehörten. Als nunmehr neue Reiche erlaubten sich viele von ihnen jedoch nach Art des zaristischen Adels einen luxuriösen Lebensstil auf internationaler Ebene. Die ebenfalls wachsende neue Mittelschicht entwickelte ebenfalls ein neues Lebensgefühl und Selbstbewusstsein, das sie in den Zentren des internationalen Tourismus aufsehenerregend auslebt. Beides ist Ausdruck eines wiederbelebten großrussischen Chauvinismus, der selbst normale Individuen zu Überheblichkeit und Rassismus im Umgang mit anderen Menschen veranlasst.

Die eingetretenen sozialen Veränderungen haben den Lebensstandard vieler Russen im Vergleich zur Sowjetzeit deutlich verbessert. Dies gilt vor allem in den größeren Städten, aber auch in stadtnahen landwirtschaftlichen Regionen und ist ein wesentlicher Grund für die Popularität der aktuellen Führung.

Dieser geht es aber erklärtermaßen nicht zentral um die Verbesserung des Lebensstandards der Massen, sondern vor allem um die Wiederherstellung, Sicherung und Erweiterung des eurasischen Imperiums des „Heiligen Russland“[11].

Dominanz von Rohstoffexporten in der Exportpalette einer Volkswirtschaft verursacht jedoch Probleme beim Auf- und Ausbau industrieller Sektoren, da Investitionen in diesen im frühen Stadium dort zwangsläufig weniger rentabel sind, als Investitionen im Rohstoff- oder im Bankensektor.

Letzterer prosperiert von der Abwicklung der über Rohstoffexporte einfließenden Devisen. Diese erlauben wiederum den Import von Investitionsgütern, welche die heimische Industrie nicht oder nur von minderer Qualität liefern kann. Hinzu treten Importe von Luxus-Konsumgütern und private Kapitalexporte reicher Oligarchen für Luxusinvestitionen im Ausland sowie staatliche Kapitalexporte für die großzügige Finanzierung subversiver Parteien und willfähriger Helfer im Ausland[12].

Angesichts einer nur schleppend voranschreitenden Modernisierung und der nach wie vor unterentwickelten Infrastruktur, sieht sich die russische Regierung gezwungen, die Zustimmung ihres Volkes auch über andere Aktivitäten zu sichern. Die medienwirksame Bekämpfung innerer und äußerer Feinde sowie militärische Abenteuer, wie der Krieg in der Ukraine oder militärische Abenteuer irgendwo sonst in der Welt lenken von solchen Problemen ab.

Nach wie vor gibt es in Russland jedoch auch eine relativ breite in Armut lebende Bevölkerungsschicht. Ihr Lebensalltag ist durch Alkoholismus und häusliche Gewalt gekennzeichnet. Für ihre Mitglieder ist ein militärischer Einsatz eine Gelegenheit, um zu einem höheren Einkommen zu gelangen und für den Fall des eigenen Todes ihre Angehörigen finanziell halbwegs gesichert zu sehen.

Auswärtige Kriege gehören darum schon immer zum außenpolitischen Portfolio Russlands. Auch darum sind großrussische, imperialistische Phantasien aus Sowjet- und Zarenzeit wieder populär geworden.

Darum wurde auch die Russisch-Orthodoxe Kirche als universelle Propagandamaschine mit hoher Glaubwürdigkeit im Volk wiederbelebt. Ihr Klerus und dessen unübersehbare Präsenz im russischen Alltag sind ebenfalls augenfällige Symptome einer autokratisch restaurativen Entwicklung der Zivilgesellschaft. Ihr im Namen bereits hervortretender Anspruch der „Rechtgläubigkeit“ und ihre Versuche die Orthodoxen Kirchen der Nachbarländer von Bulgarien bis Serbien zu dominieren, gehört ebenfalls zum imperialistischen Politikkonzept des neuen Russland. Die politische Elite übt sich darum auch medienwirksam in demonstrativer Frömmigkeit [13].

Antisemitismus und Homophobie sind weitere Nebeneffekte dieser Entwicklung. Sie prägen aber die russische Gesellschaft schon immer und verursachten auch in früheren Zeiten blutige Pogrome und individuelle Verfolgungen. Ersterer zeigt sich gegenwärtig vor allem in einer ausgeprägten „Freundschaft“ zu arabisch-afrikanischen Despoten in Syrien oder dem Iran und offener Feindschaft zum Staat Israel.

Die russische Politik versucht nicht nur im Inland den Eindruck zu erwecken, es handele sich bei Russland um eine globale Großmacht mit unerschöpflichen Ressourcen.

Um dies zu demonstrieren, wird diese Politik von einer aggressiven Rhetorik begleitet, die von Einmarschdrohungen bis zu verheerenden Atomschlägen reicht. [14]. Solches von deutschen Talkshow-Damen und -Herren bereitwillig ernstgenommenes Maulheldentum zielt in Deutschland auf die speziellen Wählerkreise von AfD und BSW sowie auf angsterfüllte, eingeschüchterte Pazifisten,

die trotz objektiv erkennbarer militärischer Schwächen Russlands an dessen militärische Übermacht glauben.

In früheren Satellitenstaaten, wie Ungarn, Slowakei, Serbien, Bulgarien oder Ostdeutschland bleiben diese propagandistischen Aktivitäten bei beachtlichen Teilen der Bevölkerung ebenfalls nicht ohne zustimmende Resonanz. Zwar leben viele Menschen dort direkt oder indirekt von den Segnungen der Europäischen Union (EU), ihr Verhalten macht jedoch deutlich, dass die Denkweisen der russischen Welt die sogenannte „Wende“ überdauert haben. Dabei müssten gerade deutsche Wähler mit Stolz auf ihre Wurzeln in der von ihnen zunehmend nostalgisch verklärten DDR eigentlich erkennen, dass die gegenwärtige Führung der Russischen Föderation weder sozialistisch oder demokratisch ist.

Selbst die Urväter des Sozialismus hätten eine positive Einschätzung der aktuellen Verhältnisse in der Russischen Föderation nicht geteilt, denn sie sahen die Innen- und Geopolitik Russlands schon zu ihrer Zeit kritisch. So kann zum Beispiel die Charakterisierung Russlands als „halborientalische Despotie“[15] durch Marx zweifellos nicht als Ausdruck besonderer Wertschätzung Russlands und des Zustandes seiner Gesellschaft angesehen werden. Marx warnte sogar vor einer zunehmenden Bedrohung durch Russland Marx und Engels gingen sehr realistisch von einer tief verwurzelten Übereinstimmung zwischen Autokratie, Orthodoxie und dem russischen Volk aus. Auch wenn diese von Zeit zu Zeit durch Aufstände der Leibeigenen durchbrochen worden sei, hätten sich diese im Ergebnis regelmäßig als noch despotischer und noch barbarischer herausgestellt, als die zaristische, „tatarisch geprägte Despotie“[16]. selbst. Während Marx als aufgeklärter Intellektueller seiner Zeit der Überzeugung war, soziale und gesellschaftliche Bewegungsgesetze entdeckt zu haben, an denen aber nach seiner sehr modernen Überzeugung immer zu zweifeln sei, wurden seine Theorien von seinen großrussischen Epigonen zu „quasi-religiösen“ Dogmen pervertiert. Es entwickelte sich der „Marxismus-Leninismus“ als umfängliche, wissenschaftlich verbrämte Ersatzreligion. Russlandkritische Äußerungen von Marx und Engels wurden darum aus deren Schriften entfernt. Kritiker solcher Fälschungen wurde vorsorglich eliminiert.

Lenin selbst hegte selbst eine ganz persönliche Abneigung gegen die „Großrussen“. Einerseits, weil da die zaristische Herrschaft wenige Jahre zuvor seinen älteren Bruder „Sascha“ wegen anarchistischer Aktivitäten hatte hinrichten lassen und andererseits, weil die übernommene Bürokratie des Zarenreiches nicht erlaubte, den komplexen Vielvölkerstaat zentral effizient zu verwalten. Darum propagierte die Idee, nichtrussische Völker des Zarenreiches, also dessen Kolonien, wie die baltischen Staaten, Finnland oder die Ukraine, in die Unabhängigkeit zu entlassen und mit Ihnen sodann als sozialistisches Russland auf „gleichberechtigter Basis“ zu kooperieren. Da er selbst als Putschist an die Macht gelangt war, erschienen ihm freie Wahlen zu riskant. Der ihm zugeschriebene Ausspruch „Vertrauen ist gut, Kontrolle ist besser!“, macht dies deutlich.

Die für die Unabhängigkeit auserwählten Kolonien waren aber ungefestigte Staatgebilde und ihre Eliten wollten

mehrheitlich keine enge Anbindung an die ehemalige Kolonialmacht. Dies führte im Falle Polen, Finnland und der Ukraine zu militärischen Auseinandersetzungen mit ihnen.

Wie die baltischen Staaten und Finnland hatte die Ukraine mit Deutschlands Hilfe am Ende des Ersten Weltkrieges durch den „Friedensvertrag von Brest-Litowsk“ einen unabhängigen Staaten bilden können. Dieser wurde allerdings nach dem Abzug der deutschen Besatzungstruppen infolge des „Friedensvertrages von Versailles“ mit militärischer Gewalt wieder unter russische Kontrolle gebracht, was in Polen und Finnland ebenfalls versucht wurde, aber nicht gelang. Erst durch den Zweiten Weltkrieg gelang dies mit den baltischen Staaten.

Die „Sowjetunion“ Lenins war darum in seinem großrussisch geprägten Umfeld keineswegs populär, da sie zu diesen selbständigen Staaten geführt hatte. Diese durch den Zusammenbruch der Sowjetunion wiedergewonnene Unabhängigkeit vom russischem Imperium wollen sie heute wahren. Allerdings gibt es in den baltischen Staaten relativ große russisch sprechende Minderheiten, die in Teilen durchaus prorussisch gesonnen sind.

Die russische Regierung betrachtet Lenin darum heute kritisch und Putin macht ihn sogar für den Zerfall der Sowjetunion verantwortlich. Seine Bewunderung gilt Lenins Nachfolger Stalin, in dem Putin trotz dessen von russischem Blut triefenden Agenda einen entschlossenen, zweifellos großrussisch gesonnenen Staatsmann sieht.

Zu Stalins russischen Opfern berichtet während einer kurzen Phase der Offenheit im Jahr 1990 der damalige Chef des Geheimdienstes KGB, dass von 1930 bis 1953 (dem Todesjahr Stalins) fast 3,8 Millionen Menschen inhaftiert gewesen seien. Von diesen seien 786.000 zum Tode verurteilt und hingerichtet worden. Die Genauigkeit dieser Zahlen wird von seriösen Historikern nicht infrage gestellt.

Putins Stalinverehrung zeigt damit beiläufig, was in seinen Augen die Qualität eines russischen Staatsmannes ausmacht[17]. Geschichtsfälschung, Lügen und insbesondere Menschenleben spielen für diesen offensichtlich keine Rolle. Vertrauenswürdigkeit ist Fehlanzeige!

Darum gibt es auch immer politische Morde, wie die Tötung des ukrainischen Nationalisten und Patrioten Stepan A. Bandera im Jahr 1959 in München[18] oder die Ermordung des russisch-georgischen Dissidenten Selimchan Changoschwili in Berlin im Jahr 2019 [19].

Die gegenwärtige russische Regierung löscht auch konsequent und systematisch Erinnerungen an die Verbrechen des „Stalinismus“ aus und beginnt den „Großen Terror“ gegen das eigene Volk und insbesondere gegen die Bevölkerung der Ukraine wieder zu verschweigen oder gar zu rechtfertigen. So wurde im Jahr 2024 zum Beispiel das GulagMuseum in Moskau wegen angeblicher „Baumängel“ geschlossen, obwohl es gerade erst renoviert worden war. [20].

In der „Blauen Zone“ Deutschlands und in den ost- und südosteuropäischen Transformationsländern sind solche Denkweisen und Legenden des großrussischen Imperiums nach wie vor wirksam. Man ignoriert auch, dass in Russland Fälschungen, Verleumdungen, Terror und Mord als politisch legitime Herrschaftsinstrumente betrachtet werden.

### III. RUSSLAND DIE LETZTE KOLONIALMACHT

Der großrussische Chauvinismus hat eine historische Dimension und sein Weltoberungsanspruch zeigt sich u.a. bereits darin, dass Russland zeitlich parallel zum Kolonialismus anderer Kolonialmächte, in Eurasien ebenfalls einen expansiven Kolonialismus[21] praktizierte.

Er vollzog sich in der ersten Phase unter Einsatz kosakischer und tatarischer Hilfstruppen vornehmlich zu Lasten zentral- und ostasiatischer Völker. Er reichte letztendlich bis in das auf dem amerikanischen Kontinent liegende Alaska. Lange vor dem Völkermord in den nordamerikanischen Indianerkriegen schreckte Russland dabei vor ethnischen Säuberungen nicht zurück. Die russischen Eroberungen im heutigen Kasachstan, Turkmenistan usw. sind weitere Beispiele für Russlands koloniale Traditionen. Auch ehemalige Teile Chinas werden nach wie vor von Russland kolonial beherrscht und ausgebeutet. Die polnischen Teilungen, die zahlreichen russisch-schwedischen und insbesondere die russisch-türkischen Kriege lassen sich ebenfalls unter diesem imperialistischen Aspekt sehen.

Im Zusammenhang mit der aktuellen Aggression Russlands in der Ukraine ist der sogenannte „Frieden von Küçük Kaynarca“ [22] von besonderer Bedeutung.

Er beendete den russisch-türkischen Krieg von 1768 bis 1774. Sultan Abdülhamid I. [23] als Verlierer dieses Krieges große Gebiete, die heute im Staatsgebiet der Ukraine liegen, sowie wichtige Städte und Seefestungen an Kaiserin Katharina II. von Russland abtreten. Russland wurde durch diese kolonialen Eroberungen zur dominierenden Seemacht am Schwarzen Meer und erzwang das Recht, die Meerengen am Bosphorus zu durchfahren.

Die vormals zum osmanischen Reich gehörenden Gebiete wurden zu einer mehr oder weniger rechtlosen Kolonie Russlands. Gerechtfertigt wurde dies unter anderem mit der in jüngerer Zeit wieder aufgegriffenen Legende, dass von der Halbinsel Krim die Christianisierung Russlands ausgegangen sei und diese deshalb russisches Land sein müsse.

Das mit Russland verbündete „Krim-Khanat“ wurde nach diesem Krieg zunächst politisch unabhängig, jedoch bereits im Jahr 1783 von Russland annektiert, durch Einsetzung einer neuen Oberschicht russifiziert und zu einem Territorium Russlands erklärt. Vormals freie Bewohner gerieten hierdurch in russische Leibeigenschaft[24].

Die Krim gehört somit zu demselben kolonialen Eroberungspaket wie die Ukraine. Ihre neuerliche Annexion als zu Russland gehörendes Land belegt beiläufig die Moral der russischen Geopolitik, die historische Fakten willkürlich in ihrem Sinne interpretiert. Da der russische Kolonialismus im Unterschied zum Kolonialismus anderer Kolonialstaaten jedoch vornehmlich zu Lande erfolgte, nimmt man diesen als solchen in der Regel nicht zur Kenntnis und so besteht er bis in die Gegenwart unbeanstandet fort.

Die unter anderem hieraus resultierende historische Erfahrung Russlands, dass es sich alles ungestraft erlauben könne, nährt auch heute den Anspruch der großrussischen Chauvinisten auf „Rückeroberungen“. Man sieht sich sogar durch das Schweigen der Europäer und in Übereinstimmung mit großen Teilen der russischen Bevölkerung ermächtigt als

„Master Race“ zu deren gewaltsamen Durchsetzung berechtigt.

Der „Panlawismus“ [25] ist ebenfalls Ausdruck des russischen Imperialismus. Er verfolgt das Ziel, möglichst alle slawischen Völker in einem gemeinsamen slawischen Staat, gemeint ist Russland, zu vereinigen. Seit etwa 1840 wurde der Begriff „Panlawismus“ in der deutschen Publizistik allerdings zum polemischen Sammelbegriff für die unterschiedlichsten Ausprägungen einer vom zaristischen Russland geförderten Idee der Gemeinsamkeit aller slawischen Völker, die sich im Verlauf des 19. und 20. Jahrhunderts ausbreitet.

Auch hierauf greift die aktuelle russische Propaganda gerne zurück, indem sie sogenannte befreite Völker wie die Bulgaren aktiv an ihre „Befreiung“ vom sogenannten „Türkischen Joch“ durch Russland erinnert. Tatsächlich begehrt Bulgarien am 3. März seinen Nationalfeiertag, der an die bedingungslose Kapitulation des Osmanischen Reiches nach dem russisch-türkischen Krieg von 1877 bis 1878 erinnert.

Als dessen Ergebnis erschien Bulgarien erstmalig als selbständiger Nationalstaat auf der Karte Europas. Chauvinisten aus dem Umfeld des Zaren hätten damals lieber einen direkten Anschluss des Schwarzmeeraanliegers an das russische Reich gesehen. Russland musste jedoch mit Rücksicht auf europäische Mächte darauf verzichten. In Bulgarien gab und gibt es jedoch politische Kreise, die eine solche Perspektive nach wie vor begrüßen würden.

Unabhängig und bewusst abgegrenzt von den großrussischen Ambitionen war der sogenannte „Erste Slawenkongress“ im Jahre 1848 in Prag geprägt vom sogenannten „Austro-Slawismus“ [26]. Dieser strebte im Rahmen der Herausbildung von Nationalstaaten in Europa, eine Föderation der slawischen Völker innerhalb des habsburgischen Herrschaftsgebietes an, das seit dem Jahr 1867 Österreich-Ungarn hieß. Er sah er in diesem Vielvölkerstaat den optimalen politischen Rahmen für die Existenz der slawischen Völker Zentraleuropas.

Gefordert wurden allerdings dessen Umformung in ein föderalistisches Staatsgebilde und die Gleichberechtigung der österreichischen Slawen mit Deutschen und Ungarn. Die Emanzipation der slawischen Volksgruppen wurde dabei allerdings vor allem von der groß-ungarischen Fraktion verhindert, die auch heute noch mit Orbán die Slowakei und Siebenbürgen als angestammtes ungarisches Land sieht.

Der Austro-Slawismus als nichtrussische, gemäßigte Variante sah offenbar die Einordnung in ein westlich zivilisiertes Vielvölkerreich wie Österreich-Ungarn gegenüber der Einbindung in ein autokratisch-freiheitsfeindliches Großrussland schon damals als Vorteil an. Viele Vertreter des Austro-Slawismus erkannten offenbar die wahren Motive des großen „slawischen Bruders“, der in erster Linie seine geopolitische Einfluss-Sphäre über abhängige Staaten wie Bulgarien und Serbien oder kolonial einverleibte Länder wie die Ukraine, Georgien oder Polen absichern wollte

Die Vorstellung, dass die außerhalb Russlands lebenden Slawen die Einbeziehung in ein großslawisches Reich sehnsüchtig wünschen und darum keinesfalls russlandfeindlich sein könnten beherrscht auch heute die Überzeugungen zahlreicher Russen. Im Falle der Ukraine hat dies zu der

katastrophalen Fehleinschätzung der Chance zu einer reibungslosen und raschen militärischen Einnahme des Landes und damit zu Krieg geführt.

Seit dem Jahr 1900 versuchte der sogenannte „Neo-Slawismus“, inspiriert durch und in direkter Anlehnung an Russland sowie mit dessen materieller Unterstützung, kulturelle und wirtschaftliche Interessen der sogenannten „Westslawen“ zu wahren. Was man dabei außer Acht ließ, war die Tatsache, dass nicht unerhebliche Teile der „Westslawen“ keine orthodoxen, sondern katholische oder evangelische Christen sowie Muslime waren. Man ignorierte schon damals die Gefahr religiöser Konflikte. Es ging einfach um politische Destabilisierung und imperialistische Machtübernahme. Das Attentat von Sarajewo hängt letztlich mit diesem Hintergrund zusammen.

Auch die Sowjetunion hielt auch machtpolitischem Kalkül immer an dem Konstrukt fest, ihre Satelliten seien aufgrund souveräner Entscheidungen ihrer Völker Mitglieder des Imperiums. Separatistische Entwicklungen wie in der DDR (1953), Ungarn (Volksaufstand 1956) oder der Tschechoslowakei (Prager Frühling 1968) wurden darum stets mehr oder weniger gewaltsam niedergeschlagen.

Aufstände unterdrückter Volksgruppen gab es aber bereits unter der Zarenherrschaft. So zum Beispiel der Januaraufstand 1863 in „Russisch Polen“, das nach den polnischen Teilungen von 1772, 1794 und 1795 Teil des Zarenreiches war [27].

Tatsächlich umfasste die Sowjetunion dank ihrer Rettung durch die Alliierten im Zweiten Weltkrieg mehr Kolonien als das Zarenreich. Viele von ihnen gelten in russischen Augen aber völlig selbstverständlich als angestammte Gebiete des russischen Mutterlandes.

Hier drängt sich ein Vergleich auf mit der französischen Kolonialpolitik des „Algérie français“ [28] in den fünfziger Jahren des 20. Jahrhunderts oder dem Konstrukt der portugiesischen „Überseeprovinzen“ [29] aus derselben Zeit. Französische bzw. portugiesische Kolonien sollten nach dem Willen der Regierungen von Frankreich und Portugal Bestandteile ihrer Mutterländer und somit politisch als Provinzen ihrer Heimatländer bleiben. Unterstützt wurde dies von Teilen der Bevölkerungen dieser Kolonien, die von diesem Status profitiert hätten. Abgelehnt wurde es aber von großen Teilen der indigenen Bevölkerung, die sich in langanhaltenden und blutigen Guerillakriegen dagegen wehrten.

Großrussische Chauvinisten wollen heute die Ukraine wieder zur russischen Provinz machen, obwohl es seit ihrer Kolonialisierung im 18. Jahrhundert immer schon antirussische Ressentiments und antirussische Aufstände gab. Aus dieser historischen Perspektive stehen auch weitere Länder zur „Heimholung“ in das heilige Russland an. Beispiele in Europa sind Moldawien, die baltischen Staaten und Finnland.

Dies entspräche dem Fall, wenn Frankreich und Portugal heute erklären würden, ihre ehemaligen Kolonien durch Eroberungskriege wieder heimholen zu wollen.

Politiker mit sowjetisch-russischem Bildungshintergrund oder ausgeprägter, landesüblicher Korruption in Afrika, Asien und Amerika übersehen gerne den russischen Kolonialismus und kritisieren gleichzeitig „westliche

Kolonialstaaten“, die längst keine mehr sind. Manche unterstützen die russische Aggression sogar, weil sie auf Russlands ökonomische und militärische Hilfe zur Sicherung ihrer demokratisch nicht legitimierten Herrschaft angewiesen sind.

Europäische Staaten und die EU sollten überdenken, ob sie solches Verhalten weiterhin durch Entwicklungshilfen honorieren wollen.

#### IV. RUSSISCHE LEGENDEN

Legenden, oder besser Geschichtsfälschungen, werden in der russischen Politik schon immer zur Rechtfertigung geografischer Ansprüche herangezogen. In Ost- und Westdeutschland tragen dazu verzerrte Geschichtsbilder zu den deutsch-russischen Beziehungen bei. So wird Russland im Zusammenhang mit dem Zweiten Weltkrieg als Opfer des deutschen Überfalls am 22. Juni 1941 dargestellt.

Tatsächlich griff man Polen aber gemeinsam am 1. September 1939 an und teilte das Land koordiniert mit militärischer Gewalt. Direkt im Anschluss daran wurden in Übereinstimmung mit Deutschland aus dem nunmehr russischen Gebiet deutschsprachige Bewohner aus- und vornehmlich in den nun von Deutschland besetzten Teil Polens umgesiedelt.

Russische Siegesparaden erinnern regelmäßig an „Heldentaten“ der russischen Armeen. Nur an die gemeinsame Siegesparade der russischen Armee mit Hitlers Wehrmacht am 22. September 1939 in der polnischen Stadt Brest, die den gemeinsamen „Sieg“ über Polen und dessen Teilung feierte, wird nicht erinnert. Brest wurde dabei zugleich an Russland übergeben und ist bis heute Teil von Belarus.

In Geschichtsbüchern und in den Medien erfährt man meist nicht, dass Russland Deutschland mit dem Hitler-Stalin-Pakt den sogenannten „Polenfeldzug“ erst ermöglicht und die deutschen „Blitzkriege“ im Westen durch Materiallieferungen und logistische Unterstützung massiv gefördert hat. Russland hat also in trauter Eintracht mit Deutschland als dessen Verbündeter den Zweiten Weltkrieg in Europa begonnen, gehörte am Ende zu den gepriesenen Siegern und Befreiern?

Russlands aggressiver Expansionsdrang zeigt sich auch in dem im Dezember 1939 unternommenen Überfall auf das seit 1917 unabhängige Finnland. Das Land war im Jahr 1809 schon einmal für mehr als einhundert Jahre als russische Kolonie okkupiert worden und verteidigte sich trotz zahlenmäßiger Unterlegenheit erfolgreich. So konnte sich, obwohl von den Westmächten nicht unterstützt, bis 1940 militärisch gegen den Aggressor behaupten und hatte das historische Glück, dass sich die Verbündeten Russland und Deutschland entzweiten. Zugleich hat Russland sich im Schatten der mit russischer Unterstützung geführten deutschen „Blitzkriege“ zu Lasten seiner Nachbarländer ebenfalls weitere Territorien angeeignet. Ein Beispiel ist das rohstoffreiche Bessarabien auf das auch Deutschland ein Auge geworfen hatte.

Die Ähnlichkeit zur aktuellen russischen Aggression in der Ukraine ist offensichtlich und hat in Finnland im Jahr 2024 zu der Entscheidung geführt, die Neutralität des Landes durch Beitritt zur NATO aufzugeben und massiv aufzurüsten.

Zur Grauzone der Desinformationen gehört auch für die von Russland und seinen Satelliten weitgehend geleugnete, letztendlich siebringende Unterstützung im Verlauf des Zweiten Weltkrieges. In Russland strickt man daraus allerdings die Legende einer patriotischen Befreiungstat aus eigener Kraft.

Hierhin gehören auch die Legenden von der Unbesiegbarkeit Russlands, alleine schon wegen der „Tiefe des russischen Raumes“ und des „Generals Winter“. Beide Legenden sollten von der Tatsache ablenken, dass Deutschland seine militärischen Aktivitäten unzulänglich vorbereitet und sich entgegen der Mahnungen erfahrener Militärführer und Sieger aus dem Ersten Weltkrieg [30] in einen Mehrfrontenkrieg begeben hatte.

Solche Geschichtsfälschungen nutzt Russland auch als Beleg für seine angeblich stets erfolgreiche Militärpolitik. Beispiele wie der Krimkrieg (1853 – 1856), der „Russisch-Japanische Krieg“ (1904 – 1905), der „Erste Weltkrieg“ (1914 – 1917), der „Russisch-Polnische Krieg“ (1919 – 1921), der „Russisch-Finnische Krieg“ (1939 – 1940) oder der „Afghanistan Krieg“ (1979 – 1989) werden zu aufgezwungenen Verteidigungskriegen umgedeutet. Dies geschieht ohne Beachtung der historischen Tatsachen, weil Russland alle diese Kriege selbst provoziert bzw. begonnen, die meisten davon aber verloren oder ohne den gewünschten Erfolg nach hohen Verlusten abgebrochen hat.

#### V. RUSSLANDS SELBSTÜBERSCHÄTZUNG

Russlands auf Expansion ausgehende Politik in der Ukraine führt nun bereits im dritten Jahr zu einem kostspieligen militärischen Einsatz. Dieser bewirkt eine erhebliche Belastung der russischen Volkswirtschaft, in der die Kriegswirtschaft aktuell bereits einen erheblichen Teil der russischen Ressourcen beansprucht. Für Russland ist dies keine geringe Last, denn die Russische Föderation rangiert gemessen an ihrem Bruttoinlandsprodukt (BIP) schließlich nur auf Rang 11 der Weltwirtschaft.

Für Russland ergab sich im Jahr 2022 (vor der Pandemie) ein Bruttoinlandsprodukt (BIP) von 2.244.249 Mrd. USD und ein Pro-Kopf-Einkommen von 15.646 USD. In Deutschland betrug das (BIP) 4.085.681 Mrd. USD, woraus ein Pro-Kopf-Einkommen von 48.756 USD resultierte. Für die Volksrepublik China ergab sich ein BIP von 17.886.331 Mrd. USD. Pro Kopf waren dies 12.670 USD.

Russland erreichte also mit seinem BIP gerade einmal 55% des BIP von Deutschland. Beim Pro-Kopf-BIP erreichte es sogar nur 32%. Im Vergleich mit China lag es bei 13% des chinesischen BIP. Beim Pro-Kopf-BIP jedoch immerhin bei 126%, des Pro-Kopf-Einkommens von China. Nur im Vergleich mit der Ukraine und ihrem relativ niedrigen BIP von 160.501 Mrd. USD sowie einem Pro-Kopf-BIP von 4.607 USD steht Russland besser da [31]. Ein ökonomischer Riese ist das größte Kolonialreich der Welt Russland also nicht!

Wie es mit Russland aus dieser ökonomischen Perspektive auf mittlere Sicht weiter gehen könnte untersucht eine Studie des „Wiener Instituts für Internationale Wirtschaftsvergleiche (WIIW)“ [32]. Danach sollte Russlands Wirtschaftsleistung im Jahr 2024 vor allem rüstungsbedingt um ca. 3,2 Prozent wachsen. Eine wichtige Rolle spielen dabei auch die relativ hohen Löhne der aktiven

Soldaten sowie die Zahlungen an Kriegsversehrte und Hinterbliebene der zahlreichen Kriegsoffer. Die Verknappung der Arbeitskräfte führt über steigende Löhne ebenfalls zu einer Umverteilung der Einkommen von oben nach unten.

Da der Staat jedoch diese Mehrkosten tragen muss, macht diese Entwicklung auch höhere Steuern notwendig, zumal die Einnahmen aus den Erdöl- und Gasexporten gegenwärtig nicht so ergiebig sind. Hohe Löhne, die bislang ein wichtiger Stabilisator der Sympathie für den Krieg sind, würden hierdurch aber gemindert.

Die WIIW-Ökonomen sehen darum Russlands Kriegswirtschaft an ihrer Kapazitätsgrenze. Zudem seien es der durch die militärische Mobilisierung und die Emigration von Spezialisten bedingte Arbeitskräftemangel sowie die zur Begrenzung der Inflationsrate relativ hohen Zinsen, die das Wachstum der russischen Wirtschaft begrenzen würden.

Die Voraussetzungen für weitere expansive Politikmaßnahmen seien ebenfalls nicht gegeben, weil bereits gegenwärtig rund ein Drittel der Staatsausgaben in die Kriegswirtschaft fließen. Diese Ausgaben entsprächen sechs Prozent der Wirtschaftsleistung,

Insofern sei anzunehmen, dass Russland angesichts seiner aktuellen Belastung und vor dem Hintergrund seiner begrenzten ökonomischen Potentiale auf kurze und mittlere Sicht keine weiteren Ambitionen militärischer Art verwirklichen könne, ohne durch eine zunehmend restriktive Budgetpolitik deren innenpolitische Unterstützung zu gefährden[33].

Bislang kommt der russischen Kriegführung zugute, dass sie über beträchtliche Arsenale mit Altbeständen und auch über genügend Mannschaften verfügte. Indem der Westen ständig seine Furcht vor einer Eskalation beteuerte, machte er Russland zusätzlich stark. Folge war, dass die Unterstützung für die Ukraine völlig unzureichend ausfiel und mit lähmenden Bedingungen versehen wurde. Dies gilt in besonderem Maße für Deutschland, dessen Regierung vor allem in seiner Blauen Zone die russlandhörigen Wähler ruhigstellen wollte.

Hoffnung setzt Russland derzeit auf die neue Regierung der USA, deren allerdings noch nicht endgültig gefestigter Kurs russische Hoffnungen weckt, dass Amerika wieder einmal den großrussischen Chauvinismus retten werde.

Abgerundet wird das Bild der russischen Befindlichkeiten durch die Ergebnisse des Levada-Instituts [34]. Nach seinen Recherchen stehen etwa 20 Prozent der Russen ideologisch hinter Putins Krieg. Jeder Fünfte ist sogar der Meinung, Russland müsse wieder eine Großmacht werden und sich gegen einen aggressiven Westen wehren. Eine etwa ebenso große Zahl sei gegen den Krieg und rund 60 Prozent seien unentschieden. Bei diesen wirke dennoch die Legende von der gefährdeten Heimat. Diese sieht man nicht so sehr durch das angebliche „Nazi-Regime“ in der Ukraine, sondern durch die vermeintliche Bedrohung aus dem Westen. Da sich Russland im Krieg befinde, könne man als Patriot zudem nicht gegen das eigene Land sein.

Hinzu komme die fundamental faschistische Überzeugung, die auch bei vielen Bewohnern der Blauen Zone zu sehen ist, dass zwischen Staaten ausschließlich die militärische Kräfteverhältnisse als Maßstab der nationalen Bedeutung zählten. Hier klingt die traditionelle Verachtung

totalitärer Gesellschaften gegenüber den sogenannten „Handelsstaaten“ durch, deren verweichlichter Wohlstand ohne militärische Macht bestehe. Internationales Recht, wie das Völkerrecht oder auch Regelwerke der UN zählten nicht, denn auf der internationalen Bühne gelte immer nur das Recht des Stärkeren.

Diese Sichtweise rührt aus der Erfahrung, dass es bei Russland und seinen Vasallen selbst kein Recht gibt und Fragen von Recht, Gerechtigkeit, die von Gerichten behandelt würden, nur als Tarnung der wahren Machtverhältnisse empfunden werden. Die Schwachen hätten sich den Stärkeren unterzuordnen. Man sieht Russland als Großmacht und kleinere Staaten könnten per se nicht souverän sein, sondern müssten sich Schutzmächten unterwerfen. Die Ukraine, Georgien oder Moldau könnten daher nur abhängige Einflusszone bzw. Teile Russlands sein. Dies ist eine mittelalterlich anmutende Sichtweise, die allerdings auch US-Präsident Trump und seine Mitstreiter von der MAGA-Fraktion teilen.

Laufend erhoben wird auch die Popularität Putins. Sie liegt in Russland trotz seiner blutigen Bilanz weiterhin konstant auf einem Niveau von 80 Prozent. Dies vermittelt einen tiefe Eindruck in die in humanitäre Mentalität der russischen Gesellschaft. Eine Statistik der britischen BBC[35], die sich auf die Auswertung von Todesanzeigen und Nachrufen in russischen Medien stützt, schätzt bis zum 23. März 2025 mindestens 100001 russische Gefallene. Die Verfasser der Statistik gehen dabei sogar selbst davon aus, dass die wirkliche Zahl deutlich höher sein dürfte[36].

Das Vorgehen der russischen Truppen wird nach Levada von der überwiegenden Mehrheit unterstützt. 17 Prozent der Befragten lehnen es allerdings ab. Unter den Jüngeren, die auch in Gefahr schweben, einberufen zu werden, ist die Ablehnung höher und die Unterstützung geringer. 30 Prozent der 18-24-Jährigen sind mit dem Vorgehen nicht einverstanden.

Die militärischen Aktionen Russlands stärken aber bei der Mehrheit den chauvinistischen Stolz. Die positiven Einschätzungen überwiegen mit insgesamt 52 Prozent die negativen Einschätzungen mit 44 Prozent. Mehr als ein Drittel der Befragten ist für die Fortsetzung des Krieges bis zum „Endsieg“. Das sind vorwiegend ältere, wohlhabende Männer (50 plus) und Bürger, die privilegiert in Moskau oder St. Petersburg fernab von Bomben und Drohnen leben. Unter diesen gibt es wiederum ein Drittel Kriegsbefürworter, die offenbar auch den Einsatz von Atomwaffen in der Ukraine befürworten. 52 Prozent der Befragten dieser Gruppe lehnen dies ab. Die Zahl der Befürworter eines Atomwaffeneinsatzes ist seit 2023 jedoch um 4 Prozentpunkte angestiegen.

Das vorstehend festgestellte chauvinistische und imperialistische Denken ist in der städtischen Elite, die auch die Führungspositionen von Staat und Wirtschaft besetzt, besonders ausgeprägt. 31 Prozent der Befragten meinen Russland sei am stärksten an Friedensverhandlungen interessiert, 28 Prozent meinen, beide Länder seien gleichermaßen interessiert und 21 Prozent sehen die Ukraine als verhandlungsbereiter. Noch im Jahr 2023 machten 56 Prozent der Befragten die Nato und die USA verantwortlich, 2024 sind es bereits 65 Prozent. Nur 11 Prozent geben der Ukraine die Schuld. Im Vorjahr waren es

noch 16 Prozent. Nur 6 Prozent sehen in Russland den Schuldigen. Auch diese Zahl lag im Jahr 2023 noch bei 8 Prozent.

Umfragen in Ländern, in denen Krieg geführt wird, sind bekanntlich nur bedingt aussagekräftig, zumal wenn es um Themen geht, die möglicherweise mit Verrat, mangelndem Nationalismus oder Kollaboration verknüpft werden können. Vor dem Hintergrund der historischen Erfahrungen mit Russland Dennoch deuten die vorliegenden Ergebnisse auf eine für den Frieden wenig förderliche Grundstimmung hin

#### *VI. RUSSLAND WILL DER FEIND SEIN*

Der Osteuropa-Historiker Karl Schlögel fordert von Deutschland eine grundsätzliche Korrektur seines Russlandbildes und seiner Russland-Politik vorzunehmen. Schlögel schreibt: „Russland ist der Feind ... ein Staat, der in Europa einen Krieg angefangen hat ... und darauf müssen sich die Deutschen einstellen. Das heißt: verteidigungsbereit sein, abwehrbereit sein“. Russland versuche die Europäische Union zu spalten und destabilisierende Fluchtbewegungen auszulösen. Acht Millionen Ukrainer seien durch den russischen Angriffskrieg bereits vertrieben worden und es gäbe kontinuierlich Einmischung, Sabotage und neben den „Diskussionsbeiträgen“ naiver Ultra-Pazifisten die Aktivitäten eindeutig prorussisch gesonnener Parteien wie AfD und BSW.

Der deutschen Öffentlichkeit sei der Ernst der Lage nicht bewusst, sondern man glaube immer noch, man könne dieser Auseinandersetzung mit dem großrussischen Chauvinismus noch entgehen. Am besten durch Preisgabe der Ukraine, die allerdings im Augenblick ja nicht nur sich selbst, sondern auch die westlichen Freiheiten verteidige.

Trotz der schwierigen militärischen Lage der Ukraine glaubt Schlögel nicht, dass die Lage Kiew völlig aussichtslos ist. Das Wichtigste sei jetzt, die Ukraine vor der totalen Zerstörung zu schützen. Darum sei die Lieferung von Waffen, welche die Ausgangspunkte der russischen Aggressionen treffen könnten, unverzichtbar. Dies erscheint besonders relevant, da sich die USA gerade wieder einmal zum Verrat ihrer Bundesgenossen zu entschließen scheinen.

Schlögel denkt aber auch, dass es Verhandlungen geben werde, wobei allerdings die Frage sei, ob diese unter Bedingungen eines Diktatfriedens stattfänden oder unter Bedingungen, die das Überleben und die Sicherheit der Ukraine gewährleisten. Er bezweifelt auch, dass sich Russland nach der Regierungszeit Putins zu einem freiheitlichen oder reformorientierten Land entwickeln werde, denn im 20. Jahrhundert seien die zivilen Eliten in Russland durch Bürgerkrieg, Hungersnöte, den Terror Stalins und zwei Weltkriege stark dezimiert worden. Er habe den Eindruck und da stimmt er ohne dies zu sagen mit Marx und Engels überein, dass dieser Prozess immer wieder von vorne beginne und es in Russland eigentlich keinen Fortschritt gäbe.

Auch die bei naiven Beobachtern im Westen vielfach bewunderte „russische Kultur“ müsse neu bewertet werden. Man könne nicht einen mörderischen Krieg gegen Nachbarn führen und gleichzeitig behaupten es gäbe da ja dennoch eine große russische Kultur des Humanismus.

Sogenannte russische Kulturschaffende würden sich im Rahmen der Aggression instrumentalisieren lassen[37].

Die russische Propaganda versucht diese Erkenntnisse zu verdecken, indem sie russische Sichtweisen und Wertungen deutschen bzw. westlichen Medien über gezielte Desinformationen druckreif zur Verfügung gestellt. Sie werden ausformuliert Medienlandschaft gestreut und häufig von Journalisten und populistischen Politikern kritiklos übernommen. Die öffentlichen Beiträge der Vertreter\*Innen der prorussischen Parteien AfD und BSW belegen dies nahezu täglich.

Spektakuläre Interviews zwischen populistischen Politikerinnen und amerikanischen Politfiguren runden diese Propaganda ab. Dabei lautet der Tenor, wirtschaftliche und politische Beziehungen zu Russland seien vorteilhafter, als die Beziehungen aus der traditionellen Westorientierung in der Europäischen Union, aus der die AfD unter dem Beifall der Bewohner der „Blauen Zone“ sogar den Austritt in Aussicht stellt.

#### *VII. ERGEBNISSE UND SCHLUSSFOLGERUNGEN*

Fassen wir zusammen! Die vorstehende Analyse hat zur Charakterisierung der russischen Politik unter anderem folgende Befunde gebracht.

Selbstüberschätzung, Chauvinismus, Totalitarismus und immer wiederkehrende militärische Aggressionen gegen Nachbarländer gehören zur Tradition russischer Politik. Vertragstreue und Einhaltung der eigenen Gesetze sind im Falle Russlands nicht gewährleistet. Politische Morde und Gewalt gegen Andersdenkende gehören zu akzeptierten Mitteln der Politik.

Zarenreich, Sowjetunion und Russische Föderation repräsentieren somit lediglich unterschiedliche Erscheinungsformen desselben großrussischen Imperialismus. Da dieser niemals in der Geschichte nachhaltig gebremst wurde, stellt ein sich selbst überschätzendes Russland, das zugleich der größte noch existierende Kolonialstaat ist, ein erhebliches Gefahrenpotential für seine Nachbarn dar.

Russische Dissidenten sagen die Sowjetunion sei ein Staat gewesen, der sich mit dem KGB einen mächtigen Geheimdienst gehalten habe. Im Russland von heute seien es aber drei Geheimdienste SB, SWR, GRU und FSO[38]., die sich einen ihnen gegenüber ohnmächtigen Staat halten.

Hierdurch verfügt Russland allerdings über einen hochentwickelten, professionellen Desinformations- und Sabotageapparat, der mit modernsten Methoden sehr subtil über die Medien wirkt und westliche Social-Media souverän nutzt und beherrscht.

Damit gelingt es erfolgreich insbesondere russlandgläubige Zeitgenossen von der Rechtmäßigkeit russischen Handelns zu überzeugen, indem Russland zum Opfer westlicher Diskriminierung und Aggression stilisiert wird.

Die prorussischen, stets auch populistischen Parteien in Europa nehmen dabei eine wichtige Position ein. Mit Kommunismus oder gar Sozialismus hat das nichts zu tun, es sei denn man übernimmt die Einschätzung von A. Weidel (AfD), nach der Adolf Hitler ein Kommunist gewesen sei.

In Deutschland fällt dies insbesondere in der Blauen Zone auf fruchtbaren Boden, da die überstürzte Vereinigung im Jahre 1990 nicht nur physische Trümmer, sondern auch eine ausgeprägte Russophilie sowie die Altlasten Unfähigkeit zur Demokratie, Unzufriedenheit, Anspruchsdenken ohne individuelle Leistungsbereitschaft und Ablehnung einer auf freier Initiative basieren Wirtschaftsordnung zurückgelassen hat. Dass man die Moderne und ihren Wohlstand ohne wesentlichen eigenen Beitrag zu Lasten der alten Bundesrepublik beschert bekam, wird weitgehend ignoriert.

Da Russland betreffend ähnlich falsche Einschätzungen auch in West-Deutschland vorherrschen, bietet sich ein breites Feld für Ansatzpunkte einer destabilisierenden prorussischen Propaganda. Dazu gehören insbesondere Verweise auf die angeblich so hochstehende russische Kultur. Die Kulturschaffenden Russlands bleiben jedoch, wie oben bereits ausgeführt, in ihrer Mehrheit jeglichen Beweis für diesen hohen Stand der russischen Kultur schuldig.

Unterschwellig wird auch das über Jahrzehnte gepflegte schlechte Gewissen des deutschen Pazifismus und die Angst der vom siegenden Russland in die Defensive gedrängten Faschisten mobilisiert. Beides resultiert vor allem aus der tief verinnerlichten Legende, Russland sei zugleich „Opfer“ und „Sieger“ im Zweiten Weltkrieg und Deutschland sei dessen Alleinverursacher gewesen.

Diese Sichtweise blendet Russlands Mittäterschaft in Polen 1939 und seine sonstige, aggressive und imperialistischen Traditionen vollkommen aus. Sicheres und aktuelles Zeichen für seine permanenten kriegerisch-aggressiven Neigungen ist aber seine tagtägliche „hybride Kriegführung“. Diese erfolgt durch Sabotage und Cyber-Attacken, zu denen keine großen militärischen Einheiten notwendig sind.

Vor diesem Hintergrund erweist sich die Politik der deutschen Regierungen der vergangenen dreißig Jahren als besonders fahrlässig, wenn nicht verantwortungslos. Die irrationale Abschaltung der Kernenergieerzeugung, die hieraus erwachsene höhere Abhängigkeit von russischem Erdgas und die naiven, realitätsfernen Verweise auf als Ersatz auszubauende, alternative Energiequellen ergänzen diese Einschätzung.

Besonders fatal ist, dass sogar die durch Abrüstung erzielten Einsparungen im Wehretat parteiübergreifend als Rendite der deutschen Vereinigung gepriesen wurden. Der eingetretene Zustand militärischer Schwäche und die sich abzeichnende Gefahr des Verrats der US-Amerikaner an ihren europäischen Verbündeten macht den hierdurch herbeigeführten Status quo besonders gefährlich.

Da politische Mentalität Russlands viele korrupte Entwicklungs- und Schwellenländer prägt, müssen sich die demokratischen Staaten Europas dringend auf ihre eigenen Kräfte besinnen und ihre bisherige Politik gegenüber diesen Staaten ebenfalls revidieren. Einerseits sollte die wirtschafts- und entwicklungspolitische Förderung überdacht werden und andererseits sollten durch eine rasche Aufrüstung auch möglichen Aggressionen von dort vorsorglich abgeschreckt werden.

Der EU-Kommissar für Verteidigung Kubilius aus Litauen sieht Europa nicht auf einen möglichen Angriff

Russlands vorbereitet. Dieses produziere aber gegenwärtig Panzer weit über seinen aktuellen Kriegsbedarf hinaus und lagere sie ein. Es sei darum wichtig, auf einen Ernstfall vorbereitet zu sein[39].

Die vorstehenden Überlegungen haben deutlich gemacht, dass Russland und seine Verbündeten keine verlässlichen Partner sein können und darum, ähnlich wie bei den USA der Gegenwart, außerordentliche Vorsicht im Umgang mit ihnen geboten ist! Da auf einen baldigen Wandel dieser Situation nicht zu hoffen ist, muss die europäische Außen-, Innen- und Wirtschaftspolitik die skizzierten Risiken zur Kenntnis nehmen und insbesondere Deutschland muss sich dabei zugleich gegen im Inneren destabilisierende Gruppierungen wie AfD und BSW schützen. Noch können diese selbst in ihren Hochburgen nicht ohne Unterstützung anderer Parteien Einfluss nehmen. Es besteht jedoch die Gefahr, dass die traditionellen Parteien durch opportunistisches Buhlen um russlandfreundliche Wähler notwendige Maßnahmen gegen den aggressiven russischen Chauvinismus verhindern.

Andere Mitgliedstaaten der Europäischen Union stehen zwar vor ähnlichen Problemen, hohe Aufmerksamkeit und entsprechende Vorkehrungen sind aber vor allem in Deutschland als größter Volkswirtschaft und Schlüsselnation der Europäischen Union und notwendig.

Diese ist global auf sich allein gestellt, denn die Geschichte der amerikanischen Geopolitik zeigt, dass die USA immer wieder Verbündete verraten haben. Beispiele dafür sind die Republik China, Korea, Vietnam und Afghanistan. Die Ukraine ist lediglich das gegenwärtige Opfer und Taiwan könnte das nächste Opfer sein. Sich ohne eigenes „Abschreckungspotential“, auf amerikanische Loyalität zu verlassen war und ist angesichts der historischen Erfahrungen darum höchst riskant.

Die Europäische Union der 27, deren Bruttoinlandsprodukt (BIP) im Jahr 2023 etwa dem BIP Chinas entsprach, sollte jedoch in der Lage sein, auch ein ausreichendes militärisches Abschreckungspotential zu haben.

Auch innerhalb der Europäischen Union sind politische Reformen überfällig. Dass ökonomische Zwerge wie Ungarn durch ein unverhältnismäßig hohes Stimmgewicht wichtige Projekte blockieren können, muss ausgeschlossen werden!

Vor diesem Hintergrund gewinnt auch das Thema „Deindustrialisierung“ [40] an Bedeutung. Dieser Begriff wird in den deutschen Medien verwendet, als handle es sich um eine deutschlandtypische, dramatische Entwicklung alter Industrien, die gerne mit dem drastischen Begriff „wegbrechen“ beschrieben, zum ökonomischen Niedergang führe. Dass die Mehrheit der deutschen Talkmaste\*Innen diese Sprechweise übernimmt, spricht für deren mangelhafte Kenntnisse zu strukturpolitischen Fragen.

Deindustrialisierung ist ein völlig normales Phänomen des Strukturwandels, denn technologisch veraltete Industrien müssen zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit und des Wohlstandes kontinuierlich abgebaut durch neue Industrien ersetzt werden. Das ist übrigens eine Entwicklung, der sich die Regierung Trump zum langfristigen Schaden der USA protektionistisch entgegenstellen will.

In Deutschland und Europa bietet die aktuelle Situation für diesen notwendigen Wandel sehr gute Möglichkeiten, denn wie gezeigt, gilt es unverzüglich ein eigenes militärisches Abschreckungspotential aufzubauen, indem die Potentiale der hochmodernen europäischen Rüstungsindustrien, ausgebaut und genutzt werden. Einerseits, um dem russischen Imperialismus zu zeigen, dass sein imperialistischer Kurs keinen Erfolg haben wird. Andererseits, weil hierdurch die Effekte der strukturwandelbedingten Deindustrialisierung kompensiert werden.

Angesichts der russischen Kriegsdrohungen ist Nachrüstung dringend notwendig. Ziel muss sein, das Niveau der militärischen Stärke auf das Niveau der wirtschaftlichen Stärke Deutschlands und Europas zu heben, Nebenbei ergäbe sich eine weitgehende Unabhängigkeit von amerikanischen Rüstungsimporten und die Handelsbilanz der EU würde sich durch geringere sogar verbessern.

Eine Rüstungsinitiative würde nicht nur bei Herstellern in Deutschland expansive Stimuli bewirken, sondern über mehrere Jahre einen nachfrageinduzierten Boom in den mit Deutschland vernetzten Ländern Europas auslösen. Zudem wäre eine leistungsfähige Rüstungsindustrie eine die Freiheit der durch Russland bedrohten Länder Europas sichernde Ergänzung des europäischen Industriepportfolios. Dieses würde zugleich gute Exportchancen in der Welt eröffnen.

Die Sicherheitskonferenz 2025 hat deutlich gemacht, dass nur ein auf eigenen Kräften der Europäischen Staaten aufbauendes Abschreckungspotential potentielle Aggressoren wie Russland im Zaum halten kann. Offenbar haben sogar deutsche Politiker erkannt, dass es höchste Zeit ist, auf eigene Kräfte gestützt, ein Abschreckungspotential gegen russische Abenteuer aufzubauen und dabei auf die zu Unzuverlässigkeit neigenden Amerikaner zu verzichten.

Schon gegenwärtig liegen die Rüstungsausgaben der europäischen Länder mit 326Mrd.EUR im Jahr 2024 höher, als der Rüstungsetat Russlands und dieser Unterschied wird noch weiter zunehmen[41], wenn die Europäer Rüstungsgüterimporten aus den USA beenden und auf eigene Potentiale zurückgreifen.

Dass militärische Abschreckung durch atomare Rüstung, über die zumindest Frankreich und Großbritannien bereits verfügen, ausgesprochen wirkungsvoll ist, zeigt das Beispiel der Steinzeitdiktatur Nord-Korea mit ihren atombewährten Interkontinentalraketen. Ihre Existenzsicherung beruht ausschließlich auf atomarer Abschreckung.

Die Chance hierzu hatte die Ukraine vertan, indem sie gutgläubig ihre atomare Bewaffnung an die Russische Föderation übergeben hatte. Europa ist durch seine Abhängigkeit von den USA in einer ähnlichen Situation. General De Gaulle hatte Europa davor gewarnt!

Deutsche und europäische Politik müssen daraus Lehren ziehen und ohne Verzug durch Ausbau der vorhandenen Potentiale der Rüstungsindustrie ein eigenes Abschreckungspotential aufbauen. Vor allem aber auch um hierdurch hochtechnologische, humankapitalintensive Sektoren zu fördern, die den ohnehin notwendigen Aufbau einer innovativen, europagestützten Produktionsbasis und Infrastruktur beschleunigen.

## REFERENCES

- [1] Das Bündnis Sahara Wagenknecht und das Rätsel der Vereins-Million." 16 Aug. 2024, <https://correctiv.org/aktuelles/parteispenden/2024/08/16/das-buendnis-sahra-wagenknecht-und-das-raetselder-vereins-million/>. (abgerufen am 23.11.2024).
- [2] "Die Kosten und Erträge der Wiedervereinigung Deutschlands." <https://www.bpb.de/themen/deutsche-einheit/langewege-der-deutschen-einheit/47534/die-kosten-und-ertraege-der-wiedervereinigung-deutschlands/>. (abgerufen am 15.09.2024).
- [31] Stange, A. M.: Zollunion versus Gemeinsamer Markt - Eine disaggregierte Makroanalyse der Integration von Gütern und Faktormärkten, Berlin. 1994.
- [4] "„Sehr geehrter Herr Bundespräsident, bei allem Respekt - WELT." 08 Nov. 2024, <https://www.welt.de/kultur/article254426424/MarkoMartins-Mauerfall-Rede-Sehr-geehrter-Herr-Bundespraesident-undbeiallem-Respekt.html>. (abgerufen am 11.11.2024)
- [5] Leibbrandt, E., The gentle woman, New-York (NY), 2009.
- [6] "Deutscher Bundestag - Wortprotokoll der Rede Wladimir Putins im ...." 25 Sept. 2001, [https://www.bundestag.de/parlament/geschichte/gastredner/putin/putin\\_wort-244966](https://www.bundestag.de/parlament/geschichte/gastredner/putin/putin_wort-244966). (abgerufen am 14.11.2024).
- [7] Lang, F.P., Successes and failures in the East-West trade relations, Utrecht/NL 1990.
- [8] "Deutsche Russophilie - WELT." 08 Mrz. 2014, [https://www.welt.de/print/die\\_welt/kultur/article125569604/Deutsche-Russophilie.html](https://www.welt.de/print/die_welt/kultur/article125569604/Deutsche-Russophilie.html). (abgerufen am 26.06.2024).
- [9] "Sowjetunion (UdSSR) | bpb.de - Bundeszentrale für politische Bildung." <https://www.bpb.de/kurz-knapp/lexika/das-junge-politiklexikon/333047/sowjetunion-udssr/>. (abgerufen am 23.10.2024).
- [10] Voslenky, M. S., Nomenklatura - Die herrschende Klasse der Sowjetunion, München, 1984.
- [11] "Das heilige Russland : Doré, Gustave, 1832-1883 - Archive.org." 03 Jun. 2013, <https://archive.org/details/dasheiligerussla00dore>. (abgerufen am 27.09.2024).
- [12] Lang, F. P., Exportboom und Deindustrialisierung Realer Wechselkurs, internationale Einkommenstransfers und Allokation, Hamburg 1988.
- [13] "Die Russische Orthodoxe Kirche - Geschichte, Glaubenslehre und praxis ...." <https://www.orthodoxdresden.de/stsimeon/index.php/de/kirche/publikationen/55-die-russische-orthodoxe-kirchegeschichte-glaubenslehre-und-praxis>. (abgerufen am 19.06.2024).
- [14] "Moderator in Russlands Staats-TV: „Wir sind Aggressoren und können ...." 13 Feb. 2024, <https://www.merkur.de/politik/moderator-imrussischen-staats-tv-wir-sind-aggressoren-und-extrem-boese-zr-92829986.html>. (abgerufen am 13.06.2024)
- [15] "Marx & Engels intim: Erstaunliches aus dem unzensierten Briefwechsel ..." <https://www.amazon.de/Marx-Engels-intim-Erstaunliches-unzensierten/dp/398151582X>. (abgerufen am 04.02.2024).
- [16] "Marx und Russland | dekoder | DEKODER | Journalismus aus Russland und ..." 04 Mai. 2018, <https://www.dekoder.org/de/gnose/marxund-russland>. (abgerufen am 30.01.2024).
- [17] "Kämpfen mit Fakten: Wie viele Opfer forderte Stalins Terror wirklich ...." [https://de.rbth.com/kultur/geschichte/2017/07/31/kampfen-mitfakten-wie-viele-opfer-forderte-stalins-terror-wirklich\\_813916](https://de.rbth.com/kultur/geschichte/2017/07/31/kampfen-mitfakten-wie-viele-opfer-forderte-stalins-terror-wirklich_813916). (Abgerufen am 05.12.2024).
- [18] "Analyse: Stepan Bandera: Geschichte, Erinnerung und Propaganda." <https://www.bpb.de/themen/europa/ukraine-analysen/nr270/509748/analyse-stepan-bandera-geschichte-erinnerung-und-propaganda/>. (abgerufen am 11.10.2024).
- [19] "Selimchan Changoschwili: Tarnidentität für den Mörder | ZEIT ONLINE." <https://www.zeit.de/politik/deutschland/2019-12/selimchan-changoschwili-berlin-mord-tschetschene-ermittlungen-russland-heimdienst/seite-2>. (abgerufen am 11.10.2024).
- [20] "Russischer Geschichtsrevisionismus: Die Erinnerung wird ausgelöscht - taz.de." 16 Nov. 2024, <https://taz.de/Russischer-Geschichtsrevisionismus/!6049343/>. (abgerufen am 17.11.2024)
- [21] "Russland: Die letzte europäische Kolonialmacht | ZEIT ONLINE." 18 Nov. 2022, <https://www.zeit.de/wirtschaft/2022-11/russland-kolonialmacht-ukraine-krieg-afrika>. (abgerufen am 30.01.2024).

- [22] "Friede von Küçtik Kaynarca | AustriaWiki im Austria-Forum." [https://austria-forum.org/af/Austria-Wiki/Friede\\_von\\_K%C3%BC%C3%A7%C3%BCK\\_Kaynarca](https://austria-forum.org/af/Austria-Wiki/Friede_von_K%C3%BC%C3%A7%C3%BCK_Kaynarca). (abgerufen am 26.06.2024).
- [23] "Abdülhamid I. - IOS) Regensburg." <https://biolex.ios-regensburg.de/BioLexViewview.php?ID=388>. (abgerufen am 26.06.2024).
- [24] "Ukraine: Russlands lange Abrechnung mit den Krimtataren - WELT." <https://www.welt.de/geschichte/article125377674/Russlands-lange-Abrechnung-mit-den-Krimtataren.html>. (abgerufen am 26.06.2024).
- [25] "Panslawismus aus dem Lexikon | wissen.de." <https://www.wissen.de/lexikon/panslawismus>. (abgerufen am 05.02.2024).
- [26] "Aufstieg und Fall des Austroslawismus | Der Erste Weltkrieg." <https://ww1.habsburger.net/de/kapitel/aufstieg-und-fall-des-austroslawismus..> (abgerufen am 05.02.2024).
- [27] "Teilung von Polen: So löschte man früher einen Staat aus." 11 Aug. 2022, <https://www.welt.de/geschichte/article240398993/Teilung-von-Polen-So-loeschte-man-frueher-einen-Staat-aus.html>. (abgerufen am 14.07.2024).
- [28] "Algerien und Frankreich: Vom Kolonial- zum Erinnerungskrieg?." <https://www.bpb.de/shop/zeitschriften/apuz/232425/algerien-undfrankreich-vom-kolonial-zum-erinnerungskrieg/>. (abgerufen 21.06.2024).
- [29] "Historisches Übersee-Archiv | ReMapping Memories Lisboa." <https://www.re-mapping.eu/de/erinnerungsorte/historisches-uberseearchiv>. (abgerufen m 21.06.2024).
- [30] Max Hoffmann, M., Der Krieg der versäumten Gelegenheiten. München, 1923
- [31] "Russland - Wirtschaftswachstum (BIP) bis 2029 | Statista." 25 Apr. 2024, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/14568/umfrage/wachstum-des-bruttoinlandsprodukts-in-russland/>. (abgerufen am 10.07.2024)
- [32] "The Vienna Institute for International Economic Studies (wiiw)." <https://www.wiiw.ac.at/>. (abgerufen am 04.07.2024).
- [33] "Russlands Wirtschaft in vier Grafiken: So hat der Krieg sie verändert." 15 Apr. 2023, <https://www.businessinsider.de/wirtschaft/internationalbusiness/russlands-wirtschaft-vier-grafiken-so-hat-der-krieg-sieveraendert/>. (abgerufen am 10.07.2024).
- [34] "Левادا-Центр: От мнений — к пониманию." <https://www.levada.ru/en/>. (abgerufen am 15.12.2024).
- [35] "BBC Home - Breaking News, World News, US News, Sports, Business ..." <https://www.bbc.com/>. (abgerufen am 05.12.2024).
- [36] "Kriegsrealität: Wie Russland die Soldatentode im Ukraine-Einsatz ... - NZZ." 24 Aug. 2024, <https://www.nzz.ch/international/wo-sind-alldie-toten-soldaten-herr-putin-ld.1844865>. (abgerufen am 26.11.2024).
- [37] "Historiker Schlögel: "Russland ist der Feind" - n-tv.de." 24 Nov. 2024, <https://www.n-tv.de/politik/Historiker-Schloegel-Russlandist-der-Feind-article25383288.html>. (abgerufen am 20.11.2024).
- [38] "Nachfolger des KGB: Das sind die vier Geheimdienste Russlands." 03 Mai. 2024, <https://www.rnd.de/politik/heimdienste-in-russlandwelche-aufgaben-haben-fsb-gru-swr-und-fso-BD773YPE4NHZFEQEXO44TQQLT4.html>. (abgerufen am 06.12.2024).
- [39] <https://www.tagesspiegel.de/internationales/lagern-unzählige-panzerein-warum-eu-verteidigungskommissar-warnt-vor-russischem-angriff-auf-eu-staaten-12869005.html> (abgerufen am 15.12.2024).
- [40] Lang, F. P., Exportboom und Deindustrialisierung Realer Wechselkurs, Internationale Einkommenstransfers und Allokation, Hamburg, 1988.
- [41] <https://www.consilium.europa.eu/de/policies/defence-numbers/> (abgerufen am 21.02.2025).

# Renaissance of Nuclear Power Energy

## Renaissance der Kernenergie

Nikolay Kambosev

FDIBA, Technical University of Sofia,  
Sofia, Bulgaria, kambosov@gmail.com

**Abstract** — This article intends to illustrate the current trend of nuclear energy production as a part of the energy mix and it analyses the growing energy needs and the market share of the nuclear power in future demand. The article also summarizes nuclear safety and nuclear fuel. It analyses the nuclear major incidents and how nuclear safety has been improved after the Fukushima nuclear accident.

**Zusammenfassung** — Dieser Artikel beabsichtigt, den aktuellen Trend der Kernenergieerzeugung als Teil des Energiemixes darzustellen und analysiert den wachsenden Energiebedarf sowie den Marktanteil der Kernenergie in der zukünftigen Nachfrage. Der Artikel fasst außerdem die Themen der nuklearen Sicherheit und des Kernbrennstoffs zusammen. Er analysiert die wichtigsten Nuklearvorfälle und zeigt auf, wie die nukleare Sicherheit nach dem Fukushima-Unfall verbessert wurde.

### I. INTRODUCTION

The world is striving for economic growth amid growing energy uncertainty and a need for decarbonisation. As energy demand grows, all countries face a challenge of ensuring the energy supply which is a necessary factor for the economic growth. The electricity production mix is a crucial for all of them. The renewable energy share still cannot ensure the electricity production. Therefore, the nuclear energy is the answer of reduction of the carbon emissions and fossil fuel use.

### II. NUCLEAR ENERGY AS PART OF THE ENERGY MIX

Nuclear energy is very important for the energy mix because it is one of the supplier of the base-load of electricity to the grid. Figure 1 shows the global nuclear electricity

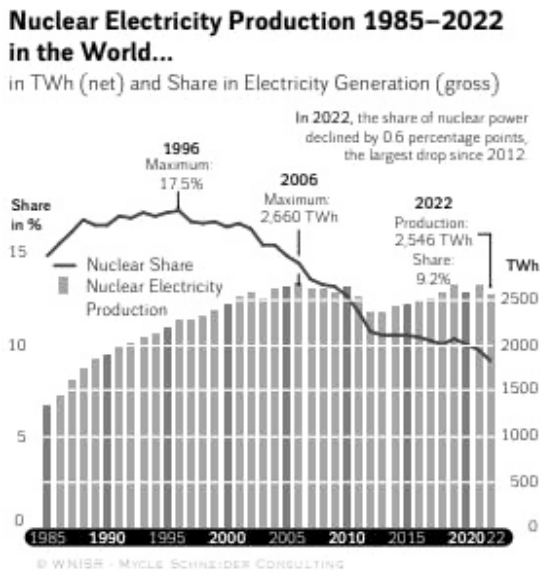


Fig. 1. Nuclear energy's share of global electricity production [1]

production (in TWh) and its share in overall electricity generation from 1985 to 2022. The nuclear share peaked in 1996 at 17.5%, while production reached a maximum of 2,660 TWh in 2006. By 2022, nuclear production declined to 2,546 TWh, representing 9.2% of the total electricity share, marking a decrease of 0.6% points compared to the previous year.

As of May 2024, there were 440 nuclear reactors in operation in 32 countries around the world [2]. Table 1 shows the countries with the most nuclear generated electricity and the number of operating reactors. They are the United States of America, China and France. These countries continue to build new reactors, thereby increasing their share of nuclear power supply in the energy mix.

TABLE I. NUCLEAR SHARE OF NUCLEAR ELECTRICITY SUPPLIED IN 2023 [3]

#	Country	Total net Electrical Capacity [MW]	Number of Operated Reactors	Nuclear Electricity Supplied [GW.h]	Nuclear Share [%]
1	UNITED STATES OF AMERICA	95,835	93	779,186	18.6
2	CHINA	53,152	55	406,484	4.9
3	FRANCE	61,370	56	323,773	64.8
4	RUSSIA	27,727	37	203,957	18.4
5	KOREA, REPUBLIC OF	25,825	26	171,640	31.5
6	CANADA	13,699	19	83,465	13.7
7	JAPAN	11,046	12	77,539	5.6
8	SPAIN	7,123	7	54,371	20.3
9	SWEDEN	6,944	6	46,648	28.6
10	INDIA	6,290	19	44,646	3.1

According to the world nuclear association the new plants coming online are largely balanced by old plants being retired [4]. Over the past 20 years (2004–2023), 107 reactors were retired as 100 started operation [4]. However, the reactors grid connected during this period were larger, on average, than those ones that shut down, so capacity increased by about 19

GW [4]. The Reference Scenario in the 2023 edition of The Nuclear Fuel Report has 66 reactors closing by 2040, and 308 new ones coming in operation which include 31 Japanese reactors in operation by 2040 [4].

The nuclear share of the total net electrical capacity by countries is shown in Table 2. The leader is France, which supplies about 65% of its electricity from nuclear energy. In this ranking for 2023, Bulgaria is placed fourth with 40.4%. Germany phased out the use of nuclear energy for electricity generation in 2023 [1]. On April 15, 2023 the last three German nuclear power plants Emsland, Isar 2 and Neckarwestheim II were shut down [1]. Their shutdown had been planned for 31 December 2022 [5]. Due to the energy crisis, the three nuclear power plants continued operation in stretch-out mode until 15 April 2023 at the latest [5].

TABLE II. NUCLEAR SHARE OF ELECTRICITY GENERATION IN 2023 [3]

#	Country	Total net Electrical Capacity [MW]	Nuclear Electricity Supplied [GW.h]	Nuclear Share [%]
1	FRANCE	61,370	323,773	64.8
2	SLOVAKIA	2,308	17,005	61.3
3	HUNGARY	1,916	15,092	48.8
4	FINLAND	4,394	32,759	42.0
5	BELGIUM	4,916	31,289	41.2
6	BULGARIA	2,006	15,488	40.4
7	CZECH REPUBLIC	3,934	28,728	40.0
8	SLOVENIA	688	5,332	36.8
9	SWITZERLAND	2,973	23,404	32.4
10	KOREA, REPUBLIC OF	25,825	171,640	31.5

According to Eurostat more than half (56.1%) of the net electricity generated in the European Union (EU) in 2022 came from non-combustible primary sources. Less than half (43.9%) came from combustible fuels (such as natural gas, coal and oil). Less than a quarter (21.4%) came from nuclear power stations [6]. Among the renewable energy sources shown in Figure 2, the highest share of net electricity generation in 2022 was from wind turbines (15.4%), followed by hydropower plants (11.2%) and solar power (7.7%) [6].

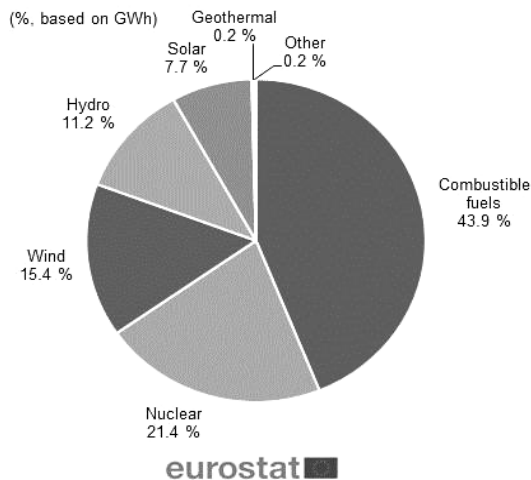


Fig. 2. Net electricity generation, EU, 2022 [6]

The relative significance of renewable energy sources in relation to EU net electricity generation increased between 2012 and 2022 from 22.0% to 34.5%, while there was a relatively large decrease in the significance of combustible fuels from 50.1% to 43.9% and a reduction in the share of electricity generated from nuclear power plants from 27.7% to 21.4% [6]. Among the renewable energy sources, the proportion of net electricity generated from solar and wind increased greatly: from 2.5% in 2012 to 7.7% in 2022 for solar power and from 6.6% in 2012 to 15.4% in 2022 for wind turbines [6].

Japan is an example of a country with a strongly developed nuclear energy sector. Japan needs to import about 90% of its energy requirements and, therefore, relies of its nuclear program. Up until 2011, Japan was generating some 30% of electricity from its reactors and this was expected to increase to at least 40% by 2017 [7]. After the Fukushima nuclear power plant accident in 2011 the public trust in the national government and nuclear experts collapsed. Figure 3 shows the shares of the electricity generation by source before and after the accident.

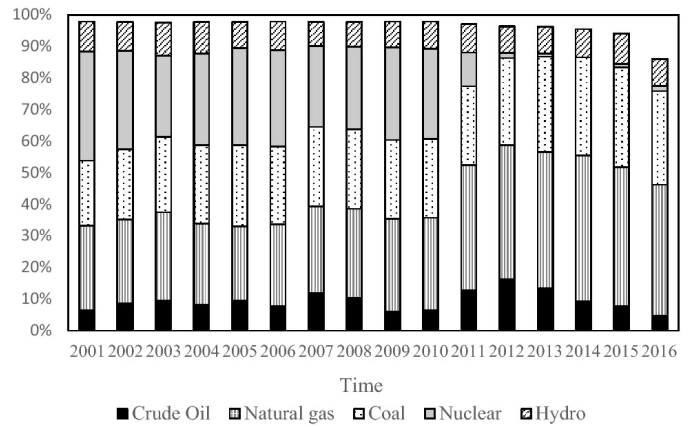


Fig. 3. Share of Japanese electricity generation by source [8]

Japan's decision to become carbon neutral by 2050 and the continuous reduction of its carbon footprint through the resumption of nuclear power. The government is developing a plan for increasing the nuclear energy production. Table 3 shows the plan for the development of Japan's energy mix until 2040. The use of nuclear power reduces Japan's reliance on coal, oil, and LNG, which are major contributors to greenhouse gas emissions.

TABLE III. JAPAN POWER GENERATION MIX [9]

	Generation mix in 2023	Wood Mackenzie forecast to 2030	Government plan to 2030	Wood Mackenzie forecast to 2040
LNG	33%	27%	20%	24%
Coal	32%	26%	19%	12%
Hydro+other renewables	14%	16%	36%	17%
Solar+wind	12%	16%		28%
Nuclear	9%	14%	22%	18%

Japan's decision to expand nuclear power production is driven by a combination of energy security, environmental concerns, and economic stability. Nuclear power provides Japan with a low-carbon, reliable, and relatively cost-effective energy source that aligns with both its climate change goals and its need to reduce dependence on imported fossil fuels. Advances in technology and safety have also made nuclear energy a more attractive option in the post-Fukushima era.

### III. NUCLEAR SAFETY AND NUCLEAR MAJOR INCIDENTS

Nuclear safety involves rigorous protocols to prevent accidents and minimize risks. Countries have their own regulatory agencies which monitor the plant safety, enforce the standards, and review the accident procedures.

Nuclear accidents have significant implications for both human health and the environment. Figure 4 shows the International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) which has been developed by the International Atomic Agency in 1990 as an international indicator and shows the level of the seriousness in terms of safety of accidents or trouble at nuclear power plants. The highest level of accident is level 7. There are two major accidents in history of this level Chernobyl and Fukushima Daiichi:

- Chernobyl (Ukraine 1986) where the destruction of the reactor by steam explosion and fire killed two people initially plus a further 28 from radiation poisoning within three months, and had significant health and environmental consequences [10]. About 130,000 people received significant radiation doses (i.e. above internationally accepted International Commission on Radiological Protection (ICRP) limits and continue to be monitored [10].
- Fukushima Daiichi (Japan 2011) where three old reactors (together with a fourth) were written off after the effects of loss of cooling due to a huge tsunami were inadequately contained [10].

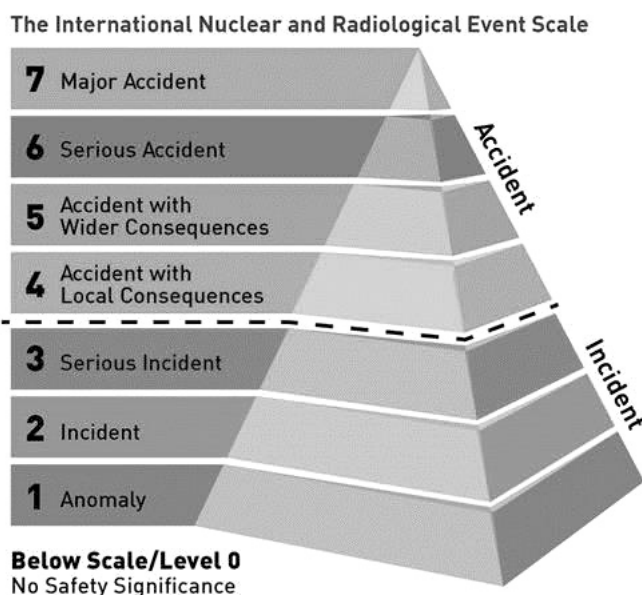


Fig. 4. The International Nuclear and Radiological Event Scale (INES) [11]

The Nuclear Safety Directive 2009/71/Euratom, that established a community framework for the nuclear safety of nuclear installations was amended in 2014 and with the

amending Nuclear Safety Directive (2014/87/Euratom), the EU significantly enhanced its leadership in nuclear safety worldwide [12]. The amendment is based on nuclear risk and safety assessments (stress tests) carried out in 2011 and 2012, the lessons learned from the Fukushima nuclear accident, and the safety requirements of the Western European Nuclear Regulators Association (WENRA) and the International Atomic Energy Agency (IAEA) [12]. The directive requires EU countries to give the highest priority to nuclear safety at all stages of the lifecycle of a nuclear power plant [12]. This includes carrying out safety assessments before the construction of new nuclear power plants and ensuring significant safety enhancements for old reactors [12].

Since the Fukushima accident, stress tests have been done on almost all reactors around the world to prove their reliability. It is also improved protections against natural disasters like earthquakes and tsunamis and it is added backup power systems for cooling.

### IV. NUCLEAR FUEL

The chemical element Uranium is used for nuclear fuel after series of industrial processes which include mining, milling, conversion, enrichment to  $^{235}\text{U}$  and fuel fabrication. Once the fuel is loaded inside a nuclear reactor, controlled fission can occur [13]. Fission means splitting of fissile radionuclides (e.g.  $^{235}\text{U}$  and  $^{239}\text{Pu}$ ) [13]. The splitting releases energy that is used to heat water and produce high pressure steam [13]. The steam turns a turbine connected to a generator, which generates electricity [13]. The fuel is used in the reactor for 3–6 years and about once a year, part of the fuel is unloaded and replaced with fresh fuel [13]. Figure 5 shows the nuclear spent fuel dry storage.



Fig. 5. The nuclear spent fuel dry storage [13]

Typically, some 44 million kilowatt-hours of electricity are produced from one ton of natural uranium [14]. The production of this amount of electrical power from fossil fuels would require the burning of over 20,000 tons of coal or 8.5 million cubic meters of gas [14].

The spent fuel is stored first in the reactor pool because is very hot and radioactive. After a few years the spent fuel can be stored to other storage place. Progress has been made in safely disposing of very-low-level and low-level waste in the EU, and so far Finland, France and Sweden have selected sites for the deep geological disposal of intermediate-level and highlevel waste from civilian facilities [15]. They plan to open the first repositories for these kinds of waste between 2025 and 2035 [15].

Like all industries and energy-producing technologies, the use of nuclear energy results in some waste products [16].

Figure 6 shows the three types of nuclear waste, classified according to their radioactivity: low-, intermediate-, and high-level [16]. The vast majority of the waste (90% of total volume) is composed of only lightly-contaminated items, such as tools and work clothing, and contains only 1% of the total radioactivity [16]. By contrast, high-level waste – mostly comprising used nuclear (sometimes referred to as spent) fuel that has been designated as waste from the nuclear reactions – accounts for just 3% of the total volume of waste but contains 95% of the total radioactivity [16].

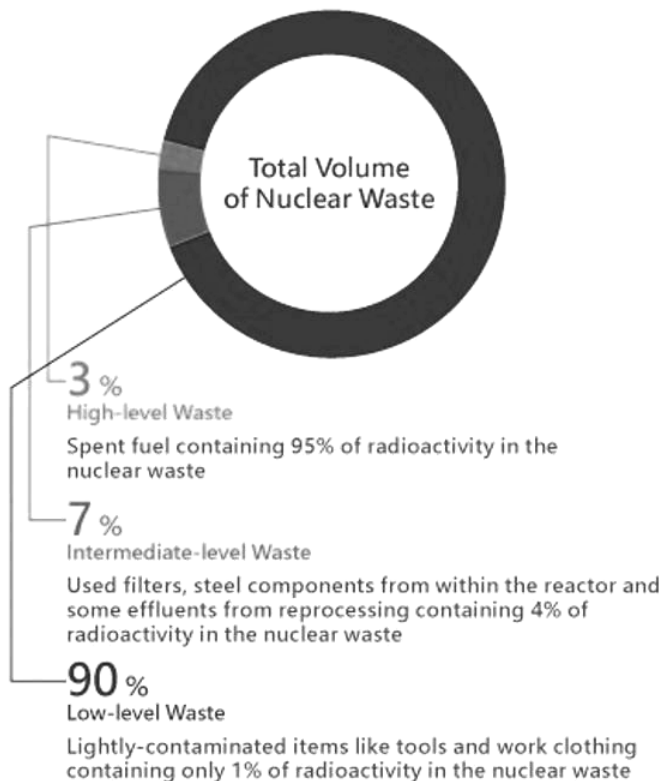


Fig. 6. Type of Nuclear Waste [16]

## V. CONCLUSION

With the increase in global electricity consumption and insights from the Dubai climate conference, the energy mix is becoming crucial for countries. Now the priority is energy security, sustainability, and decarbonisation. The nations seek to meet growing demand while reducing their environmental impact. This will lead to the need for diverse energy sources, including renewables and nuclear power, to ensure a reliable and sustainable future. Together with increased funding for new nuclear reactors, this will lead to a nuclear renaissance. Some countries are still strongly anti-nuclear due to historical incidents, but with the lessons learned from these nuclear incidents, have made nuclear power plants safer than ever. Nuclear energy will become a game changer for the future energy mix.

## REFERENCES

[1] Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), "Nuclear energy worldwide 2024," Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS), 2024. [Online]. Available: <https://www.grs.de/en/news/nuclear-energy-worldwide-2024>. [Accessed 03 09 2024].

[2] Statista, "Number of operable nuclear power reactors worldwide as of May 2024, by country," 2024. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/267158/number-of-nuclear-reactors-in-operation-by-country/>. [Accessed 05 09 2024].

[3] International Atomic Energy Agency (IAEA), "Nuclear Share of Electricity Generation in 2023," 2024. [Online]. Available: <https://pris.iaea.org/PRIS/WorldStatistics/NuclearShareofElectricityGeneration.aspx>. [Accessed 01 09 2024].

[4] World Nuclear Association, "World Nuclear Power Reactors & Uranium Requirements," 2024. [Online]. Available: <https://world-nuclear.org/information-library/facts-and-figures/world-nuclear-powerreactors-and-uranium-requireme>. [Accessed 06 08 2024].

[5] The nuclear phase-out in Germany, "Federal Office for the Safety of Nuclear Waste Management," 2024. [Online]. Available: [https://www.base.bund.de/EN/ns/nuclear-phase-out/nuclear-phaseout\\_node.html#:~:text=The%20last%20three%20nuclear%20power%20plants%20in%20Germany%20were%20shut,planned%20for%2031%20December%202022..](https://www.base.bund.de/EN/ns/nuclear-phase-out/nuclear-phaseout_node.html#:~:text=The%20last%20three%20nuclear%20power%20plants%20in%20Germany%20were%20shut,planned%20for%2031%20December%202022..) [Accessed 03 09 2024].

[6] Eurostat, "Electricity production, consumption and market overview," Eurostat, Statistics Explained, 08 09 2024.

[7] World Nuclear Association, "Nuclear Power in Japan," 2024. [Online]. Available: <https://world-nuclear.org/information-library/countryprofiles/countries-g-n/japan-nuclear-power#nuclear-power-industry>. [Accessed 06 09 2024].

[8] K. Aruga, "Analyzing the condition of Japanese electricity cost linkages by fossil fuel sources after the Fukushima disaster," *Energy Transit* 4, no. 14 March 2020, p. 91–100, 14 03 2020.

[9] Reuters, "In Japan, energy security fears put nuclear back in favour for 2040 plan," Reuters, 2024. [Online]. Available: <https://www.reuters.com/business/energy/japan-energy-security-fears-put-nuclear-back-favour-2040-plan-2024-06-04/>. [Accessed 03 09 2024].

[10] World Nuclear Association, "Safety of Nuclear Power Reactors," 2024. [Online]. Available: <https://world-nuclear.org/informationlibrary/safety-and-security/safety-of-plants/safety-of-nuclear-powerreactors>. [Accessed 30 08 2024].

[11] U.S. Nuclear Regulatory Commission, "International Nuclear and Radiological Event Scale (about emergency preparedness)," 2024. [Online]. Available: <https://www.nrc.gov/about-nrc/emergpreparedness/about-emerg-preparedness/emerg-classification/eventscale.html>. [Accessed 08 09 2024].

[12] European Commission, "Nuclear safety," 2024. [Online]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclear-energy/nuclear-safety\\_en](https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclear-energy/nuclear-safety_en). [Accessed 08 09 2024].

[13] International Atomic Energy Agency, "THE NUCLEAR FUEL CYCLE," 2024. [Online]. Available: <https://www.iaea.org/sites/default/files/19/02/the-nuclear-fuel-cycle.pdf>. [Accessed 01 09 2024].

[14] World Nuclear Association, "Nuclear Fuel Cycle Overview," 2024. [Online]. Available: <https://world-nuclear.org/informationlibrary/nuclear-fuel-cycle/introduction/nuclear-fuel-cycle-overview>. [Accessed 05 09 2024].

[15] European Commission, "Radioactive waste and spent fuel," 2024. [Online]. Available: [https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclearenergy/radioactive-waste-and-spentfuel\\_en#:~:text=The%20EU's%20Radioactive%20Waste%20and,the%20management%20of%20these%20materials..](https://energy.ec.europa.eu/topics/nuclearenergy/radioactive-waste-and-spentfuel_en#:~:text=The%20EU's%20Radioactive%20Waste%20and,the%20management%20of%20these%20materials..) [Accessed 07 09 2024].

[16] World Nuclear Association, "What is nuclear waste, and what do we do with it?," 2024. [Online]. Available: <https://world-nuclear.org/nucleaessentials/what-is-nuclear-waste-and-what-do-we-do-with-it>. [Accessed 05 09 2024].

# Modeling Financial Clients: Insights from Deep Neural Networks and Logistic Regression Approaches

„Modellierung von Finanzkunden: Erkenntnisse aus tiefen neuronalen Netzwerken und logistischen Regressionsansätzen“

Radoslav Keremidchiev

FDIBA, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, rkeremidchiev@yahoo.com

**Abstract** - This study examines the predictive modeling of financial customers' behavior by developing logistic regression and deep neural network (DNN) models in Python. The dataset includes anonymized records from financial institutions, featuring various customer attributes and system flags. Each record reflects a distinct client request with parameters indicative of the client's current state.

We compared logistic regression, a traditional classification model, with DNNs, which can learn complex, non-linear patterns. Although DNNs are recognized for their potential, their capabilities are still evolving. Key to our analysis was data preprocessing, including imputation and scaling. After training and evaluating both models, the DNN exhibited a significant advantage in predictive accuracy (AUC-ROC: 0.9282), attributed to its capacity for capturing non-linear relationships. Conversely, logistic regression provided comparable performance but enhanced interpretability. This comparison underscores the trade-offs between interpretability and predictive power, offering insights for financial institutions. Future research may explore ensemble methods and feature engineering to further improve model robustness.

**(Key words:** Accuracy; Precision; Recall; AUC-ROC Score; Log.Reg; DNN; Interpretability)

**Zusammenfassung** - Diese Studie untersucht die prädiktive Modellierung des Verhaltens von Finanzkunden durch die Entwicklung von logistischen Regressions- und Deep Neural Network (DNN)-Modellen in Python. Der Datensatz enthält anonymisierte Datensätze von Finanzinstituten mit verschiedenen Kundenattributen und Systemflags. Jeder Datensatz spiegelt eine eindeutige Kundenanfrage mit Parametern wider, die den aktuellen Status des Kunden anzeigen.

Wir haben die logistische Regression, ein traditionelles Klassifizierungsmodell, mit DNNs verglichen, die komplexe, nichtlineare Muster lernen können. Obwohl DNNs für ihr Potenzial bekannt sind, entwickeln sich ihre Fähigkeiten noch weiter. Der Schlüssel zu unserer Analyse war die Datenvorverarbeitung, einschließlich Imputation und Skalierung. Nach dem Training und der Auswertung beider Modelle zeigte das DNN einen erheblichen Vorteil bei der Vorhersagegenauigkeit (AUC-ROC: 0,9282), was auf seine Fähigkeit zurückzuführen ist, nichtlineare Beziehungen zu erfassen. Umgekehrt bot die logistische Regression eine vergleichbare Leistung, aber eine verbesserte Interpretierbarkeit. Dieser Vergleich unterstreicht die Kompromisse zwischen Interpretierbarkeit und Vorhersagekraft und bietet Erkenntnisse für Finanzinstitute. Zukünftige Forschungen könnten sich mit Ensemblemethoden und Feature Engineering befassen, um die Modellrobustheit weiter zu verbessern.

## I. INTRODUCTION

Machine learning is emerging as a transformative tool in the financial sector, enhancing the ability to analyze and predict complex financial behaviors. The effects of digitization and large datasets are driving new business models, with financial institutions increasingly relying on advanced machine learning techniques for informed decision-making in a rapidly changing environment.

As institutions seek to mitigate risks, improving customer experience is crucial. Predictive modeling plays a vital role in credit risk assessment, where accurate predictions are essential for credit applicants, aiding financial institutions in making

efficient, data-driven decisions. Ultimately, automation can reduce human bias and corruption [1].

This study focuses on applying deep neural networks (DNN) and logistic regression (LogReg) to predict binary outcomes related to financial customer behavior using anonymized data from a financial institution. Logistic regression is a staple in financial forecasting due to its interpretability and efficiency in binary classification tasks, while DNNs can capture complex, non-linear patterns in data, offering greater flexibility in model design.

We will compare the performance of the DNN and LogReg models on the data\_transformed dataset to determine which model better predicts customer behavior while ensuring

robustness and generalizability. A key task will be to balance model accuracy with interpretability, assessing whether the complexity of DNN significantly enhances performance over logistic regression. Performance evaluation will rely on comparing model predictions with actual outcomes [2].

Our findings aim to deepen understanding of these models' applicability in financial evaluations, specifically targeting:

- **Model Performance Analysis:** Assessing precision, recall, and AUC-ROC scores to establish benchmarks.
- **Robustness and Generalizability:** Ensuring both models avoid overfitting and generalize effectively across data partitions.
- **Conclusions:** Discussing trade-offs between model complexity and interpretability critical for real-world financial applications.

This survey is structured as follows: Section II details the methodology, Section III presents the results, and Section IV discusses the findings. Through this study, we aim to provide valuable insights for finance practitioners applying machine learning to forecasting tasks while balancing performance and interpretability. In many cases it is more practical to use a simple but uncertain rule than complex but certain, even if the true rule is deterministic and ours the modeling system has the accuracy to accommodate a complex rule. [3]

## II. METHODOLOGY

This section outlines the steps taken to prepare and evaluate both deep neural networks (DNN) and logistic regression (LogReg). While data preprocessing is simplified, feature design and model training are documented to ensure reproducibility and reliability.

### 1. Dataset Description

The dataset, `data_transformed`, consists of anonymized financial data with a binary target variable, `y1`, representing customer behavior. It contains numerical and categorical features, totaling 1,051 variables. To optimize performance and minimize computational load, selective preprocessing techniques were applied.

### 2. Data Preprocessing

Key preprocessing steps included:

- **Handling Missing Values:** Different strategies were employed for each model. Logistic regression necessitated the removal or imputation of features with excessive missing values for interpretability, while the DNN used mean imputation to learn informative patterns.
- **Feature Scaling:** Both models benefited from scaling. Logistic regression used standard scaling (z-score normalization), whereas the DNN utilized MinMax scaling to normalize features between 0 and 1.
- **Feature Selection:** To reduce computational burden and overfitting, a subset of features was selected. Logistic regression features were based on correlation

analysis, while the DNN leveraged a larger set, allowing it to identify significant features during training.

## 3. Model Architectures and Training

Two distinct model architectures were utilized:

- **Logistic Regression:** This model served as a benchmark due to its interpretability and common use in binary classification. Regularization (L2) was applied to prevent overfitting, with hyperparameter tuning optimizing regularization strength and learning rate.
- **Deep Neural Network (DNN):** The DNN architecture consisted of three hidden layers, designed for complexity and computational efficiency. It included:
  - An input layer mapping selected features.
  - Three hidden layers with 128, 64, and 32 units using ReLU activation functions.
  - Dropout layers (0.3 rate) after each hidden layer to reduce overfitting.
  - An output layer with a single unit and a sigmoid activation function for binary classification.

Both models were compiled using the Adam optimizer and binary cross-entropy loss function.

## 4. Model Evaluation

Model performance was assessed using four key indicators:

- **Accuracy:** Proportion of correct predictions.
- **Precision:** Ratio of true positive predictions to all positive predictions.
- **Recall (Sensitivity):** Ratio of true positives to all actual positives.
- **AUC-ROC Score:** Evaluates the models' ability to discriminate between classes across decision thresholds.

## 5. Experimental Setup and Validation

- **Training and Validation Split:** The dataset was split into training (70%) and validation (30%) sets to ensure robustness.
- **Early Stopping:** Implemented in the DNN model to prevent overfitting, monitoring validation loss and reverting to the best-performing epoch.
- **Cross-Validation for Logistic Regression:** K-fold cross-validation was used for validating performance across multiple data partitions.

## 6. Comparison and Analysis of Models

Both models were compared based on the evaluation metrics mentioned, focusing on performance and interpretability. The analysis highlighted the trade-offs between model complexity and predictive accuracy, which are crucial in financial applications.

### III. RESULTS

In this section, we present the performance results of the deep neural network (DNN) and logistic regression models, focusing on key evaluation metrics. The results highlight the strengths and limitations of each model in predicting financial client behavior, enabling a comprehensive comparison.

#### A. Performance Metrics

To evaluate model performance, we used the following metrics:

1. **Accuracy:** The proportion of correctly classified instances among the total instances. Accuracy provides an overview of the model's general performance but may not reveal nuances in class imbalance.
2. **Precision:** Specifically measures the accuracy of positive predictions, indicating the likelihood that a positive prediction is correct. Precision is crucial in financial contexts where false positives could lead to costly outcomes.
3. **Recall (Sensitivity):** Assesses the model's ability to identify all positive instances, making it valuable in situations where missing positive cases (false negatives) may have significant consequences.
4. **AUC-ROC Score:** The Area Under the Receiver Operating Characteristic curve (AUC-ROC) represents the model's ability to discriminate between positive and negative classes across various decision thresholds. A higher AUC-ROC score reflects a better trade-off between true positive and false positive rates.

#### B. Comparison of Model Performance

The results for both models are summarized below, with each model's performance on the key metrics (fig.1):

	Accuracy	Precision (Class 1)	Recall (Class 1)	F1-Score (Class 1)	AUC ROC
Log. Reg	0.81	0.79	0.75	0.77	0.89
DNN	0.84	0.74	0.91	0.82	0.93

(fig.1)

## C. Model Performance Comparison

- **Accuracy:** The DNN model outperformed logistic regression slightly, achieving 84% accuracy compared to 81% for logistic regression. This increase highlights the DNN's ability to capture complex relationships in the data.
- **Precision and Recall:** Logistic regression exhibited higher precision (0.79 vs. 0.74), indicating fewer false positives. Conversely, the DNN showed significantly higher recall (0.91 vs. 0.75), making it advantageous in contexts where identifying as many positive cases as possible is critical, even at the cost of some false positives.
- **AUC-ROC Score:** The DNN achieved a higher AUC-ROC score of 0.93 compared to 0.89 for logistic regression, confirming its superior capacity to distinguish between classes across various thresholds.

### Discussion of Insights

- **Model Complexity vs. Interpretability:** The DNN's improved performance metrics suggest that complex models can better capture intricate patterns in financial data. However, logistic regression provides greater interpretability, allowing financial professionals to understand feature importance and decision-making processes.
- **Use Case Suitability:** The DNN's high recall and AUC-ROC score make it suitable for applications requiring identification of as many positive cases as possible, while logistic regression's higher precision is preferable in scenarios where avoiding false positives is paramount.
- **Generalization and Overfitting:** Both models exhibited robustness, with early stopping for the DNN and regularization for logistic regression mitigating overfitting. The DNN's dropout layers enhanced its generalization ability.

## IV. DISCUSSION

This section interprets the results from the comparative analysis of the deep neural network (DNN) and logistic regression models, highlighting their implications in financial prediction tasks such as client risk assessment. We also address the study's limitations and outline potential future research directions.

### A. Implications of Findings

1. **Enhanced Predictive Performance with DNN:** The DNN's higher accuracy (84%) and AUC-ROC score (0.93) demonstrate its ability to manage complex, non-linear relationships in financial data, capturing subtle patterns that traditional models, like logistic regression, may miss. This superior performance is vital for client risk assessment and decision-making.

2. **Practical Considerations with Logistic Regression:** Although the logistic regression model achieved lower accuracy (81%) and AUC-ROC (0.89), it remains valuable due to its simplicity and interpretability. Its higher precision (0.79) makes it suitable for applications requiring cautious predictions, such as initial client filtering in loan approvals, especially in regulated environments where transparency is essential [4].

3. **Trade-off Between Recall and Precision:** The DNN's higher recall (0.91) but lower precision (0.74) emphasizes a key trade-off. The DNN is preferable for tasks that require capturing a high rate of positive cases, while logistic regression is better when accuracy in positive predictions is prioritized, minimizing false alarms.

## B. Study Limitations

Despite the valuable insights into DNN and logistic regression applications in binary classification [5], the study faces several limitations:

1. **Limited Dataset Scope:** The dataset, though comprehensive, may not capture all aspects of financial client behavior due to its anonymized and structured nature. Future research should consider more extensive datasets reflecting diverse client characteristics.
2. **Imbalance in Target Variable:** The binary classification task exhibited some imbalance between positive and negative classes. Further investigations with resampling techniques or alternative metrics (e.g., F2 score) could enhance the understanding of handling imbalanced classes.
3. **Model Interpretability vs. Complexity:** The DNN model's superior performance comes at the cost of transparency, limiting its applicability in scenarios requiring explainable predictions. Future research should focus on improving interpretability in complex models using feature importance algorithms like SHAP or LIME.
4. **Potential Overfitting Concerns:** Despite dropout regularization and early stopping, overfitting remains a concern due to the DNN's complexity. Further experiments with cross-validation or additional regularization methods could provide a thorough assessment of generalization capabilities.

## C. Future Research Directions

Several promising directions for future research emerge from this study:

1. **Expanding Model Comparison:** Future studies could explore additional machine learning models, such as random forests and gradient boosting machines, to enhance comparisons and uncover alternative approaches in financial prediction tasks.

2. **Exploration of Feature Engineering Techniques:** Automated feature engineering methods, such as genetic algorithms or autoencoders, should be explored to identify and construct informative features, enhancing predictive accuracy.

3. **Real-world Application and Validation:** Implementing these models in live financial environments would provide insights into their practical effectiveness, including operational metrics like processing speed and real-time accuracy. Such validation could uncover new challenges and optimization opportunities [6].

4. **Improving Model Interpretability:** Leveraging explainable AI (XAI) frameworks could enhance understanding of DNN decisions, improving model transparency and stakeholder trust in predictions.

In summary, this study illustrates that both logistic regression and DNN models have valuable roles in financial predictions, especially given the complexity of features involved [7]. The results suggest that with further refinement and expanded datasets, these models could provide robust, reliable solutions tailored to the unique needs of financial client assessments. The need to aim for both high quantitative performance and high qualitative performance, such as interpretability, is essential [8].

## ACKNOWLEDGMENT

I would like to express my sincere gratitude to **FDIBA** and **Technical University of Sofia**

## REFERENCES

- [1] J.D. Turiel, T.Aste, "P2P loan acceptance and default prediction with artificial intelligence." R. Soc. Open Sci. 7: 191649. <http://dx.doi.org/10.1098/rsos.191649>
- [2] M. Doria, E. Luciano, P. Semeraro, "Machine Learning in the default prediction of credit portfolios: the extra advantage." arXiv:2205.01524v2 [q-fin.RM] 4 Sep 2023
- [3] I. Goodfellow, Y. Bengio, A. Courville "Deep Learning"
- [4] Z. Kostanjčar, M. Birov, L. Mrčela, A. Merčep "Deep Neural Networks for Behavioral Credit Rating" Entropy 2021, 23(1), 27; <https://doi.org/10.3390/e23010027>
- [5] Z. Kostanjčar, M. Birov, L. Mrčela, A. Merčep "Deep Neural Networks for Behavioral Credit Rating" Entropy 2021, 23(1), 27; <https://doi.org/10.3390/e23010027>
- [6] "A robust machine learning approach for credit risk analysis of large loan level datasets using deep learning and extreme gradient boosting." 9th biennial IFC Conference Basel, 30-31 August 2018
- [7] Q. Liu, Z. Liu, H. Zhang, Y. Chen, J. Zhu "DNN2LR: Automatic Feature Crossing for Credit Scoring" 2021 EID: 2-s2.0-85102544619 Part of ISSN: 23318422
- [8] Y. Hayashi "Emerging Trends in Deep Learning for Credit Scoring: A Review" Electronics 2022, 11(19), 3181; <https://doi.org/10.3390/electronics11193181>

# Design Approach Based on 5 UX Planes

## Design-Ansatz auf Basis der 5 UX-Ebenen

Svetla Lukanova Ivanova-Vassileva

Engineering Design Department, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, [vassileva@fdiba.tu-sofia.bg](mailto:vassileva@fdiba.tu-sofia.bg)

**Abstract** — The 5 plane UX design process is usually applied for virtual products. The aim is to extend the application of this approach to industrial products, environments, and complex systems. The 5 UX design planes are experimented within the study of students in Engineering Design.

**Zusammenfassung** — Der 5-Ebenen-UX-Designprozess wird normalerweise für virtuelle Produkte angewandt. Das Ziel ist es, die Anwendung dieses Ansatzes auf industrielle Produkte, Umgebungen und komplexe Systeme auszuweiten. Die 5 UX-Entwurfsebenen werden im Rahmen des Studiums von Studenten des Ingenieurwesens erprobt.

### I. INTRODUCTION

The successful design of products and systems depends on many factors, but users' attitude while using the virtual or other object is one of the leading preconditions for that. User experience UX design based on the five planes of Jesse James Garrett is a systematical approach, which helps for the success.

### II. THE MODEL OF GARRETT

#### A. Description of Garrett's UXD planes

The five planes of UX design are like a building: stocks include the strategy, scope, structure, skeleton and surface plane (see fig.1). They include descriptions of the product as functionality and as information [1].

#### B. Application in web design

UX and this approach are important as practitioners claim [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Garrett's 5 planes are applied with students in Engineering Design within the Usability Engineering course and in master works, and in Human-Machine-Interaction course for bachelor's degree students in Information Technology. Students choose freely to prepare concepts of web-based products, which they are going to design. The analytical and prototyping tools are also free closable. Essential is to execute every step of the five planes, so no aspect of analysis and design is missed. That should be as precondition for usable and aesthetic designs. A short description of the whole design process follows:

Strategy plane - user needs and expectations are researched.

Scope Plane – functions and content are described.

Structure plane – interactions and information are investigated.

Skeleton plane – the interface and navigation are designed.

Surface plane – visual and graphical designs are created.

### III. EXAMPLE OF STUDENTS COURSE WORKS

A goal connected with sustainability is to collect waste. It follows a description of a student's work about a mobile

application for recycling. The app gives information about different actions in the living area of the user – collecting plastic, paper or other kinds of waste.

#### A. Strategy Plane

User needs could be described with different tools and methods, for example creating a persona (see fig. 2) or using statistical data about potential users, or in a table or structured text about demographic, psychological, cultural, etc. characteristics. If data is missing, students can obtain data via different electronic checklists and enquiries.

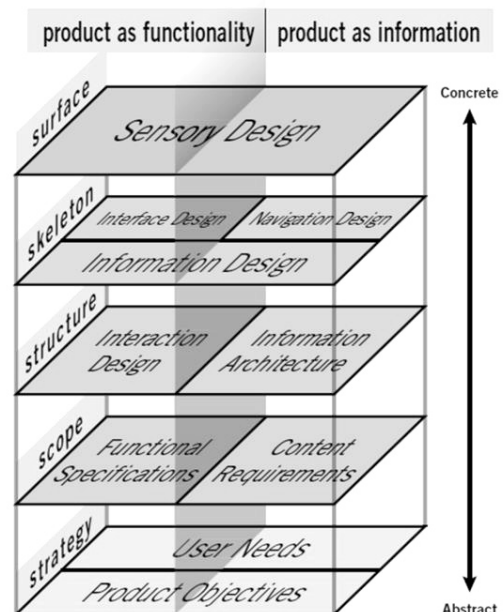


Fig. 1. Five planes of UX Design [J.J. Garrett]



Персона 2

Име: Филип Петров  
 Възраст: 39 г.  
 Генерация: Милениали  
 Работа: Бранд мениджър / 8-часов работен ден  
 Доход: Малко над средния в бранша /3200 лв./  
 Образование: Висше. Магистър по Журналистика  
 Локация: София, България

**Биография:**

Филип е на 39 г. Живее с приятелката си от 15 г. и тяхната дъщеря на 1 Няма сключен брак. Той е истински софиянец, а приятелката му е от Англи си общуват свободно и на български и на английски език. Филип работи кт Бранд мениджър в IT компания. Модерното семейство обича природата и рециклира. Създали са си навици и организация в дома да рециклират вси и го правят с желание.

Предизвикателството идва, когато трябва да се изнасят от до био-отпадъците. За съжаление по Софийските квартали и в България ня контейнери за био-отпадъци или компост.

**Цели:**

- Да намират лесно и бързо контейнерите за био отпадъци - всички домакинства могат да събират био отпадъците разделно;
- Да се локализират в приложението също пунктовете за рециклиране и изхвърлянето на бяла и черна техника;
- Да се локализируют пунктовете за мебели и дрехи;

Fig. 2. Description of User Needs - Persona on First Level [Students works in Usability Engineering, 2023]



Fig. 3. Structure diagram of App [Students works in Usability Engineering, 2023]

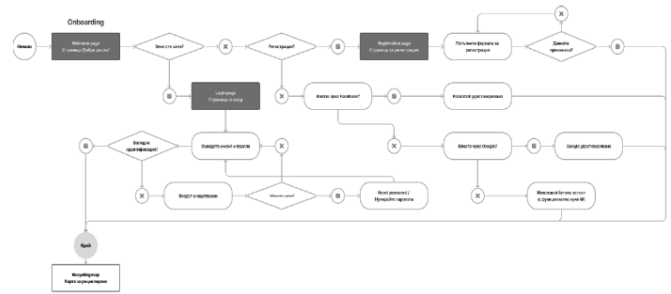


Fig. 4. User journey for Registration and Login [Students works in Usability Engineering, 2023]

**B. Scope Plane**

An advisory way to prepare analyses about functional specification and the associated content requirements is in the form of a table or plan.

The necessary information is to formulate functions and subfunctions. Then a description of every function or subfunction for users' actions and positive or negative examples about similar functions in other applications are given. That includes information, which is a base of app's structure (see fig. 3).

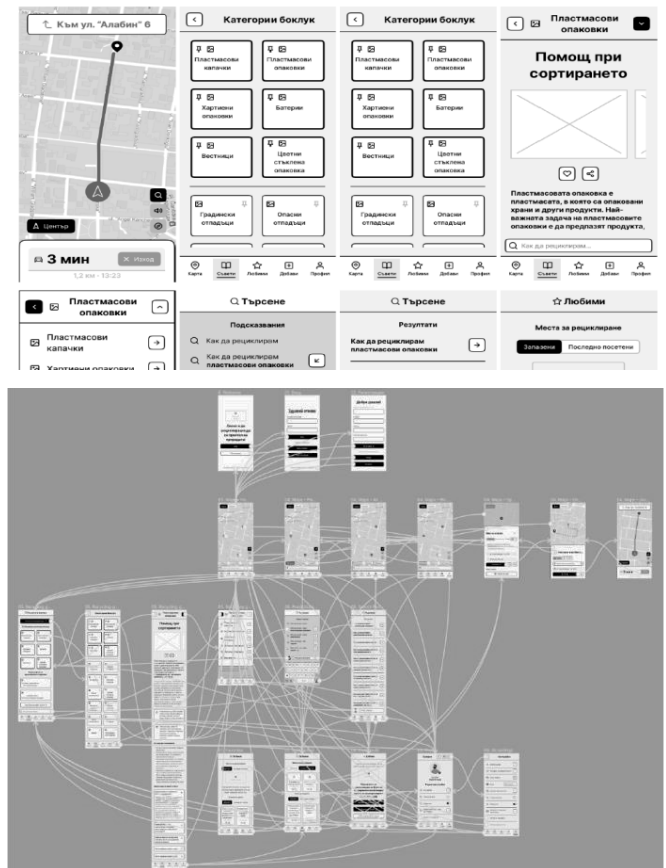


Fig. 5. Wireframes of an App for Recycling [Students works in Usability Engineering, 2023]



Fig. 6. Interactive Figma Prototypes of an App for Recycling [Students works in Usability Engineering, 2023]

C. Structure Plane

The necessary interactions and content are investigated, and students try to achieve users needs preparing different user flows (see fig. 4). A structure diagram or site map is created.

D. Skeleton Plane

Designing information means not only structuring it, but to take decisions about needed elements of interface and various navigation alternatives. This step is when wireframes (see fig. 5) are created, it supports the choice of best GUI design concepts.

E. Surface Plane

At that stage the goal is to create interactive prototypes (see fig. 7) based on the corrected wireframes. There are decisions taken about colors, logo, GUI and other visual elements.

F. Usability evaluation

Usability is an important part of UX. It is discussed in books [8, 9] and described in standards [10, 11]. There are many methods that improve usability. Students have to compare some usability planning and evaluation methods and choose someone of them to get experience with the usage of it.

The chosen one is connected with the application of a logging tool, which registers users' actions during tasks execution (see fig. 7). So, recommendations for design improvements can be made.

IV. EXTENDED USE OF FIVE PLANES UXD APPROACH

As shown the described approach can be successfully applied to web or mobile products, which could be as follows:

A. Industrial products

Common progress means that almost every new product has electronic respectively digital forms. Industrial products include not only new digital products, but they often are also following design objects:

- a hand-operated instrument, tool
- product for professional use,
- for example medical equipment
- a wearable
- a simple robot
- etc.

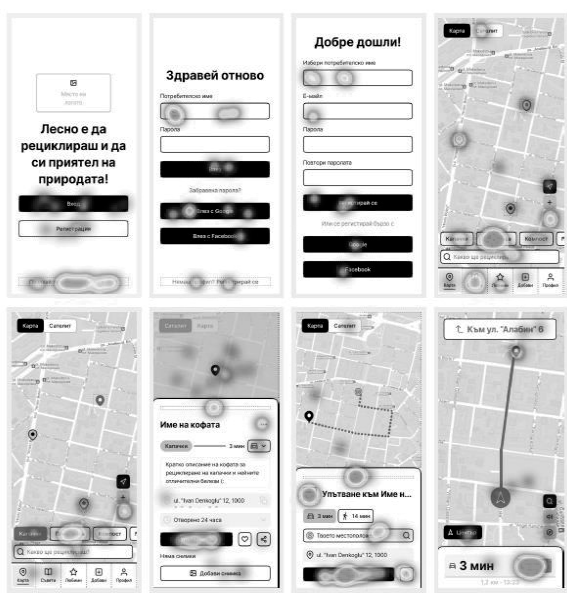
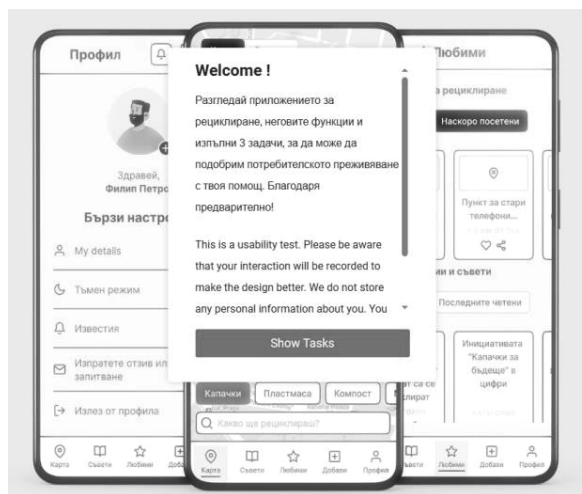


Fig. 7. Heat Maps - Evaluation of Figma Prototypes [Students works in Usability Engineering, 2023]

### B. Complex systems

Examples of such systems are the following:

- complex robots,
- self-driven vehicles,
- plane, car and other vehicles simulators etc.

### C. Environments

New environments include:

smart houses,  
smart factories etc

A comparison of the application of the UXD approach to different design objects is given in Table I. Industrial products and complex systems can be discussed together. The five levels are described also for working and living environments.

TABLE I. Use of five UX Planes model of Garrett for different design objects

UXD Application area		
<i>Virtual Products</i>	<i>Industrial Products and Complex Systems</i>	<i>Working and Living Environments</i>
functionality information	functions interfaces	functions layout
<b>Surface plane</b>		
Sensory Design – Graphic Design and GUI Design	Types of controls and displays	Surfaces, pictograms, branding
<b>Skeleton plane</b>		
Interface Design Navigation Design Information Design	Interface Design Order and position	Material  Control, env.factors, accessibility
	Cognitive Design	Visual communication
<b>Structure plane</b>		
Interaction Design  Information Architecture	Interaction Design  Grouping controls and displays	Adjustments Reaching requirements  Layout and workflows
<b>Scope plane</b>		
Functional specifications Content Requirements	Functional specifications Technology Requirements	Functional areas Technology Requirements
<b>Strategy plane</b>		
User needs	User needs	User needs
Product objectives	Product / system objectives	Environment objectives

As shown in table I, there are very similar design goals in many of the stages, independent from the design object.

## V. SUMMARY AND OUTLOOK

The five planes of UX design approach is an appropriate base for students projects about web or mobile applications because of the systematic way to design usable and pleasant interfaces.

But furthermore in contemporary industrial products like robots, medical equipment and others, environments like smart houses, smart factories etc. and complex systems like self-driven vehicles, flight simulators, it is certainly very useful to apply it to. There is a good perspective for future research in this field.

### ACKNOWLEDGMENT

Thanks to the visualizations of the Master students in Engineering Design, TU-Sofia, 2022-2023, was possible to describe the UXD approach.

### REFERENCES (HEADING 5)

- [1] Garrett, J. J., The Elements of User Experience, Second Edition, Berkeley, Calif.: New Riders, 2011
- [2] Kerstin, UX Design in 5 Ebenen: 1. Strategie <https://newcubator.com/blog/blog/fuenf-elemente-des-ux-design> (01.10.2023)
- [3] Kerstin, UX Design in 5 Ebenen: 2. Scope <https://newcubator.com/blog/blog/fuenf-elemente-des-ux-design-scope> (01.10.2023)
- [4] Kerstin, UX Design in 5 Ebenen: 3. Structure <https://newcubator.com/blog/blog/fuenf-elemente-des-ux-design-structure> (01.10.2023)
- [5] Kerstin, UX Design in 5 Ebenen: 4. Skeleton <https://newcubator.com/blog/blog/fuenf-elemente-des-ux-design-skeleton> (01.10.2023)
- [6] Kerstin, UX Design in 5 Ebenen: 5. Surface <https://newcubator.com/blog/blog/five-elements-of-ux-surface> (01.10.2023)
- [7] Interaction Design Foundation <https://www.interaction-design.org/>
- [8] Richter, Michael, Flückiger, Markus, Usability und UX kompakt: Produkte für Menschen, 4. Aufl., Wiesbaden, Deutschland: Springer Vieweg, 2016
- [9] Nielsen, Jakob, Usability Engineering, Morgan Kaufmann 1993
- [10] International Standard Organisation, ISO 9241-11 (2018) Ergonomics of human-system interaction — Part 11: Usability: Definitions and concepts
- [11] International Standard Organisation, ISO 9241-110 (2020) Ergonomics of human-system interaction — Part 110: Interaction principles

# Flicker check optimization for automotive information display

## Flickerprüfung optimization für Fahrzeuginformationsdisplay

Vergil Todorov Djamiykov\*, Vasil T. Galabov†

\*Vergil T. Djamiykov Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering, Boshurishte, Bulgaria, E-mail: vergil9203@gmail.com d

†Vasil T. Galabov Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering Sofia, Bulgaria, E-mail: vtg@tu-sofia.bg

**Abstract** — Die Flickerprüfung ist ein entscheidender Aspekt bei der Entwicklung und Serienprüfung von Fahrzeuginformationsdisplays, da sie die visuelle Qualität und Benutzererfahrung maßgeblich beeinflusst. In dieser Artikel wird eine optimierte Methodik zur Flickerprüfung dargestellt, die sowohl die Effizienz als auch die Genauigkeit der Tests verbessert. Erstes wird analysiert die bestehenden Prüfmethoden und identifiziert deren Schwächen, insbesondere in Bezug auf die Wahrnehmung des menschlichen Auges und die technischen Anforderungen an moderne Displays. Anschließend ein neues Prüfprotokoll entwickelt, das auf automatisierten Messungen und spezifischen Algorithmen zur Analyse der Flickerfrequenz basiert. Die optimierte Methodik nicht nur die Erkennungsrate von Flickereffekten erhöht, sondern auch die Testzeit signifikant reduziert. Diese Verbesserungen tragen dazu bei, die Zykluszeit verkürzt und die Benutzerfreundlichkeit von Fahrzeuginformationsdisplays zu steigern.

**Zusammenfassung** — In diesem Artikel wird eine Methode zur Optimierung der Flickerprüfung wird vorgestellt, die darauf abzielt, die Qualität der Fahrzeuginformationsdisplays zu verbessern. Durch gezielte Anpassungen in der Testmethodik und -technologie können potenzielle Flickereffekte frühzeitig erkannt und eliminiert werden, um eine höhere Displayqualität und ein angenehmeres Fahrerlebnis sicherzustellen

### I. INTRODUCTION

Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung von Fahrzeugen bringt eine steigende Nachfrage nach hochwertigen und zuverlässigen Informationsdisplays mit sich. Diese Displays sind entscheidend für die Kommunikation von fahrrelevanten Informationen und für die Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug. Dabei spielen der Komfort und die Lesbarkeit der angezeigten Inhalte eine zentrale Rolle. Ein wesentliches Qualitätskriterium, das dabei immer mehr in den Fokus rückt, ist die sogenannte Flickerprüfung.

Flicker beschreibt wahrnehmbare Flimmer- oder

Flackereffekte, die auftreten können, wenn sich die Helligkeit eines Displays in kurzen Abständen ändert. Diese Effekte können nicht nur das Fahrerlebnis beeinträchtigen, sondern auch zu Ermüdungserscheinungen und einer verminderten Aufmerksamkeit führen. Daher ist es essenziell, Flickerphänomene bei Fahrzeuginformationsdisplays zu minimieren oder gänzlich zu vermeiden. [1], [3],[6], [10].

### II. TECHNOLOGY

Zur Durchführung der Flickerprüfung und zur Optimierung der Anzeigequalität in Fahrzeuginformationsdisplays werden verschiedene Technologien eingesetzt. Diese Technologien ermöglichen eine präzise Erfassung von Flickerphänomenen sowie deren Ursachenanalyse und

Behebung. Im Folgenden werden die wichtigsten Technologien und Methoden vorgestellt, die in diesem Kontext eine Rolle spielen:[2]

#### A. Flickermessgeräte

Flickermessgeräte, oft auch als Flickermeter bezeichnet, sind speziell entwickelte Instrumente zur Erfassung von Helligkeitsschwankungen bei Displays. Sie messen die Leuchtdichte eines Displays in sehr kurzen Zeitintervallen und analysieren die Frequenzen der Helligkeitsschwankungen, um potenzielle Flickereffekte zu identifizieren. Moderne Flickermessgeräte arbeiten mit hochsensiblen Fotosensoren, die selbst minimale Schwankungen erkennen können. Wie auf Abbildung 1 zu sehen ist eine basis Messung von Flicker.

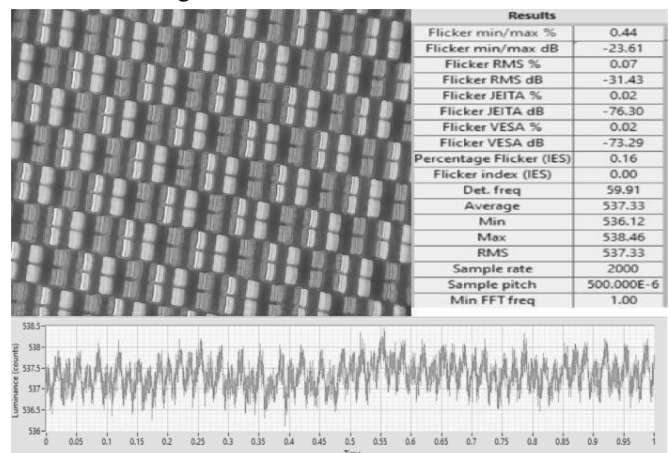


Abb. 1. Flicker pattern 1 + Messung

### B. Hochfrequente Kamerasysteme

Hochfrequente Kamerasysteme spielen eine zentrale Rolle bei der Erfassung von Flickereffekten in Echtzeit. Diese Kameras sind in der Lage, mehrere Tausend Bilder pro Sekunde aufzunehmen, wodurch sie schnelle Helligkeitsänderungen exakt aufzeichnen können. Die erfassten Bilder werden anschließend analysiert, um Flickerercheinungen sichtbar zu machen, die mit bloßem Auge nur schwer wahrnehmbar wären. [5]

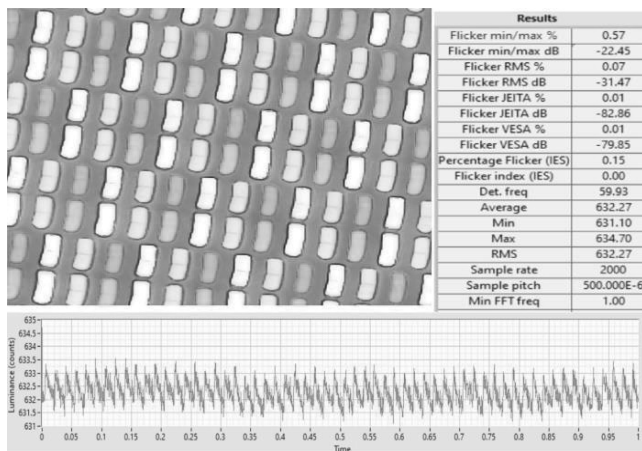


Abb. 2. Flicker pattern 2 + Messung

### C. Software zur Flickeranalyse

Spezialisierte Softwarelösungen sind notwendig, um die von Flickermessgeräten und Kamerasystemen gesammelten Daten zu analysieren. Diese Software wertet die Messergebnisse auf Grundlage vordefinierter Parameter, wie der Flickerfrequenz oder der Amplitude der Helligkeitsschwankungen, aus. Gleichzeitig ermöglicht sie die Simulation verschiedener Umgebungsbedingungen, wie unterschiedliche Lichtverhältnisse oder Betrachtungswinkel, um eine umfassende Analyse des Displayverhaltens zu gewährleisten. [3]

### D. OLED- und LCD-Technologien

Verschiedene Displaytechnologien wie OLED (Organic Light Emitting Diodes) und LCD (Liquid Crystal Display) beeinflussen das Flickerverhalten maßgeblich. OLED-Displays neigen aufgrund ihrer selbstleuchtenden Pixel weniger zu Flicker, während LCD-Displays, insbesondere in Kombination mit Pulsweitenmodulation (PWM) zur Helligkeitssteuerung, stärker betroffen sein können. Das Verständnis der Funktionsweise und Besonderheiten der jeweiligen Displaytechnologie ist daher essenziell, um geeignete Gegenmaßnahmen zu entwickeln. [4]

### E. Pulsweitenmodulation (PWM)

Pulsweitenmodulation, eine Technik zur Steuerung der Displayhelligkeit, die auf schnellem Ein- und Ausschalten der Hintergrundbeleuchtung basiert. PWM kann, abhängig von der Frequenz, deutliche Flicker-Effekte hervorrufen. Zur Reduktion von Flicker setzen viele Hersteller auf PWM-Optimierungen, bei denen höhere Frequenzen verwendet werden, um Flimmern für das menschliche Auge unsichtbar zu machen. Mittels verbesserten Flicker pattern

wie zum Beispiel Abb. 2 und 3 kann man die Flicker manipulieren und bzw. Minimieren

Diese Technologien bilden die Grundlage für eine effektive Flickerprüfung und ermöglichen die Entwicklung von Fahrzeuginformationsdisplays, die hohen Qualitätsstandards gerecht werden. Indem sie die Ursachen von Flickereffekten präzise identifizieren und analysieren, leisten sie einen wichtigen Beitrag zur Verbesserung des Fahrerkomforts und der Fahrsicherheit. [6][8]

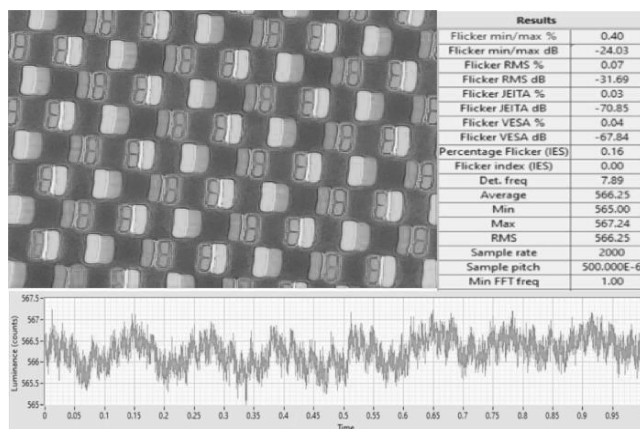


Abb. 3. Flicker pattern 3 + Messung

## III. RESEARCH FOCUS AND RESEARCH QUESTIONS.

Die Flickerprüfung bei Fahrzeuginformationsdisplays ist ein hochaktuelles Forschungsfeld, das in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen hat. Dies liegt vor allem an den immer komplexeren Anforderungen an moderne Fahrzeuge, die mit einer Vielzahl von digitalen Displays ausgestattet sind. Die Forschung in diesem Bereich konzentriert sich sowohl auf die Entwicklung neuer Messtechniken als auch auf die Optimierung bestehender Technologien, um Flickereffekte zu minimieren und das Fahrerlebnis zu verbessern. Dabei stehen verschiedene Forschungsfragen im Mittelpunkt: [7]

### A. Frühe Erkennung:

Eine der zentralen Fragen in der Flickerforschung ist die von Flickereffekten während der Displayentwicklung. Forschungsprojekte untersuchen daher, wie die Implementierung von Flickermessungen bereits in der Designphase von Displays optimiert werden kann. So könnten beispielsweise Simulationen eingesetzt werden, um potentielle Flickerquellen zu identifizieren, bevor physische Prototypen erstellt werden.

Es besteht zunehmendes Interesse an der Untersuchung der Auswirkungen von Flicker auf die Konzentration und das Wohlbefinden des Fahrers. Studien analysieren, inwiefern Flicker das Sehvermögen und die Reaktionszeit beeinflusst und ob dies das Unfallrisiko erhöht. Diese Forschung liefert wertvolle Erkenntnisse darüber, welche Flickerfrequenzen oder -amplituden für den Fahrer als

störend oder sogar gefährlich wahrgenommen werden. [9]

### B. Display type Unterschiede

Ein weiterer Forschungsbereich befasst sich mit dem Einfluss der unterschiedlichen Displaytechnologien auf das Flickerverhalten. OLED- und LCD-Technologien reagieren beispielsweise unterschiedlich auf PWM und andere Helligkeitsregelungstechniken. Forschungsprojekte erforschen, welche Displaytechnologien besonders anfällig für Flicker sind und welche Maßnahmen zur Verbesserung der Bildstabilität getroffen werden können

### C. Messmethoden

Ein wichtiger Aspekt der Forschung ist die Entwicklung und Verbesserung von Standards für die Flickerprüfung. Da Flicker nicht nur eine technische Herausforderung darstellen, sondern auch individuell unterschiedlich wahrgenommen wird, arbeiten Forscher an der Etablierung einheitlicher Normen und Messverfahren, die sowohl technische als auch physiologische Faktoren berücksichtigen. Hierbei wird auch untersucht, wie Messmethoden verfeinert und die Testbedingungen realitätsnäher gestaltet werden können.

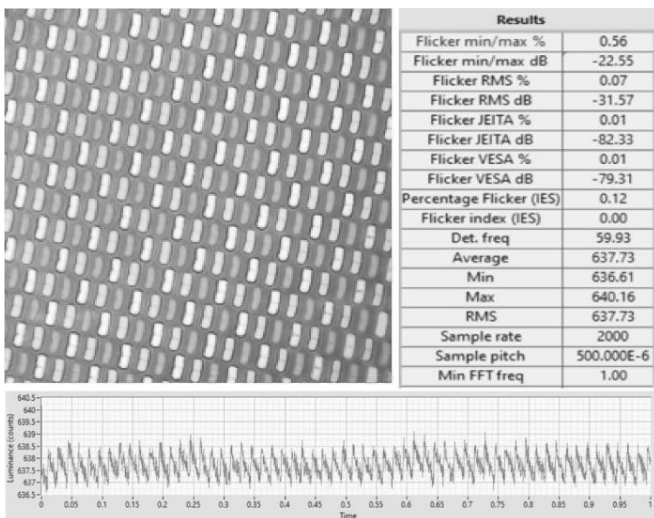


Abb. 4. Flicker pattern 4 + Messung

Mit der Weiterentwicklung von Technologien für autonomes Fahren und erweiterten Fahrerassistenzsystemen (ADAS) stellt sich die Frage, welche Anforderungen diese neuen Anwendungsbereiche an Fahrzeuginformationsdisplays haben. Da autonome Fahrzeuge verstärkt auf digitale Displays zur Kommunikation mit den Insassen angewiesen sein werden, wird intensiv erforscht, wie Flicker in diesen Displays vollständig vermieden werden kann, um die Wahrnehmung von Informationen klar und störungsfrei zu gestalten. Mittels definierten Parameters des Patterns kann es zu verbesserter Steuerung des Display im flickeraspect begeführt werden wie auf Abb. 4 zu sehen sei.

## IV. RESEARCH MODEL AND METHODOLOGY.

Die Flickerforschung beschäftigt sich somit nicht nur mit technischen Herausforderungen, sondern auch mit psychologischen und ergonomischen Fragestellungen. Die Beantwortung dieser Forschungsfragen wird entscheidend dazu beitragen, dass Fahrzeuginformationsdisplays künftig noch leistungsfähiger und benutzerfreundlicher werden.

### A. Flicker Percentage (FP)

Die Flickerpercentage gibt an, wie stark die Helligkeit eines Displays schwankt. Sie wird als Prozentwert berechnet und gibt die relative Änderung zwischen der maximalen und der minimalen Helligkeit eines Signals an.

$$FP = \frac{L_{max} - L_{min}}{L_{max} + L_{min}} * 100 \quad (\square)$$

### B. Flicker Index

Der Flicker-Index ist eine umfassendere Maßzahl, die nicht nur die Amplitude der Helligkeitsschwankungen berücksichtigt, sondern auch den Verlauf der Helligkeit über eine Periode des Signals. Der Flicker-Index ist daher eine präzisere Methode zur Bewertung des Flickers.

$$FI = \frac{A_1}{A_1 + A_2} \quad (\square)$$

### C. Flicker Frequency

Die Flickerfrequenz gibt an, wie oft die Helligkeit pro Sekunde schwankt. Sie ist eine der entscheidenden Größen zur Bewertung von Flicker, da das menschliche Auge Flicker ab einer bestimmten Frequenz nicht mehr wahrnimmt.

Die Frequenz wird typischerweise in Hertz (Hz) angegeben. Je höher die Frequenz, desto weniger wird der Flicker vom Menschen wahrgenommen

$$FF = \frac{1}{T} \quad (\square)$$

### D. Root Mean Square (RMS) Flicker

RMS-Flicker wird verwendet, um eine Gesamtenergie für die Helligkeitsschwankungen zu berechnen und die Intensität des Flickers auf diese Weise zu bewerten:

RMS-Flicker berücksichtigt sowohl die Amplitude als auch die Dauer der Helligkeitsschwankungen und gibt eine präzisere Messung für ungleichmäßige Flicker ab.

$$\text{Flicker (RMS)} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (L(t) - \bar{L})^2 dt} \quad (\square)$$

Abb. 5. Example of a figure caption. Insert cation as plain text and then format it as figure caption style. This should take care of automatic figure numbering (figure caption).

## ACKNOWLEDGMENT

Dieses Projekt wäre ohne die Zusammenarbeit und den Einsatz aller Beteiligten nicht möglich gewesen, und wir schätzen ihre Unterstützung und ihren Beitrag zur Optimierung der Displaytechnologie.

## REFERENCES

- [1] Zhao, Yizhuo & Kim, Chris & He, Tao & Wu, Yu. (2024). P-9.14: A method of Improving Image Quality of VRR Flicker. SID Symposium Digest of Technical Papers. 55. 1205-1207. 10.1002/sdtp.17322.
- [2] Yongbin, Yang & Zheng, Wang & Lijun, He & Yong, Li & Yong, Wu & Xiaoyu, Gao & Xiujian, Zhu & Junfeng, Li. (2024). P-2.2: Research on a Method for Optimizing Flicker of AMOLED Display Screen. SID Symposium Digest of Technical Papers. 55. 706-708. 10.1002/sdtp.17182.
- [3] Yao, Zhi-xiao & Zheng, Xiao-yi & Cui, Xiao-peng & Yan, Jing-long & Chen, Wei-tao & Diao, Kai & Liao, Yan-ping & Wang, Zhang-tao. (2024). P-5.24: Improvement of a-Si TFT Performance on Adjustable Frequency G-sync Function Monitor Display. SID Symposium Digest of Technical Papers. 55. 976-979. 10.1002/sdtp.17252.
- [4] XiaoJuan, Gao & LiTao, Fan & Yongqiang, Zhang & Jian, Zhang & Zhenguo, Zhou & Long, Liu & Honglei, Wang & Hao, Wu & Xiaoping, Zhang & Yangli, Zheng & Hailin, Xue. (2024). P-6.6: A study on evaluation methods of gray pattern flicker based on Mobile low frequency display. SID Symposium Digest of Technical Papers. 55. 1010-1012. 10.1002/sdtp.17261.
- [5] Kim, MinSu & Lee, DaYeon & Park, HanByeol & Jung, Ha & Jung, Junho & Baek, Seung-Hwa & Jung, Jong-Wook & Park, Sun-Mi & Kwon, Ki-Sun & Jin, Heui-Seok & Lee, Dong-Jin & Kim, Gwangtae & Park, JeongKi & Lee, Seung. (2024). Ultralow Power Consumption Liquid Crystal Display Retaining Superior Image Qualities. Advanced Optical Materials. 12. 10.1002/adom.202301963.
- [6] Chao, Yu & Xiny, Cheng & Changlin, Leng. (2023). P-6.1: Research about LCD Flicker Testing Methods and Conversion Relationship. SID Symposium Digest of Technical Papers. 54. 679-681. 10.1002/sdtp.16383.
- [7] Kim, Younsik & Chung, Kyunghoon & Lim, Jaemyung & Kwon, OhKyong. (2023). A Highly Uniform Luminance and Low-Flicker Pixel Circuit and its Driving Methods for Variable Frame Rate AMOLED Displays. IEEE Access. PP. 1-1. 10.1109/ACCESS.2023.3296787.
- [8] HUO, Peirong & YAO, Lei & LI, Bo & FANG, Yezhou & WANG, Zhiqiang & XU, Jingyi & XIE, Jianyun. (2021). P-3.3: Analysis and Improvement of Flicker NG on VR Display. SID Symposium Digest of Technical Papers. 52. 721-723. 10.1002/sdtp.15266.
- [9] Denes, Gyorgy & Mantiuk, Rafal. (2020). Predicting visible flicker in temporally changing images. Electronic Imaging. 2020. 233-1. 10.2352/ISSN.2470-1173.2020.11.HVEI-233.
- [10] Zhang, Y. & Lei, W. & Li, X. & Zhang, X. & Wang, B.. (2007). Objective evaluation of large area flicker for plasma displays. Guangxue Xuebao/Acta Optica Sinica. 27. 2184-218

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK

# Contents

Position Analysis of a Spring–Mass System During Impact with a Rigid Wall as a Function of Velocity – A Python-Based Simulation	
Biliana Dimova*, Martin Kirilov**, Teodor Poryazov‡	45
FEM-Based Analysis of the Mechanical Behavior of Porous Magnesium Alloy AE42	
Biliana Dimova*, Vesselin Tsonev**, Nikolay Arabadzhiev‡	51
Transformation regionaler Bildungsnetzwerke	
Hohoff, Christoph*, Krumme, Anja†	57
Assessing Forest Conservation Effectiveness of Natura 2000 Zones in Bulgaria, Including Vitosha and Vrachanski Balkan Nature Parks: A Remote Sensing and GIS Approach	
Eleonora Mitkova	59
Key competencies and emotional intelligence: Implications for engineering studies and management	
Emilia Staneva	63
The use of indicators for measuring success in the supply business	
Evgeniy Petrov*	67
Introducing a possible common currency for the BRICS-countries	
Georgi Chankov*, Nikolaj Hinov†, Haiwei Fu‡	71
Collision Based Mesh Manipulation for Pottery Simulation with Hand Tracking	
Ivan Petrov*, David Ivanov*, Zlatka Uzuvovala*, Dimo Chotrov*	75
Machine-Learning-Based Differentiation of Benign Gas Profiles from Hazardous Event Indications	
Konstantin Hristov	79
Bias Propagation in Large Language Models: A Theoretical Analysis of Sources, Mechanisms, and Social Impacts on Accuracy and Decision-Making	
Magdalina Nikolaeva	83
Investigation of Optical Sensor Systems for 3D Object Localization: Methods, Challenges and Comparison	
Stefan Hensel*, Marin B. Marinov**	87
Students' Opinions about Needed University Platforms	
Svetla Ivanova-Vassileva	91
Optically Clear Adhesives' dependency on the Display White and Black Homogeneity	
Vergil Todorov Djamiykov* and Vasil T. Galabov**	95

# Position Analysis of a Spring–Mass System During Impact with a Rigid Wall as a Function of Velocity – A Python-Based Simulation

## Positionsanalyse eines Feder-Masse-Systems beim Wandstoß in Abhängigkeit der Geschwindigkeit – Simulation mit Python

Biliana Dimova\*, Martin Kirilov\*\*, Teodor Poryazov‡

\*Department of Mechanics, Faculty of Transport, Technical University of Sofia Sofia, Bulgaria, e-mail: bdimova@tu-sofia.bg

\*\*Faculty of German Engineering Education and Industrial Management, Technical University of Sofia Sofia, Bulgaria, e-mail: martin.kirilov@fdiba.tu-sofia.bg

‡Faculty of German Engineering Education and Industrial Management, Technical University of Sofia Sofia, Bulgaria, e-mail: teodor.poryazov@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** — This article investigates the position evolution of a one-dimensional spring–mass system during impact with a rigid wall. Using numerical Python simulations, the influence of the initial velocity and post-impact velocities on the maximum displacement and motion of the mass point is analyzed. The model is based on the equation of motion of a damped harmonic oscillator. The study is also designed as an educational tool and is suitable for use in lectures and exercises to illustrate impact processes.

**Zusammenfassung** — Dieser Artikel untersucht die Positionsentwicklung eines eindimensionalen Feder-Masse-Systems beim Stoß auf eine starre Wand. Mithilfe numerischer Simulationen in Python wird analysiert, wie die Anfangsgeschwindigkeit und die Geschwindigkeiten nach aufeinanderfolgenden Stößen die maximale Auslenkung und den Bewegungsverlauf des Massenpunktes beeinflussen. Das Modell basiert auf der Bewegungsgleichung eines gedämpften harmonischen Oszillators. Der Beitrag ist zugleich als Lerninstrument konzipiert und eignet sich für den Einsatz in Vorlesungen und Übungen zur anschaulichen Vermittlung von Stoßprozessen.

### I. EINFÜHRUNG

Stoßprozesse spielen eine zentrale Rolle in zahlreichen technischen Anwendungen, darunter Maschinendynamik, Robotik, Strukturmechanik und Fahrzeugtechnik. Die Modellierung solcher Vorgänge ist jedoch aufgrund kurzer Kontaktzeiten, abrupter Geschwindigkeitsänderungen und nichtlinearer Effekte anspruchsvoll. Besonders für Studierende stellen Stoßprobleme häufig eine konzeptionelle Herausforderung dar, da klassische analytische Methoden nur eingeschränkt anwendbar sind.

Ein weit verbreiteter Ansatz zur Untersuchung von Stoßvorgängen ist die Modellierung als sogenannter Impact-Oszillator, bei dem ein Masse-Feder-System wiederholt mit einer starren Begrenzung interagiert. Zahlreiche Arbeiten befassen sich mit der Dynamik solcher Systeme, wobei häufig nichtlineare Effekte, periodische Stoßmuster oder Bifurkationsphänomene im Fokus stehen [1–4]. Experimentelle und numerische Untersuchungen zeigen, dass bereits einfache Feder-Masse-Modelle ein komplexes dynamisches Verhalten aufweisen können.

Darüber hinaus existieren grundlegende theoretische Arbeiten zur Kontakt- und Stoßmodellierung, die wesentliche Mechanismen des Aufpralls beschreiben und als Basis für numerische Simulationen dienen [5]. In anwendungsnahen Studien wird das Feder-Masse-Modell häufig zur Approximation von Stoßvorgängen gegen starre

Strukturen eingesetzt, beispielsweise im Kontext der Strukturmechanik oder der Bauteilsimulation [6].

Neben diesen stoßspezifischen Untersuchungen ist das Feder-Masse-Dämpfer-System ein etabliertes Modell zur Analyse dynamischer Systeme und zur Untersuchung des Einflusses mechanischer Parameter wie Federsteifigkeit oder Dämpfung. Mehrere Arbeiten zeigen, dass numerische Simulationen besonders geeignet sind, um Parameterabhängigkeiten systematisch und anschaulich darzustellen [7,8]. Erweiterungen klassischer Masse-Feder-Modelle werden zudem genutzt, um dynamische Effekte bei schnellen Bewegungen oder transienten Vorgängen besser zu erfassen [9].

Während viele der genannten Arbeiten den Schwerpunkt auf Kräfte, Energien, Stoßzahlen oder komplexe nichtlineare Effekte legen, verfolgt der vorliegende Beitrag einen bewusst vereinfachten und didaktisch motivierten Ansatz. Im Mittelpunkt steht die zeitliche Entwicklung der Position eines Massenpunktes beim Stoß auf eine starre Wand sowie deren Abhängigkeit von der Anfangsgeschwindigkeit und den Geschwindigkeiten nach aufeinanderfolgenden Stößen. Mithilfe einer numerischen Simulation in Python wird ein einfaches, reproduzierbares Modell vorgestellt, das sowohl physikalische Grundzusammenhänge verdeutlicht als auch als Lerninstrument in Vorlesungen und Übungen eingesetzt werden kann.

In der Lehre der Technischen Mechanik werden Stoßprobleme häufig isoliert betrachtet, ohne den anschließenden Bewegungsverlauf zu analysieren. Ziel dieser



## NUMERISCHE IMPLEMENTIERUNG IN PYTHON

Die numerische Lösung erfolgt mithilfe der Programmiersprache Python. Zur Zeitintegration wird ein Standardverfahren zur Lösung gewöhnlicher Differentialgleichungen eingesetzt, wie es in gängigen wissenschaftlichen Bibliotheken verfügbar ist. Dieser Ansatz entspricht etablierten numerischen Methoden zur Simulation mechanischer Systeme [7,8].

Der Wandstoß wird algorithmisch durch eine einfache Kontaktbedingung modelliert: Sobald die Position des Massenpunktes die Wandposition erreicht, beginnt die Integration der Bewegungsgleichung. Nach dem Erreichen der maximalen Auslenkung bewegt sich der Massenpunkt wieder von der Wand weg, bis der nächste Stoß erfolgt. Abb. 2 zeigt Anfangsbildschirm zur Eingabe der Parameter des Feder-Massen-Systems in Python für die Simulation.

Der Python-Code ist modular aufgebaut und erlaubt eine einfache Variation der Anfangsgeschwindigkeit. Mehrere Simulationsläufe können automatisiert durchgeführt und miteinander verglichen werden. Die Ergebnisse werden in Form von **Positions-Zeit-Diagrammen** dargestellt, welche die Grundlage für die anschließende Auswertung bilden.

```

1 m = float(input("Enter mass m: ")) = 1.0
2 k = float(input("Enter spring stiffness k: ")) = 20.0
3 c = float(input("Enter spring damping c: ")) = 0.3
4 l0 = float(input("Enter distance between floor and ceiling l0: ")) = 1.0
5 e = float(input("Enter coefficient of restitution e: ")) = 0.6
6 mu = float(input("Enter coefficient of friction mu: ")) = 0.3
7 gamma_anchor = float(input("Enter anchor damping gamma: ")) = 0.4
8 dt = float(input("Enter time step dt: ")) = 0.0001
9
10 x = float(input("Enter x: ")) = 0.0
11 y = float(input("Enter y (distance down from anchor: ") = 0.5
12 z = float(input("Enter z: ")) = 0.3
13 vx = float(input("Enter vx: ")) = 3.0
14 vy = float(input("Enter vy: ")) = 4.0
15 vz = float(input("Enter vz: ")) = 2.0
    
```

Abb. 2. Screenshot der Ausgangsparameter des Feder-Massen-Systems in Python – einschließlich **Abmessungen, Trittwinkel, Masse, Feder- und Dämpfungskoeffizient, Reibungskoeffizient** sowie **Anfangsgeschwindigkeiten** – als Initialwerte für die Simulation.

Neben der physikalischen Analyse verfolgt die Methodik einen klaren didaktischen Ansatz: Der Code ist bewusst übersichtlich gehalten und eignet sich zur direkten Verwendung in Vorlesungen, Übungen oder studentischen Projekten.

## SIMULATIONSERGEBNISSE

Die Simulationsergebnisse zeigen einen deutlichen Zusammenhang zwischen der Anfangsgeschwindigkeit des Massenpunktes und der Positionsentwicklung während des Stoßes. Dieser Zusammenhang entspricht den erwarteten physikalischen Effekten und wird auch in vergleichbaren Studien zu Impact-Oszillatoren beobachtet [1–3].

### A. Einfluss der Anfangsgeschwindigkeit auf die Positionsentwicklung

Wie Abb. 3 zeigt, führt eine geringere Anfangsgeschwindigkeit zu einer entsprechend kleineren Amplitude und verlängert die Zeit bis zur maximalen Kompression. Im Gegensatz dazu bewirkt eine höhere Anfangsgeschwindigkeit eine größere Amplitude und verkürzt die Kompressionszeit.

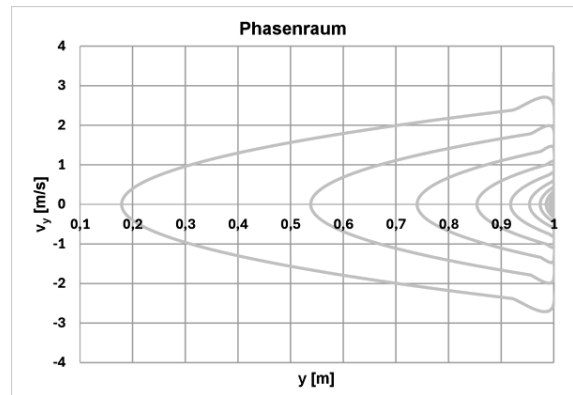


Abb. 3. Darstellung der Bewegung des Feder-Massen-Systems ( $v_y - y$ ). Die nach innen ziehende Spirale zeigt gedämpfte Schwingungen, charakteristisch für einen gedämpften Oszillator. Die vertikale Linie rechts rechts markiert den Bodenkontakt mit instantaner Geschwindigkeitsumkehr.

Mit zunehmender Anfangsgeschwindigkeit steigt die maximale Position nahezu proportional an, was mit der stärkeren Kompression der Feder erklärt werden kann. Die zeitlichen Positionsverläufe zeigen zudem, dass höhere Anfangsgeschwindigkeiten zu kürzeren Zeiten bis zur maximalen Auslenkung führen. Dies verdeutlicht den direkten Einfluss der Geschwindigkeit auf den zeitlichen Ablauf des Stoßprozesses.

### B. Positionsverläufe bei aufeinanderfolgenden Stößen

Bei der Betrachtung mehrerer aufeinanderfolgender Stöße wird ein charakteristisches Abklingen der maximalen Auslenkung beobachtet (Abb. 4). Ursache hierfür ist die im Modell berücksichtigte Dämpfung, die nach jedem Stoß zu einer Reduktion der Geschwindigkeit führt. Die Positionsmaxima nehmen von Sprung zu Sprung ab, was sich in einer abklingenden Hüllkurve der Positionsverläufe äußert.

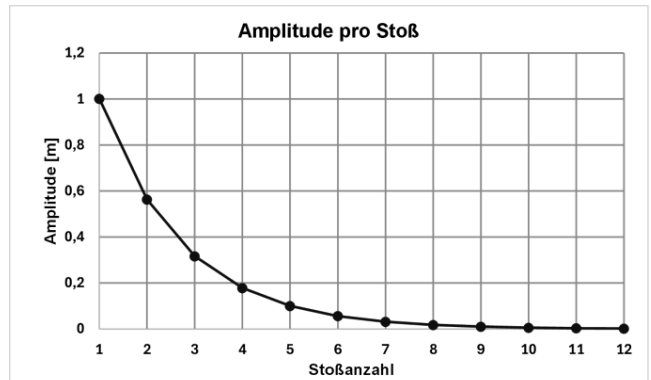


Abb. 4. Darstellung der maximalen Amplitude (*Auslenkung oder Sprunghöhe*) des Feder-Massen-Systems nach aufeinanderfolgenden Sprüngen bis zum vollständigen Ausklingen der Bewegung. Der nahezu exponentielle Abfall der jeweiligen Maximalhöhe verdeutlicht die fortschreitende Energiedissipation infolge von Luftwiderstand und unelastischen Stoßverlusten und kennzeichnet das gedämpfte Ausklingen der Bewegung des Systems.

Der direkte Vergleich von Positionsverläufen (Abb. 3, 4) für unterschiedliche Anfangsgeschwindigkeiten zeigt klare Unterschiede im Bewegungsablauf und bestätigen, dass bereits ein einfaches lineares Modell ausreicht, um diesen Effekt qualitativ korrekt darzustellen. Während bei niedrigen Geschwindigkeiten nur geringe Auslenkungen auftreten, führen höhere Geschwindigkeiten zu deutlich ausgeprägten Stoßzyklen.

Die grafische Darstellung dieser Verläufe erlaubt eine intuitive Interpretation der Ergebnisse und erleichtert das Verständnis der zugrunde liegenden Dynamik und bietet die hier gewählte Darstellung der Position einen besonders

anschaulichen Zugang zum Stoßprozess, das insbesondere im Kontext der Lehre von Vorteil ist.

### C. Einordnung der Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen, dass die Positionsanalyse eine geeignete und didaktisch sinnvolle Perspektive zur Untersuchung von Stoßprozessen darstellt Abb. 5. Trotz der vereinfachten Modellannahmen werden wesentliche dynamische Zusammenhänge korrekt abgebildet. Die Simulationsergebnisse stehen im Einklang mit bestehenden Arbeiten zu Impact-Oszillatoren und Feder-Masse-Systemen [2,3,7]. Darüber hinaus verdeutlicht die Untersuchung, dass numerische Simulationen in Python ein effektives Werkzeug darstellen, um mechanische Systeme nicht nur zu analysieren, sondern auch verständlich zu visualisieren. Dies unterstreicht den Nutzen des vorgestellten Ansatzes sowohl für die Forschung als auch für die Hochschullehre.

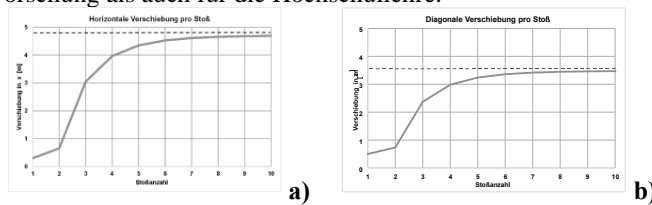


Abb. 5. Zeitlicher Verlauf der horizontalen Bewegung des Feder-Massen-Systems. **a)** Die Position  $\mathbf{x}(t)$  in  $\mathbf{x}$ -Richtung nimmt monoton zu und flacht zunehmend ab, was auf eine durch Reibung verursachte kontinuierliche Reduktion der horizontalen Geschwindigkeit hinweist. **b)** Die Bewegung  $\mathbf{z}(t)$  in  $\mathbf{z}$ -Richtung zeigt einen analogen Verlauf und bestätigt das schrittweise Abklingen der seitlichen Bewegung infolge wiederholter Bodenkontakte

Die grafische Darstellung der Ergebnisse, insbesondere der direkte Vergleich mehrerer Kurven für unterschiedliche Parameter Abb. 3, 4, 5 verdeutlicht den funktionalen Zusammenhang zwischen Geschwindigkeit und Positionsauslenkung.

### DISKUSSION

Die in dieser Arbeit dargestellten Simulationsergebnisse zeigen, dass die zeitliche Entwicklung der Position eines Feder-Masse-Systems beim Stoß auf eine starre Wand in starkem Maße von der Geschwindigkeit abhängt Abb. 6.

Im Vergleich zu Arbeiten, die den Schwerpunkt auf komplexe nichtlineare Effekte, Bifurkationsverhalten oder chaotische Dynamik legen [2,3], verfolgt der vorliegende Beitrag bewusst einen reduzierten Ansatz. Die Konzentration auf die Positionsentwicklung erlaubt eine intuitive Interpretation des Stoßprozesses und ergänzt bestehende Studien, die sich primär auf Kräfte, Energien oder Stoßzahlen fokussieren. Ähnliche Vereinfachungen werden auch in anwendungsnahen Arbeiten zur Stoßmodellierung eingesetzt, um zentrale Zusammenhänge übersichtlich darzustellen [6].

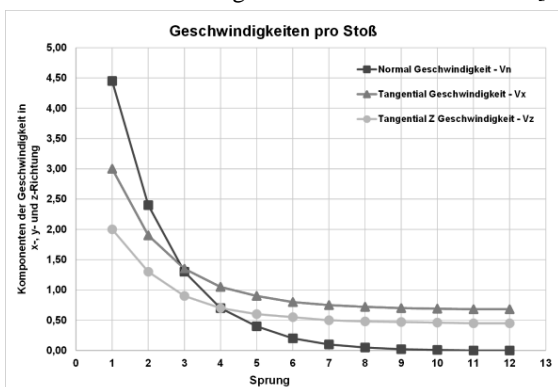


Abb. 6. Geschwindigkeitskomponenten des untersuchten Feder-Massen-Systems pro Sprung in Abhängigkeit der Stoßsprünge. Die Normalgeschwindigkeit  $\mathbf{v}_n$  (Rechtecke) nimmt bei jedem Stoß gemäß dem Restitutionskoeffizienten  $v_{neu} = -\square v_{alt} \mathbf{a}\mathbf{b}$ , während die tangentialen Komponenten  $\mathbf{v}_{t,x}$  (Dreiecke),  $\mathbf{v}_{t,z}$  (Kreise) infolge der Reibung  $\mu$  monoton reduziert werden. Dies zeigt die dissipative Energieabgabe in allen Freiheitsgraden.

Das beobachtete Abklingen der maximalen Auslenkung bei aufeinanderfolgenden Stößen ist eine direkte Folge der im Modell berücksichtigten Dämpfung, bestätigt die grundlegende physikalische Erwartungen und entspricht den Ergebnissen numerischer und experimenteller Untersuchungen gedämpfter Impact-Oszillatoren [1-4]. Auch theoretische Arbeiten zur Kontakt- und Stoßmodellierung bestätigen, dass bereits einfache lineare Modelle wesentliche qualitative Eigenschaften realer Stoßprozesse abbilden können [5].

Im Vergleich zu erweiterten Modellansätzen, etwa unter Verwendung fraktionaler Ableitungen oder komplexerer Materialmodelle [7,9], verzichtet der vorliegende Ansatz bewusst auf zusätzliche Modellkomplexität. Diese Entscheidung ist durch die Zielsetzung des Beitrags begründet, ein leicht verständliches und reproduzierbares Simulationsmodell bereitzustellen. Der Fokus auf Python als Simulationswerkzeug steht dabei im Einklang mit aktuellen Lehr- und Forschungstrends, die numerischen Methoden als integralen Bestandteil der ingenieurwissenschaftlichen Ausbildung betrachten [7,8].

Insgesamt zeigt die Diskussion, dass der gewählte Ansatz ein Impact-Modell darstellt und bietet eine ergänzende Perspektive, die insbesondere für die Lehre und für ein erstes Verständnis von Stoßprozessen geeignet ist.

### SCHLUSSFOLGERUNG UND AUSBLICK

In diesem Beitrag wurde die Positionsentwicklung eines eindimensionalen Feder-Masse-Systems beim Stoß auf eine starre Wand mithilfe numerischer Simulationen untersucht. Der Fokus lag auf dem Einfluss der Anfangsgeschwindigkeit sowie der Geschwindigkeiten nach aufeinanderfolgenden Stößen auf den Bewegungsverlauf des Massenpunktes. Die Ergebnisse zeigen klare Zusammenhänge zwischen Geschwindigkeit und maximaler Auslenkung sowie ein charakteristisches Abklingen der Positionsmaxima infolge der Dämpfung.

Darüber hinaus wurde gezeigt, dass ein einfaches, Pythonbasiertes Simulationsmodell ein effektives Lerninstrument zur Vermittlung von Stoßprozessen darstellt. Der Ansatz eignet sich insbesondere für den Einsatz in Vorlesungen und Übungen, da er die Verbindung zwischen physikalischem Modell, numerischer Simulation und grafischer Auswertung anschaulich herstellt. Studierende lernen dabei nicht nur die physikalischen Grundlagen von Stoßprozessen kennen, sondern auch den praktischen Umgang mit numerischen Simulationsmethoden.

Durch die Kombination aus Modellierung, Simulation und grafischer Auswertung wird die Verbindung zwischen Theorie und Anwendung gestärkt. Die Simulation ermöglicht es, abstrakte Konzepte der technischen Dynamik anschaulich darzustellen und aktiv zu explorieren.

Zukünftige Arbeiten könnten das Modell durch nichtlineare Federkennlinien, variierende Stoßbedingungen oder experimentelle Validierungen erweitern. Ebenso bietet sich eine Ausdehnung auf mehrdimensionale Systeme oder die Kopplung mit realen Messdaten an, um den Anwendungsbereich weiter zu vergrößern.

## REFERENCES

- [1] V. Denysenko, A. Zakharova, T. Kapitaniak, Electronic Equivalent of a Mechanical Impact Oscillator, *Scientific Reports*, vol. 15, 2025.
- [2] X. Lyu, Dynamic Characteristics of a Mechanical Impact Oscillator, *International Journal of Mechanical Sciences*, 2020.
- [3] M. Wiercigroch, R. V. N. Melnik, Versatile Mass-Excited Impact Oscillator, *Nonlinear Dynamics*, vol. 99, pp. 1257–1271, 2020.
- [4] S. Skurativskiy, P. Perlikowski, Properties of Impact Events in the Model of Forced Impacting Oscillator, arXiv preprint arXiv:1903.02085, 2019.
- [5] H. Kuninaka, H. Hayakawa, Contact and Quasi-Static Impact of a Mechanical Model, arXiv preprint cond-mat/0504770, 2005.
- [6] A. C. Eringen et al., Simulation of a Block Impacting a Rigid Structure Using a Mass-Spring System, *Engineering Structures*, vol. 29, pp. 317–326, 2007.
- [7] J. F. Gómez-Aguilar, M. Guía Calderón, Modeling of a Mass-Spring-Damper System by Fractional Derivatives, *Entropy*, vol. 17, no. 9, pp. 6289–6307, 2015.
- [8] O. Mohammed, A. Al-Nuaimi, Modeling and Simulation of Spring Constant Influence on Damping, *Alqalam Journal of Applied Sciences*, 2023.
- [9] A. Carpinteri et al., Revisiting the Mass-on-Spring Model to Address Dynamic Fracture Effects, *Theoretical and Applied Fracture Mechanics*, vol. 131, 2024.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK

# FEM-Based Analysis of the Mechanical Behavior of Porous Magnesium Alloy AE42

## FEM-basierte Analyse des mechanischen Verhaltens der porösen Magnesiumlegierung AE42

Biliana Dimova\*, Vesselin Tsonev\*\*, Nikolay Arabadzhiev‡

\*Department of Mechanics, Faculty of Transport, Technical University of Sofia Sofia, Bulgaria, e-mail: bdimova@tu-sofia.bg

\*\*Department of Mechanics, Faculty of Transport, Technical University of Sofia Sofia, Bulgaria, e-mail: tzonev@tu-sofia.bg

‡ Faculty of German Engineering Education and Industrial Management, Technical University of Sofia Sofia, Bulgaria, e-mail: niki.arabadzhiev@gmail.com

**Abstract** — This study investigates the mechanical behavior of the magnesium alloy AE42 using the finite element method and effective modification of material properties, considering microstructural porosity. Porosity is modeled in a varying manner to analyze its effect on strength and other important material parameters. The results demonstrate how porosity influences the mechanical response of the alloy and provide a basis for the optimized design of porous magnesium components.

**Zusammenfassung** — Diese Arbeit untersucht mithilfe der Finite Elemente Methode und effektive Änderung der Materialeigenschaften das mechanische Verhalten der Magnesiumlegierung AE42 unter Berücksichtigung von Mikrostrukturporosität. Porosität wird in das Modell variierend simuliert, um deren Einfluss auf Festigkeit und weitere wichtige Werkstoffkennwerte zu analysieren. Die Ergebnisse zeigen, wie Porosität die mechanische Antwort der Legierung beeinflusst, und liefern eine Grundlage für die gezielte Auslegung poröser Mg-Bauteile.

### I. EINFÜHRUNG

Magnesiumlegierungen zählen aufgrund ihrer geringen Dichte und hohen spezifischen Festigkeit zu den wichtigsten metallischen Leichtbauwerkstoffen moderner Ingenieur Anwendungen [1]. Insbesondere im Automobil- und Luftfahrtsektor ermöglichen sie eine signifikante Gewichtsreduktion und damit eine Verbesserung der Energieeffizienz [2]. Unter den verschiedenen Magnesiumlegierungen weist AE42 aufgrund des Zusatzes von Seltenerdelementen eine verbesserte Warmfestigkeit und Kriechbeständigkeit auf, wodurch sie für Anwendungen bei erhöhten Betriebstemperaturen geeignet ist [3].

Ein zentrales Problem bei der Herstellung von Magnesiumbauteilen, insbesondere im Gießprozess, ist die Entstehung von Mikrostrukturporosität. Diese Poren entstehen durch eingeschlossene Gase oder Schwindungseffekte und wirken als geometrische Diskontinuitäten im Werkstoffgefüge [4]. Zahlreiche Studien zeigen, dass Porosität maßgeblich zur Reduktion der Steifigkeit und Festigkeit beiträgt und das Versagensverhalten durch lokale Spannungskonzentrationen beeinflusst [5,6].

Mit der zunehmenden Verfügbarkeit numerischer Simulationsmethoden gewinnt die Finite-Elemente-Methode (FEM) als Werkzeug zur Analyse des mechanischen Verhaltens poröser Werkstoffe an Bedeutung. In Kombination mit idealisierten oder realen Porengeometrien ermöglicht FEM eine detaillierte Untersuchung des Struktur-Eigenschaftszusammenhangs auf der Mikro- bis Mesoskala

[7–9]. Während einige Magnesiumlegierungen durch eine hohe Duktilität gekennzeichnet sind, andere infolge eines erhöhten Aluminiumgehalts ein höheres Festigkeitsniveau aufweisen, zeichnet sich **AE42** durch den Zusatz von Seltenerdelementen aus, die zu einer verbesserten thermischen Stabilität und Warmfestigkeit beitragen. Gleichzeitig kann in diesen Legierungen herstellungsbedingt Mikrostrukturporosität auftreten, die das mechanische Verhalten wesentlich beeinflusst. Vor diesem Hintergrund wird in der vorliegenden Arbeit der Einfluss der Mikrostrukturporosität auf das mechanische Verhalten der Magnesiumlegierung AE42 mithilfe der Finite-Elemente-Methode systematisch analysiert.

### II. WERKSTOFF AE42, MIKROSTRUKTURPOROSITÄT UND WERKSTOFFKENNWERTE

Die Magnesiumlegierung AE42 enthält Aluminium sowie Seltenerdelemente, die zu einer verbesserten Warmfestigkeit und einer erhöhten thermischen Stabilität beitragen. Aufgrund dieser Eigenschaften wird AE42 bevorzugt für Anwendungen eingesetzt, bei denen erhöhte Betriebstemperaturen auftreten. Typische mechanische Kennwerte wie Elastizitätsmodul und Festigkeit liegen im mittleren Bereich der gängigen Magnesiumlegierungen Tabelle 1.

TABELLE I. EXPERIMENTELL BESTIMMTE CHEMISCHE, MECHANISCHE UND PHYSIKALISCHE KENNWERTE DER MG-LEGIERUNG AE42

Kennwert (RT)	AE42
Nennzusammensetzung (wt.-%)	Mg-4Al-2RE
Gefüge (kurz)	$\alpha$ -Mg + Al-RE-Phasen
E-Modul [GPa]	≈ 45
Streckgrenze $R_{p0,2}$ [MPa]	145
Zugfestigkeit UTS [MPa]	234
Bruchdehnung A [%]	11%
Dichte $\rho$ [g/cm <sup>3</sup> ]	≈ 1,76
Temperaturverhalten (Faustzahl)	bis ~150 °C
Besonderheiten	RE-stabilisiert; warmfest

Die Legierung AE42 (Mg-4Al-2RE) nach Tabelle 1 ist für warmfeste Druckgussanwendungen bis 150 °C optimiert. Das Gefüge aus  $\alpha$ -Magnesium-Matrix und stabilisierenden Al-RE-Phasen verhindert spröde  $\beta$ -Mg<sub>17</sub>Al<sub>12</sub>-Phasen und sichert Duktilität und Warmfestigkeit. Aus den in Tabelle 1 dargestellten Kennwerten lassen sich die charakteristischen Eigenschaften der Magnesiumlegierung AE42 ableiten. Die Legierung weist ein **Elastizitätsmodul** auf, der typisch für Magnesium-Druckgusslegierungen ist, eine gute **Streckgrenze**, geeignete **Zugfestigkeit** sowie eine für Magnesium außergewöhnlich **hohe Bruchdehnung**. Gleichzeitig ist die Dichte deutlich geringer (35%) als die von Aluminiumlegierungen, was AE42 besonders für Leichtbauanwendungen prädestiniert. Auf Basis dieser experimentell ermittelten Kennwerte wird im weiteren Verlauf eine FEM-gestützte Analyse durchgeführt, um den Einfluss von Mikrostrukturporosität auf die mechanische Leistungsfähigkeit und lokale Spannungsverläufe der Legierung systematisch zu untersuchen.

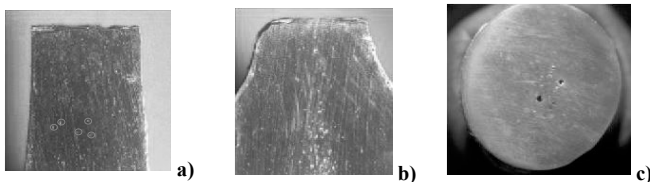


Abb. 1. Makroskopische Darstellungen der Porosität der Mg-Legierung AE42 in unterschiedlichen Ansichten: a) Längsschnitt einer glatten Probe, b) Längsschnitt einer gekerbten Probe und c) Querschnitt einer glatten Probe. Die Poren sind makroskopisch sichtbar und überwiegend innerhalb eines zentralen Bereichs des Probenquerschnitts konzentriert.

Trotz der insgesamt günstigen mechanischen Eigenschaften der Magnesiumlegierung AE42 weisen die untersuchten Proben eine ausgeprägte Makro- und Mikrostrukturporosität auf, die bereits mit bloßem Auge erkennbar ist Abb. 1 und Abb. 2. Die metallographische Analyse zeigt eine Porendichte von etwa 15 mm<sup>-2</sup>, wobei die Poren überwiegend in einem lokal begrenzten Bereich des Probenquerschnitts konzentriert sind. Die Poren besitzen überwiegend eine ovale Morphologie mit Größen im Bereich von etwa 150  $\mu$ m bis 250  $\mu$ m, während vereinzelt deutlich größere Poren mit Durchmessern von über 1 mm auftreten. Die unregelmäßige Verteilung und Größe der Poren deutet auf einen signifikanten Einfluss auf die lokale Spannungsverteilung hin und stellt eine wesentliche Motivation für die nachfolgende FEM-basierte Analyse dar.

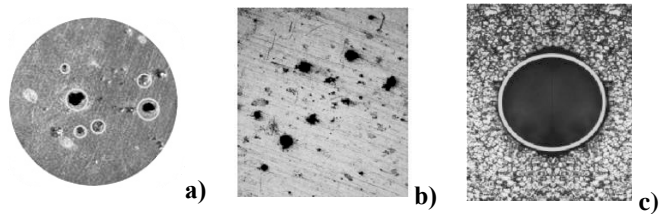


Abb. 2. Mikroskopische Darstellungen der Porosität der Mg-Legierung AE42 in unterschiedlicher Vergrößerung: a) x50, b) x100 c) x400

Empirisch ist bekannt, dass selbst geringe Porositätsgrade die Zugfestigkeit und Duktilität deutlich reduzieren, da Poren als lokale Spannungskonzentratoren wirken. Diese Erkenntnisse bilden die Grundlage für die nachfolgende FEM-basierte Untersuchung des porositäts-bedingten mechanischen Verhaltens von AE42.

Auf Grundlage der metallographischen Untersuchungen wurde die Mikrostrukturporosität in den Simulationen idealisiert berücksichtigt. Hierzu wurden drei unterschiedliche Porositätsgrade von 2 %, 4 % und 6 % definiert, die typische Porositätsbereiche von Druckguss-Magnesiumlegierungen repräsentieren.

### III. GEOMETRIE UND MODELLANNAHMEN

Die Standard-Zugproben für die Magnesiumdruckgußlegierungen bzw. AE42 wurden nach DIN EN ISO 6892-1 ausgewählt und gefertigt Tabelle 2, wobei die Abmessungen auf die Besonderheiten von Druckgusslegierungen abgestimmt sind. Für die AE42-Proben wurden Querschnittsdurchmesser  $d_0$  von 6 mm gewählt, was einem Querschnitt von 28,3 mm<sup>2</sup> entspricht. Das Verhältnis von Messlänge zu Durchmesser  $L_0/d_0$  von 5 Messlänge 30 mm gewährleistet eine gleichmäßige plastische Verformung während der Zugprüfung und ein Probenvolumen von etwa 1,4 cm<sup>3</sup>, das ausreichend für die statistische Abbildung der Porenverteilung ist und somit eine zuverlässige FEM-Validierung ermöglicht.

Für die Validierung der AE42-Legierung wurden die Proben so ausgelegt, dass typische mechanische Kennwerte reproduzierbar sind: Streckgrenze  $R_{p0,2} \approx 145$  MPa, Zugfestigkeit  $R_m \approx 234$  MPa und Bruchdehnung  $A \approx 11$  %, und eine Porosität der Gussteile, die für die vollständige Ausprägung dieser Werte erforderlich ist.

TABELLE II. STANDARD-RUND-ZUGPROBE DIN EN ISO 6892-1 (MAGNESIUMLEGIERUNGEN) AE42

Typ	$d_0$ [mm]	H [mm]	R [mm]	$L_0$ [mm]	$L_c$ [mm]	$L_{gesamt}$ [mm]	Toleranz Nominal	Toleranz Testbar
Klein	4	9	8/2,5	20	24	$L_0 + L_c \pm 0,06$	±0,03	±0,03
Standard	5	11	10/2,5	25	30	$L_0 + L_c \pm 0,06$	±0,03	±0,03
Groß	6	12	12/2,5	30	36	$2 \cdot L_c \pm 0,075$	±0,04	±0,04
XL	8	16	16/2,5	40	48	$2 \cdot L_c \pm 0,075$	±0,04	±0,04

Tabelle 2 gibt die Abmessungen und Spezifikationen der Standard-Zugproben nach DIN EN ISO 6892-1 für Magnesiumlegierungen wieder. Die runden Proben sind für Zugversuche bei Raumtemperatur ausgelegt. Dabei bezeichnet  $L_0$  die Messlänge zur Dehnungserfassung,  $L_c$  die Klemm- und Kopflänge und  $d_0$  den Messkreisdurchmesser.

#### IV. FEM-MODELLIERUNG

Die numerische Modellierung erfolgt mit der Finite-Elemente-Software ANSYS auf ein vereinfachtes Modell. Für die Diskretisierung wird ein fein aufgelöstes Netz Abb. 3 verwendet, um die Spannungsgradienten zuverlässig erfassen zu können. Als Randbedingungen wird eine quasistatische, einaxiale Belastung angesetzt.

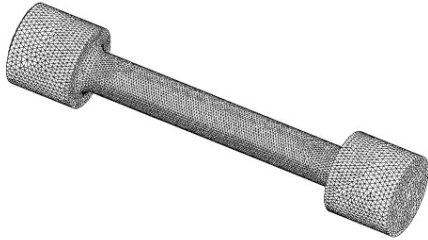


Abb. 3. Finite-Elemente-Diskretisierung in ANSYS der AE42-Zugprobe mit tetraedrischen Volumenelementen

Die Diskretisierung erfolgte mit einem tetraedrischen Volumen – FEM-Netz. Eine lokale Netzverfeinerung wurde gezielt im Bereich der Porenoberflächen sowie in den Übergangsradien des Messbereichs vorgenommen, um die dort auftretenden hohen Spannungs- und Dehnungsgradienten zuverlässig zu erfassen. Das Materialverhalten der Legierung AE42 wurde durch ein elastisch-plastisches Materialmodell mit multilinear isotroper Verfestigung beschrieben. Die verwendeten Materialparameter entsprechen dem Referenzmodell und basieren auf experimentell ermittelten Kennwerten.

Im Rahmen der numerischen Untersuchungen wurde ein vereinfachtes Modell eingesetzt, bei dem die Porosität nicht explizit geometrisch modelliert wird. Stattdessen wird die Porosität durch effektive Materialeigenschaften berücksichtigt, während die Geometrie der Probe als vollständig dicht angenommen wird. Die Reduktion der mechanischen Eigenschaften erfolgt über einen kalibrierten porositätsabhängigen Reduktionsfaktor in Abhängigkeit von der Volumenporosität in %. Dadurch werden insbesondere das Elastizitätsmodul –  $E$ , die Streckgrenze –  $R_{p0,2}$  und die Zugfestigkeit –  $R_m$  entsprechend dem realen Verhalten poröser Gussteile angepasst.

Dieses Vorgehen ermöglicht es, die globalen mechanischen Reaktionen der Probe, insbesondere die Steigung im elastischen Bereich sowie die charakteristischen Festigkeitskennwerte, realitätsnah abzubilden. Ein wesentlicher Vorteil dieses Modells liegt im deutlich reduzierten Rechenaufwand im Vergleich zur expliziten Porenmodellierung. Dadurch können umfangreiche Parameterstudien effizient durchgeführt werden, während gleichzeitig eine hohe Genauigkeit hinsichtlich der integralen mechanischen Kennwerte erhalten bleibt. Das Modell stellt somit eine effiziente und zuverlässige Methode zur Beschreibung des porositätsbedingten mechanischen Verhaltens der Magnesiumlegierung AE42 im Rahmen von FEM Simulationen dar.



Abb. 4. Äquivalentes Spannungsfeld (von-Mises-Spannung) in der Zugprobens aus AE42 für unterschiedliche Porositätsgrade, ermittelt durch FEM.

Für die numerische Simulation wurde die Geometrie der Zugprobe entsprechend der Norm DIN EN ISO 6892-1 für Magnesiumlegierungen standardisiert. Innerhalb des kalibrierten Messbereichs wurden die Poren explizit modelliert und in periodischer Anordnung entlang der Probenachse positioniert, um eine kontrollierte und reproduzierbare Untersuchung des Porositätseinflusses zu ermöglichen.

Als Randbedingungen wurde ein Probenende vollständig fixiert, während am gegenüberliegenden Ende eine quasistatische axiale Verschiebung entlang der Längsachse aufgebracht wurde. Dieses Belastungsschema entspricht den Bedingungen eines standardisierten Zugversuchs Abb. 4. Zur Sicherstellung der numerischen Stabilität und Modellzuverlässigkeit wurden während der Simulation kontinuierlich die Reaktionskräfte sowie der monotone Verlauf der Spannungs- und Dehnungsgrößen überwacht. Es traten keine numerischen Instabilitäten oder parasitären Schwingungen auf, was die Qualität der numerischen Lösung bestätigt.

Im Vergleich zum porenfreien Referenzmodell weist die poröse Probe eine verringerte effektive Tragfähigkeit infolge der vorhandenen Porosität auf. Unter identischen Belastungsbedingungen wird eine Verringerung der Reaktionskräfte beobachtet, was auf eine reduzierte effektive Steifigkeit und Festigkeit der Probe infolge der vorhandenen Porosität zurückzuführen ist.

Diese Ergebnisse bestätigen, dass die beobachteten Veränderungen im mechanischen Verhalten eindeutig auf den Einfluss der berücksichtigten effektiven Werkstoffeigenschaften zurückzuführen sind und nicht durch numerische Effekte verursacht werden. Die Verwendung effektiver, porositätsabhängiger Werkstoffkennwerte ermöglicht somit eine realitätsnahe Abbildung des makroskopischen mechanischen Verhaltens und stellt eine geeignete Grundlage für die Analyse des Porositätseinflusses in der Magnesiumlegierung AE42 dar.

#### V. ERGEBNISSE

Die FEM-basierten Simulationen zeigen einen eindeutigen Einfluss der Mikrostrukturporosität auf die mechanischen Werkstoffkennwerte der Magnesiumlegierung AE42 Abb. 5. Mit zunehmendem Porositätsgrad kommt es zu einer systematischen Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften, wobei sowohl elastische als auch festigkeitsrelevante Kennwerte betroffen sind.

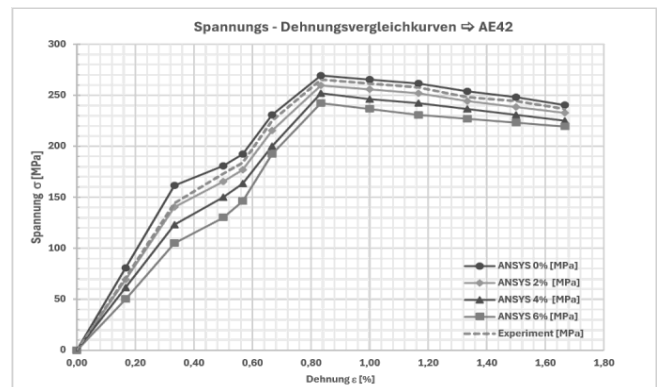


Abb. 5. FEM-Simulation der Spannungs-Dehnungs-Kurven für verschiedene Porositätsgrade von 0%, 2%, 4%, 6% im Vergleich zur experimentellen Referenzkurve der Versuchsprobe aus AE42-Mg-Legierung.

Der effektive **Elastizitätsmodul E** Abb. 6 nimmt mit steigendem Porositätsgrad kontinuierlich ab. Diese Reduktion ist auf den verringerten tragenden Querschnitt sowie auf die erhöhte Nachgiebigkeit des Materials infolge der eingebrachten

Poren zurückzuführen. Bereits bei geringen Porositätsanteilen zeigt sich eine messbare Abnahme der Steifigkeit, die sich bei höheren Porositätsgraden weiter verstärkt.

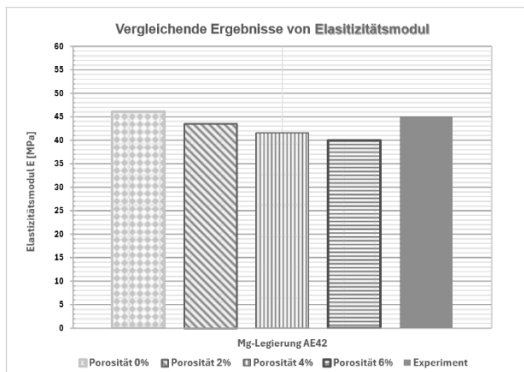


Abb. 6. Einfluss des simulierten Porositätsgrades von 0%, 2%, 4%, 6% auf die mechanischen Kennwerte **Elastizitätsmodul E** Mg-Legierung AE42.

Auch die 0,2%-Dehngrenze  $R_{p0,2}$  wird durch die Porosität deutlich beeinflusst Abb. 7. Die Simulationsergebnisse weisen darauf hin, dass Poren als lokale Spannungskonzentratoren wirken und somit die frühzeitige plastische Deformation begünstigen. Mit zunehmender Porosität sinkt die effektive Fließgrenze, da die lokal erhöhten Spannungen in der Umgebung der Poren schneller das kritische Niveau für plastisches Fließen erreichen.

Die Zugfestigkeit  $R_m$  zeigt ebenfalls eine ausgeprägte Abhängigkeit vom Porositätsgrad Abb. 7. Insbesondere bei höheren Porositätsanteilen ist eine deutliche Reduktion der maximal tragbaren Spannung zu beobachten. Die Poren fungieren dabei als Initiationsstellen für Schädigungsmechanismen, wodurch die globale Tragfähigkeit des Werkstoffs herabgesetzt wird. Bei einem Porositätsgrad von 6% treten besonders ausgeprägte Spannungsspitzen auf, die zu einer signifikanten Abnahme der Zugfestigkeit führen

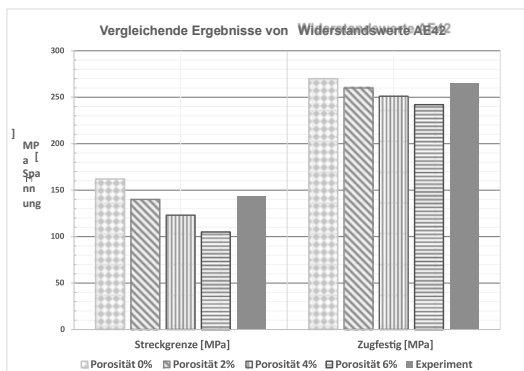


Abb. 7. Einfluss des simulierten Porositätsgrades von 0%, 2%, 4%, 6% auf die mechanischen Kennwerte **Streckgrenze  $R_{p0,2}$**  und **Zugfestigkeit  $R_m$**  der Magnesiumlegierung AE42.

Zusammenfassend belegen die Ergebnisse, dass die Mikrostrukturporosität einen dominierenden Einfluss auf die Werkstoffkennwerte  $E$ ,  $R_{p0,2}$  und  $R_m$  der Magnesiumlegierung AE42 besitzt. Die FEM-Simulationen ermöglichen eine differenzierte Bewertung dieser Effekte und liefern eine belastbare Grundlage zur Abschätzung porositätsbedingter Eigenschaftsänderungen.

## VI. SCHLUSSFOLGERUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde der Einfluss von Mikrostrukturporosität auf das mechanische Verhalten der Magnesiumlegierung AE42 mithilfe der Finite-Elemente Methode untersucht. Die numerischen Ergebnisse zeigen, dass Porosität einen entscheidenden Einfluss auf Steifigkeit und Spannungsverteilung besitzt.

Die durchgeführten numerischen Untersuchungen belegen eindeutig, dass Mikrostrukturporosität einen signifikanten Einfluss auf das mechanische Verhalten der Magnesiumlegierung AE42 ausübt. Mit zunehmendem Porositätsgrad ist eine deutliche Reduktion der Festigkeit sowie eine spürbare Veränderung zentraler Werkstoffkennwerte zu beobachten. Die Ergebnisse bestätigen, dass Porosität als wesentlicher Schwächungsmechanismus wirkt und die mechanische Leistungsfähigkeit poröser Magnesiumbauteile maßgeblich bestimmt.

Im Vergleich der untersuchten Porositätsgrade zeigt die Legierung AE42 insgesamt eine moderate Empfindlichkeit gegenüber Porosität. Insbesondere bei einem Porositätsgrad von 6% treten jedoch Spannungskonzentrationen auf, die zu einer Beeinträchtigung der Tragfähigkeit führen. Diese Beobachtung unterstreicht die Notwendigkeit einer gezielten Kontrolle hoher Porositätsanteile im Herstellungsprozess.

Die FEM basierte Analyse liefert präzise Einblicke in die Spannungsverläufe der quasiporösen Zugproben und ermöglicht eine detaillierte Untersuchung des Struktur-Eigenschafts-Zusammenhangs. Die numerisch ermittelten Spannungsverteilungen Abb. 4 erlauben eine fundierte Bewertung porositätsbedingter Effekte.

Ein wesentlicher Aspekt dieser Arbeit ist die experimentelle Validierung der Simulationsergebnisse. Für den **Porositätsgrad von 2%** zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung zwischen numerischen Vorhersagen und experimentellen Beobachtungen, was die Aussagekraft und Zuverlässigkeit des entwickelten FEM-Modells bestätigt.

Die gewonnenen Erkenntnisse bilden eine belastbare Grundlage für weiterführende Untersuchungen. Insbesondere können die entwickelten Modellierungs- und Auswertestrategien auf andere Magnesiumlegierungen wie AM50 und AZ91 übertragen werden, um einen vergleichenden Überblick über den Einfluss von Porosität auf unterschiedliche Legierungssysteme zu gewinnen.

## VII. AUSBLICK

Die in dieser Arbeit gewonnenen Erkenntnisse zur porositätsabhängigen mechanischen Antwort der Magnesiumlegierung AE42 bilden eine solide Grundlage für weiterführende Untersuchungen. In einem nächsten Schritt soll die vorgestellte FEM-basierte Methodik auf weitere technisch relevante Magnesiumlegierungen, insbesondere AM50 und AZ91, übertragen werden. Ziel ist es, einen systematischen Vergleich des Porositätseinflusses auf unterschiedliche Legierungssysteme zu ermöglichen und legierungsspezifische Empfindlichkeiten gegenüber Mikrostrukturporosität herauszuarbeiten.

Darüber hinaus ist vorgesehen, die idealisierte Modellierung der Porosität durch realitätsnahe Porengeometrien zu ersetzen, die auf experimentellen  $\mu$ CT-Daten basieren. Dadurch kann die Aussagekraft der numerischen Simulationen weiter erhöht und der Zusammenhang zwischen realer Mikrostruktur und mechanischem Verhalten präziser beschrieben werden.

Zukünftige Arbeiten sollen zudem die Berücksichtigung nichtlinearer Materialmodelle sowie schädigungs- und versagensmechanischer Ansätze umfassen, um das plastische

Verhalten und die Rissinitiierung in porösen Magnesiumlegierungen abzubilden. In Kombination mit erweiterten experimentellen Untersuchungen kann so ein umfassendes Verständnis des Struktur-Eigenschaftszusammenhangs geschaffen werden, dass die gezielte Auslegung und Optimierung poröser Magnesiumbauteile für industrielle Anwendungen unterstützt.

#### REFERENCES

- [1] M. Mordike and T. Ebert, "Magnesium: Properties, applications, potential," *Mater. Sci. Eng. A*, vol. 302, pp. 37–45, 2001.
- [2] A. A. Luo, "Magnesium casting technology for structural applications," *J. Magnesium Alloys*, vol. 1, pp. 2–22, 2013.
- [3] M. B. Ismagilov et al., "Effect of porosity range and its nature on mechanical properties of Mg alloys," *Eurasian Chem.-Technol. J.*, vol. 18, pp. 67–71, 2016.
- [4] J. Campbell, *Complete Casting Handbook*, 2nd ed., Oxford: Elsevier, 2015.
- [5] Z. Li et al., "Characterization on the formation of porosity and tensile properties prediction in die-casting Mg alloys," *J. Magnesium Alloys*, vol. 10, pp. 1857–1867, 2022.
- [6] S. Buffière et al., "In situ X-ray tomography studies of damage mechanisms in materials," *Acta Mater.*, vol. 58, pp. 5129–5141, 2010.
- [7] X. Sun et al., "Predicting the influence of microporosity on the mechanical behavior of AM50 magnesium alloy," *Appl. Mech. Mater.*, vols. 670–671, pp. 90–94, 2014.
- [8] C. Kumar, "Finite element analysis for mechanical response of magnesium foams," *Mater. Today: Proc.*, vol. 4, pp. 3032–3039, 2017.
- [9] Y. Wang et al., "FEM-based damage modeling of AZ31 magnesium alloy," *Materials*, vol. 18, p. 90, 2025.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK

# Transformation regionaler Bildungsnetzwerke

## *WE-DU MINT als Modell für nachhaltige MINT-Kompetenzentwicklung im Ruhrgebiet*

*Transformation of regional education networks*

*WE-DU MINT as a model for sustainable STEM skills development in the Ruhr region*

Hohoff, Christoph<sup>\*</sup>, Krumme, Anja<sup>†</sup>

<sup>\*</sup>iaim Institute of Automation & Industrial Management, FOM Hochschule für Oekonomie & Management gGmbH Essen, Deutschland, christoph.hohoff@fom.de <sup>†</sup>iaim Institute of Automation & Industrial Management, FOM Hochschule für Oekonomie & Management gGmbH Essen, Deutschland, anja.krumme@fom.de

**Zusammenfassung** — Das Ruhrgebiet befindet sich in einem tiefgreifenden strukturellen Wandel, in dem Bildung und MINT-Kompetenzen als Schlüsselressourcen gelten. Das Projekt WE-DU MINT untersucht, wie regionale Bildungsnetzwerke als Communities of Practice gestaltet werden können, um Lernprozesse, Motivation und Teilhabe nachhaltig zu fördern. Der Beitrag stellt theoretische Grundlagen, methodisches Vorgehen und empirische Ergebnisse eines dreijährigen transdisziplinären explorativen Verbundprojekts vor. Auf Basis der Projektergebnisse wird gezeigt, dass Netzwerke dann besonders wirksam sind, wenn sie auf gemeinsamer Praxis, geteilter Verantwortung und reflexiver Evaluation beruhen. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass partizipativ aufgebaute Bildungsnetzwerke zu erhöhtem Interesse, verbesserten Kompetenzen und nachhaltiger regionaler Lernkultur führen.

**Abstract** — The Ruhr region is undergoing profound structural transformation, in which education and STEM competencies are key resources for regional innovation. The WE-DU MINT project examines how regional educational networks can be organized as Communities of Practice to sustainably foster learning processes, motivation, and participation. This paper presents theoretical foundations, methodological approaches, and empirical results from a three-year transdisciplinary research project. Based on the Project results, findings demonstrate that networks are most effective when built on shared practices, collective responsibility, and reflective evaluation. Results highlight that participatory educational networks contribute to increased interest in STEM, enhanced competencies, and a sustainable regional learning culture.

### I. EINLEITUNG

Die Förderung naturwissenschaftlich-technischer Kompetenzen ist eine zentrale Voraussetzung für die Innovationsfähigkeit moderner Wissensgesellschaften. Im Ruhrgebiet, einer Region im tiefgreifenden sozioökonomischen Wandel, stehen Bildungsinstitutionen vor der Aufgabe, Lernprozesse zu gestalten, die sowohl individuelle Kompetenzen stärken als auch gesellschaftliche Kohäsion fördern. Das Verbundprojekt WE-DU MINT (2022–2025) greift diese Herausforderung auf, indem es Strukturen regionaler Zusammenarbeit in der MINT-Bildung systematisch analysiert und praktisch erprobt. Ausgangspunkt ist die Annahme, dass Lernen nicht isoliert, sondern in sozialen Kontexten erfolgt – in sogenannten Communities of Practice (Lave & Wenger, 1991), die durch gemeinsame Ziele, Sprache und geteilte Praktiken gekennzeichnet sind. Das Projekt untersucht, wie solche Communities im Bildungssystem im Kontext von außerschulischen Bildungsangeboten für Jugendliche entstehen, wie sie erhalten werden und welchen Beitrag sie zur Förderung dieser Zielgruppe leisten können. Darüber hinaus adressiert WE-DU MINT die Frage, wie Netzwerke strukturell verankert werden können, um langfristig Bildungsinnovationen zu sichern und zu verbreiten.

qualitativ hochwertigen Lernangeboten ungleich verteilt. Mädchen und Jugendliche mit Migrationshintergrund oder aus bildungsfernen Haushalten sind unterrepräsentiert in freiwilligen MINT-Aktivitäten. Darüber hinaus fehlt es an dauerhaften Kooperationen zwischen Schule, Hochschule, Unternehmen und Zivilgesellschaft, sodass Lernprozesse häufig fragmentiert bleiben. Diese Defizite führen zu einer doppelten Herausforderung: Zum einen sinkt die gesellschaftliche Durchlässigkeit, zum anderen gehen wertvolle Fachkräftepotenziale verloren.

Die bisherigen MINT-Förderstrategien zeigen, dass punktuelle Interventionen – etwa Wettbewerbe oder Aktionswochen – allein keine nachhaltige Wirkung entfalten. Dauerhafte Veränderungen entstehen nur, wenn Lernorte vernetzt werden und gemeinsame Handlungslogiken entwickeln. Hier setzt das Konzept der Communities of Practice an: Es beschreibt, wie durch wiederholte Interaktion, gemeinsame Reflexion und kollektive Wissensproduktion Lern- und Entwicklungsprozesse auf organisationaler Ebene stabilisiert werden. Im Kontext von WE-DU MINT wird dieser Ansatz genutzt, um eine dauerhafte Lernkultur zwischen Bildungsakteurinnen und -akteuren aufzubauen, die auf Vertrauen, Kooperation und gemeinsamer Praxis basiert.

### II. PROBLEMBESCHREIBUNG

Trotz zahlreicher Programme bleibt die MINT-Bildung in Deutschland durch soziale Selektivität und geschlechtsspezifische Disparitäten gekennzeichnet. Insbesondere in sozioökonomisch heterogenen Regionen wie dem Ruhrgebiet sind Zugänge zu

### III. VORGEHENSWEISE

Das Projekt WE-DU MINT wurde als transdisziplinärer Verbund unter der Leitung des zdi-Zentrum DU.MINT

Duisburg, Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Fakultät für Physik an der Universität Duisburg -Essen, in Kooperation mit der FOM Hochschule, der Stadt Duisburg und DUisentrieb – Offene Werkstatt e. V. durchgeführt. Die Entwicklungsarbeit verfolgte das Ziel, Netzwerke der MINT-Bildung zu strukturieren, zu stärken und zu evaluieren. Methodisch basierte das Projekt auf drei komplementären Ebenen: (1) Netzwerkanalyse und Akteursmapping, (2) Entwicklung und Implementierung von zielgruppenadäquaten Bildungsformaten in der außerschulischen Bildung, (3) Reflexion und Analyse.

*A. Netzwerkanalyse und Akteursmapping* Zu Projektbeginn wurden bestehende MINT-Angebote in Essen und Duisburg analysiert. Darauf aufbauend wurde ein gemeinsames Netzwerk mit mehr als 40 Partnerinstitutionen gebildet, darunter Schulen, Hochschulen, Unternehmen, Vereine, Kammern und Kommunalverwaltungen. Diese Akteurinnen und Akteure wurden in thematischen Arbeitsgruppen entsprechend der Bildungsformate zusammengeführt, die sich im Kontext der Chancengerechtigkeit sowie MINT-Nachwuchsförderung etwa mit ‚Diversität in der MINT-Bildung‘ oder ‚Digitalisierung in Lernräumen‘ befassten. Die Steuerung erfolgte über ein Governance-Modell mit regelmäßigem Monitoring, wodurch Rückkopplung und Lernprozesse zwischen Praxis und Forschung gesichert wurden.

#### *B. Zielgruppenadäquate Bildungsformate in der außerschulischen Bildung*

Im Mittelpunkt der operativen Arbeit standen vier Formate: MINT-ontour, MINT-summer, MINT-inside und MINT-digital. Sie verknüpften erfahrungsbasiertes Lernen, Berufsorientierung und Reflexion. Die Formate wurden partizipativ mit den Stakeholdern (Lehrkräften, Fachkräften, pädagogischem Fachpersonal) der Partnerorganisationen entwickelt. Unter Rückgriff auf den Ansatz der Communities of Practice wurden Lernende und Lehrende als Mitglieder gemeinsamer Wissensgemeinschaften betrachtet, in denen Erfahrungsaustausch, geteilte Sprache und gemeinsame Problemlösungen den Lernprozess strukturieren. Dadurch entstand ein Modell, das auf zielgruppenadäquatem Lernen basiert und zugleich geschlechtergerechte sowie sozial inklusive Zugänge ermöglicht.

#### *C. Reflexion und Analyse*

Die Reflexion und Analyse kombinierte niederschwellige quantitative und qualitative Methoden, die in einem Evaluationskonzept erfasst wurden. Die Reflexion und Analyse basierten auf informellen, qualitativen Methoden, die im Verlauf des Projekts kontinuierlich angewandt wurden. Rückmeldungen zur Reichweite, Motivation und Zufriedenheit durch Gespräche und freiwillige Rückmeldungen der Teilnehmenden sowie ihrer Betreuenden wurden stetig gesammelt. Ergänzend fanden Interviews mit Lehrkräften, Kindern und Jugendlichen sowie Partnerorganisationen statt. Die Auswertung der gesammelten Daten wurde durch qualitative Fallanalysen vertieft.

### IV. ERGEBNISSE & SCHLUSSFOLGERUNGEN

Die Reflexion und Analyse zeigen deutliche Wirkungen auf mehreren Ebenen. Auf Teilnehmendenebene erreichten die Formate insgesamt über 2.500 Kinder und Jugendliche im Alter von 10 bis 16 Jahren, davon 55 % Mädchen. Die Zufriedenheit mit den Angeboten lag bei durchschnittlich 92 %. Die digitalen

Lernangebote erzielten über 10.000 Abrufe und trugen wesentlich zur Sichtbarkeit der Initiative bei.

Qualitativ zeigen die Interviews, dass WE-DU MINT Lernprozesse angestoßen hat, die nicht primär auf Fachwissen ausgerichtet sind, sondern die Entwicklung von Schlüsselkompetenzen wie Eigenverantwortung, Zusammenarbeit und kritischem Denken in den Mittelpunkt stellen. Im Sinne der Communities-of-Practice-Theorie entwickelten sich lokale Wissensgemeinschaften, in denen Lehrkräfte, Schülerinnen und Schüler sowie externe Partnerinnen und Partner gemeinsam experimentierten und reflektierten. Dies führte zu erhöhter Selbstwirksamkeit, gesteigerter intrinsischer Motivation und einer stärkeren Identifikation mit MINT-Themen. Auf organisationaler Ebene entstand ein verstetigtes Netzwerk, das Kooperation, Vertrauen und kollektives Lernen institutionalisiert.

Die Netzwerk- und Inhaltsanalysen zeigen eine wachsende Dichte und Zentralität innerhalb des Akteursnetzwerks, insbesondere bei Bildungseinrichtungen und gemeinnützigen Organisationen. Somit lässt sich empirisch nachweisen, dass kooperative Lernumgebungen, die auf geteilten Praktiken beruhen, nachhaltiger wirken als isolierte Maßnahmen.

### V. SCHLUSSFOLGERUNG

WE-DU MINT belegt, dass regionale Bildungsnetzwerke als Communities of Practice wesentlich zur MINT-Kompetenzentwicklung beitragen. Erfolgsentscheidend sind drei Faktoren: (1) die gemeinsame Praxis, die über einzelne Institutionen hinausgeht, (2) die reflektierte Kooperation zwischen Forschung, Bildung und Praxis, (3) die langfristige institutionelle Verankerung. Das Projekt zeigt, dass Lernkulturen dort besonders tragfähig sind, wo sie auf Vertrauen, Offenheit und gemeinsamer Reflexion beruhen. Für zukünftige Forschung eröffnet sich die Frage, wie diese kooperativen Strukturen skalierbar sind und welche Governance-Modelle nachhaltige Bildungslandschaften absichern können.

Insgesamt liefert WE-DU MINT einen fundierten Beitrag zur Bildungsforschung, indem es die Rolle sozialer Netzwerke für Lernen und Professionalisierung sichtbar macht. Es verdeutlicht, dass Communities of Practice nicht nur ein theoretisches Konzept, sondern ein praxisrelevantes Instrument sind, um regionale Lernkulturen zu gestalten und Transformation aktiv zu begleiten.

### VI. REFERENZEN

- [1] J. Lave and E. Wenger, "Situated Learning: Legitimate Peripheral Participation", Cambridge: Cambridge University Press, 1991.
- [2] European Commission, "A New ERA for Research and Innovation", Brussels: European Union, 2021.
- [3] OECD, "The Future of Education and Skills 2030: OECD Learning Compass", Paris: OECD Publishing, 2019.
- [4] N. Kolleck, "Soziale Netzwerke in der Bildungsforschung: Akteursnetzwerke und Governance in Bildungslandschaften," Zeitschrift für Pädagogik, vol. 62, no. 5, pp. 627–647, 2016.
- [5] M. Rürup and M. Becker, "Bildungslandschaften als GovernanceArrangements," Zeitschrift für Erziehungswissenschaft, vol. 23, no. 4, pp. 843–861, 2020.
- [6] A. Schäfer and T. Rauschenbach, „Kooperation in Bildungslandschaften: Potenziale, Grenzen, Perspektiven“, Weinheim: Beltz Juventa, 2015. [7] S. Reh and H.-E. Tenorth, "Bildung und Sozialraum im Wandel: Transformationen im Ruhrgebiet," Zeitschrift für Pädagogik, vol. 64, no. 2, pp. 223–240, 2018.

# Assessing Forest Conservation Effectiveness of Natura 2000 Zones in Bulgaria, Including Vitosha and Vrachanski Balkan Nature Parks: A Remote Sensing and GIS Approach

## Bewertung der Waldschutzwirksamkeit von Natura-2000-Zonen in Bulgarien, einschließlich der Naturparks Vitosha und Vrachanski Balkan: Ein Fernerkundungs- und GIS-Ansatz

Eleonora Mitkova

School of Social Sciences, Birkbeck University,

Malet Street, London, WC1E 7HX, United Kingdom, e.mitkova.gis@gmail.com

**Abstract** - This study evaluates the effectiveness of Natura 2000 forest-protected areas in Bulgaria by analysing long-term forest-cover dynamics in Vitosha and Vrachanski Balkan Nature Parks compared with adjacent non-protected territories. Using Landsat (1986, 2003, 2006) and Sentinel-2 (2023) satellite imagery processed through object-based classification, NDVI analysis, and change-detection techniques, the research quantifies forest loss and recovery over nearly four decades. Spatial integration of road networks and buffer zones further assesses how accessibility influences forest dynamics. Results show a substantial national increase in forest cover, with protected areas demonstrating consistently stronger gains than non-protected zones. Vitosha and Vrachanski Balkan exhibit the highest levels of forest expansion, while non-protected areas recover more slowly due to agricultural and urban pressures. Unexpected forest gains near roads highlight complex socio-ecological interactions and potential management interventions. The study underscores the value of remote sensing for conservation assessment and recommends integrating higher-resolution optical and radar data to refine future evaluations.

**Zusammenfassung** – Diese Studie bewertet die Wirksamkeit der Natura-2000-Waldschutzgebiete in Bulgarien, indem langfristige Veränderungen der Waldbedeckung in den Naturparks Witoscha und Vrachanski Balkan mit angrenzenden, nicht geschützten Gebieten verglichen werden. Unter Verwendung von Landsat (1986, 2003, 2006) und Sentinel-2 (2023) Satellitenbildern, verarbeitet mittels objektbasierter Klassifikation, NDVI-Analyse und ChangeDetection-Methoden, quantifiziert die Untersuchung den Waldverlust und -zuwachs über fast vier Jahrzehnte. Die räumliche Integration von Straßennetzen und Pufferzonen ermöglicht zudem eine Bewertung des Einflusses von Zugänglichkeit auf Waldveränderungen. Die Ergebnisse zeigen einen deutlichen nationalen Anstieg der Waldflächen, wobei Schutzgebiete konsistent stärkere Zuwächse verzeichnen als nicht geschützte Zonen. Witoscha und Vrachanski Balkan weisen die höchsten Expansionsraten auf, während nicht geschützte Gebiete aufgrund landwirtschaftlicher und urbaner Nutzung langsamer regenerieren. Unerwartete Waldzuwächse in Straßennähe deuten auf komplexe sozioökologische Wechselwirkungen und auf mögliche Managementmaßnahmen hin. Die Studie unterstreicht den Wert der Fernerkundung für Naturschutzbewertungen und empfiehlt den Einsatz höher aufgelöster optischer und Radar-Daten für zukünftige Analysen.

### INTRODUCTION

Deforestation poses a critical threat to global biodiversity, climate stability, and ecosystem services [16, 23]. Anthropogenic activities such as agricultural expansion, logging, and urban development have led to significant loss of forest cover, with deforestation rates exceeding 120 km<sup>2</sup> annually over recent decades [2, 15, 23]. While reforestation and natural regrowth provide some mitigation, they account for only a small fraction of deforestation. Understanding the complex interplay between human activities and environmental changes is essential for developing effective conservation strategies.

Protected areas (PAs) are pivotal in the global effort to conserve biodiversity and mitigate deforestation [6, 23]. They are designed to safeguard a significant proportion of the landscapes and species while providing ecological and socioeconomic

benefits, including tourism and climate change mitigation [4]. However, the effectiveness of PAs in preventing deforestation and managing forest cover remains a subject of ongoing research and debate [18, 21].

The Natura 2000 network is the largest coordinated network of PAs in the world, covering Europe's most threatened species and habitats (both on land and at sea) across all EU Member States [20, 31]. Despite their designation, PAs face ongoing threats from external pressures such as road networks, which facilitate human activities like logging and tourism that can contribute to deforestation [4, 8, 17]. Understanding the effectiveness of these protected areas in mitigating deforestation is crucial for assessing and improving conservation strategies.

This research assesses the effectiveness of Natura 2000 zones in Bulgaria in mitigating deforestation relative to

nonprotected areas (non-PAs). It examines the role of road proximity in changes in forest cover.

The focus will be on areas of the Natura 2000 network that cover the Vitosha and Vrachanski Balkan Nature Parks and the adjacent network zones. These areas are crucial to the conservation of Europe’s threatened flora and fauna and are mandated by the EU’s Habitats and Birds Directive [14]. By utilising remotely sensed data from 1986, 2003, 2006, and 2023 and GIS techniques, this research provides a novel approach to understanding the role of PA in forest conservation.

The findings will provide valuable insights to enhance forest conservation strategies and inform future policies. This study contributes to understanding how PAs mitigate deforestation and the role of accessibility in forest degradation. By comparing changes in forest cover between protected and non-PAs, the study provides valuable insights into the effectiveness of the Natura 2000 network. The findings will inform forest management practices and conservation strategies, supporting efforts to enhance the resilience and sustainability of forest ecosystems in Bulgaria.

### STUDY AREA (SA)

The study area has been selected to cover both the Vitosha and Vrachanski Balkan Nature Parks. After defining the SA boundaries, it was decided to include the Natura 2000 zones around both parks as well. SA covers 4760 km<sup>2</sup> of land, of which 1541 km<sup>2</sup> is under the Natura 2000 protection, where Vitosha Nature Park covers 271 km<sup>2</sup>, and Vrachanski Balkan Nature Park covers 292 km<sup>2</sup> of it. Non-PA covers 3,218 km<sup>2</sup> of land within SA [1, 7, 17, 23].

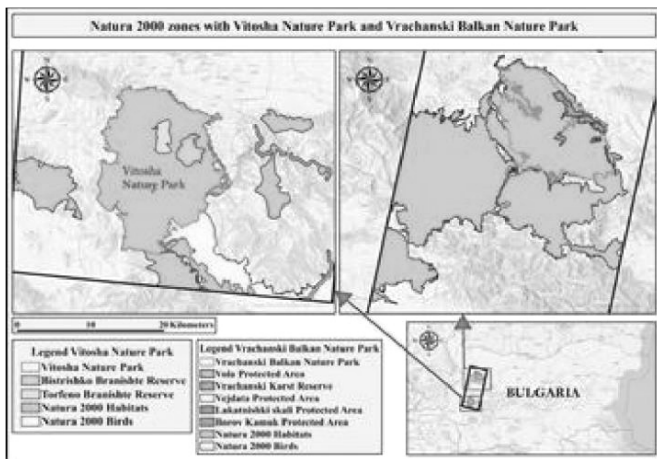


Figure 1. Map showing the Natura 2000 network areas, including nature parks, covered in the analysis.

### METHODS

To ensure the methodological robustness and reliability of the spatial analyses, particular emphasis was placed on the careful selection, verification and harmonisation of all geospatial datasets used in this study. The analytical framework integrates multiple complementary data sources, including the official administrative boundaries of Vitosha and Vrachanski

Balkan Nature Parks, the delineations of the corresponding Natura 2000 sites, detailed road-network datasets, multispectral satellite imagery from Sentinel-2 MSI and Landsat 4 TM, as well as a digital elevation model (DEM) employed to account for topographic variability and its potential influence on classification accuracy.

The satellite imagery was selected based on strict criteria regarding temporal availability, cloud-cover thresholds (no more than 30%), and seasonal consistency. Priority was given to scenes acquired during the autumn period, when phenological differences between forest and non-forest classes are most pronounced, thereby improving the reliability of spectral separation and subsequent classification [9, 10, 11, 19, 20]. All datasets underwent preprocessing steps to ensure spatial alignment, radiometric consistency, and compatibility across sensors and time periods.

For long-term comparative analysis, the data were organised into two distinct temporal intervals: 1986–2003 and 2006–2023. This division reflects both the earliest reliably available Landsat imagery and the most recent high-resolution Sentinel-2 datasets, enabling a comprehensive assessment of forest-cover dynamics over nearly four decades. The temporal segmentation also allows for the evaluation of landscape changes occurring before and after the establishment and expansion of the Natura 2000 network in Bulgaria. Structuring the dataset in this manner provides a coherent historical and policy-relevant context, strengthening the interpretability of observed spatial patterns and enhancing the overall validity of the conservation effectiveness assessment.

### RESULTS

#### A. Forest Area

Table 1 synthesises the temporal dynamics of forest cover across the entire study area (SA), protected areas (PAs), and non-protected areas (Non-PAs), revealing a clear long-term trajectory of forest expansion. In 1986, the SA contained 1,512 km<sup>2</sup> of forest, whereas by 2023 this value had increased to 2,280 km<sup>2</sup>. This substantial growth—representing an overall increase of more than 750 km<sup>2</sup>—indicates a sustained trend of forest recovery that aligns with broader regional patterns of land abandonment, natural regeneration, and targeted afforestation initiatives observed in parts of Eastern Europe following socio-economic transitions.

Within PAs, forest cover also exhibited a consistent upward trend. Forest area increased from 700 km<sup>2</sup> in 1986 to 959 km<sup>2</sup> in 2023, demonstrating that protected status has helped maintain and enhance forest ecosystems. Both the two Nature Parks and the surrounding Natura 2000 zones show positive dynamics, yet the most pronounced gains occurred in the Natura 2000 areas outside the parks, which expanded from 384 km<sup>2</sup> to 567 km<sup>2</sup>. This pattern suggests that the Natura 2000 network—despite its relatively flexible regulatory framework—plays a meaningful role in stabilising land use and reducing pressures associated with deforestation. The observed gains may reflect the effectiveness of EU-level conservation policies, including restrictions on land conversion, incentives for sustainable forest management, and increased monitoring obligations.

Non-protected areas also experienced substantial forest expansion, with forest cover rising from 812 km<sup>2</sup> in 1986 to

1,321 km<sup>2</sup> in 2023. Although these areas lack formal conservation designation, the magnitude of forest gain indicates that broader socio-ecological processes are at play. These may include rural depopulation, decline in intensive agriculture, spontaneous succession on abandoned lands, and local afforestation programmes. The fact that Non-PAs show gains comparable to, and in some cases exceeding, those in PAs highlights the importance of considering landscape-scale drivers rather than attributing forest recovery solely to protected-area policies.

Taken together, these results underscore the complex interplay among conservation policy, socioeconomic change, and natural ecosystem dynamics. The expansion of forest cover within PAs supports the argument that protected areas contribute to long-term ecological stability. However, the substantial gains in Non-PAs reveal that forest recovery is not exclusively policy-driven but also shaped by broader land-use transitions. This duality highlights the need for integrated conservation strategies that extend beyond protected-area boundaries and incorporate regional land-use planning, rural development policies, and incentives for sustainable forest management.

experienced significant forest gains. This finding challenges the assumption that proximity to roads always leads to deforestation, suggesting that afforestation efforts or land management policies may influence outcomes in these areas [3, 13, 15].

Further investigation is required to interpret better the underlying processes shaping these patterns. Remote sensing (RS) and GIS-based approaches demonstrated strong capability for detecting and evaluating large-scale land-cover transformations across temporal scales [10, 11, 5, 22].

Despite these strengths, certain constraints were identified, particularly regarding spatial resolution and classification reliability. These limitations highlight the importance of field validation and more frequent image acquisition to capture short-term vegetation dynamics better. Future research should examine in greater depth the interaction between transportation infrastructure and vegetation change, especially in non-protected areas where unanticipated afforestation trends emerged. The incorporation of higher-resolution imagery alongside systematic field observations would enhance analytical precision and support more evidence-based conservation planning and land management strategies.

Table 1: Area of Forest Land for Each Year within whole SA, PAs and NonPAs only.

Year	Whole SA		PAs					Non-PAs	
	Forest area in km <sup>2</sup>	Forest Gain	Total Forest Area	Total Forest Gain	Vitosha Nature Park	Vrachanski Nature Park	The rest of Natura 2000 zones	Forest Area	Forest Gain
1986	1,512 km <sup>2</sup>	363 km <sup>2</sup>	700 km <sup>2</sup>	107 km <sup>2</sup>	165 km <sup>2</sup>	151 km <sup>2</sup>	384 km <sup>2</sup>	812 km <sup>2</sup>	256 km <sup>2</sup>
2003	1,875 km <sup>2</sup>	149 km <sup>2</sup>	807 km <sup>2</sup>	43 km <sup>2</sup>	176 km <sup>2</sup>	160 km <sup>2</sup>	471 km <sup>2</sup>	1,068 km <sup>2</sup>	106 km <sup>2</sup>
2006	2,024 km <sup>2</sup>	256 km <sup>2</sup>	850 km <sup>2</sup>	109 km <sup>2</sup>	174 km <sup>2</sup>	180 km <sup>2</sup>	496 km <sup>2</sup>	1,174 km <sup>2</sup>	147 km <sup>2</sup>
2023	2280 km <sup>2</sup>		959 km <sup>2</sup>		194 km <sup>2</sup>	198 km <sup>2</sup>	567 km <sup>2</sup>	1321 km <sup>2</sup>	

## DISCUSSION

This study evaluated changes in forest cover in Bulgaria over time, focusing on the effectiveness of Natura 2000 Protected Areas (PAs) compared with Non-Protected Areas (Non-PAs), with attention to road network buffer zones. Using remote sensing (RS) data from 1986, 2003, 2006, and 2023, combined with GIS methodologies, distinct patterns of forest dynamics and land development were analysed. The results provide valuable insights into the role of conservation initiatives and infrastructural pressures on forest ecosystems in Bulgaria.

Natura 2000 PAs have been effective in preserving and increasing forest cover, particularly in Vitosha and Vrachanski Balkan Nature Parks [12, 18, 21]. These areas exhibited the highest net forest gain, supporting the hypothesis that PAs provide critical protection against deforestation and promote reforestation. Non-protected areas experienced a slower rate of forest recovery, especially between 2006 and 2023, likely due to increased pressures from agriculture, urban expansion, and infrastructure development.

Findings reflect regional trends in Eastern Europe, where socio-economic changes continue to drive land-use change, particularly in unprotected landscapes [12]. Contrary to expectations and previous studies, road buffer zones in non-PAs

In summary, this research advances understanding of how Natura 2000 sites and adjacent non-protected landscapes in Bulgaria respond to anthropogenic pressures, with particular

attention to transport corridors. The results reinforce the role of protected designations in reducing land-cover loss while emphasising the necessity of sustained monitoring and adaptive governance, especially within sensitive buffer zones. Addressing these issues will be essential for maintaining the resilience of Bulgaria's forest ecosystems amid ongoing socioeconomic expansion.

## ACKNOWLEDGMENT

Firstly, I would like to express my sincere gratitude to my supervisor, Dr Nigel Trodd, whose guidance, support, and encouragement have been invaluable throughout the completion of this project. This work would not have been the same without his expertise and insights. I am also deeply grateful to my family for their support and belief in me, especially during the most challenging moments of this journey.

## REFERENCES

- [1] Alexova, D. and Gyurova, D. (2011) Vegetation and flora of Vitosha Nature Park - Opportunities for development of botanical tourism. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/318116657\\_Vegetation\\_and\\_flora\\_of\\_Vitosha\\_Nature\\_Park\\_-\\_Opportunities\\_for\\_development\\_of\\_botanical\\_tourism](https://www.researchgate.net/publication/318116657_Vegetation_and_flora_of_Vitosha_Nature_Park_-_Opportunities_for_development_of_botanical_tourism) (Accessed: 13 April 2024).
- [2] Angel, S. et al. (2011) 'The dimensions of global urban expansion: Estimates and projections for all countries, 2000–2050', *Progress in Planning*, 75(2), pp. 53–107. doi:10.1016/j.progress.2011.04.001.
- [3] Barber, C.P. et al. (2014) 'Roads, deforestation, and the mitigating effect of protected areas in the Amazon' *Biological Conservation* 177, 203–209. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2014.07.004>
- [4] Cabral, A.I.R. et al. (2018) 'Deforestation pattern dynamics in protected areas of the Brazilian Legal Amazon using remote sensing data' *Applied Geography* 100, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.10.003>
- [5] Directorate of Nature Park 'Vrachanski Balkan' (2024) General information about the park. Available at: <https://www.vrbalkan.net/bg/obshta-informatsiya-za-parka/> (Accessed: 14 April 2024).
- [6] Edelin J. M. et al. (2020) 'Roads, deforestation and the mitigating effect of the Chico Mendes extractive reserve in the southwestern Amazon', *Trees, Forests and People*, 3. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.tfp.2020.100056>
- [7] Estel, S. et al. (2015) 'Mapping farmland abandonment and recultivation across Europe using Modis Ndvi Time series', *Remote Sensing of Environment*, 163, pp. 312–325. doi:10.1016/j.rse.2015.03.028.
- Franklin, J., Woodcock, C.E., & Warbington, R. (2000) 'Multi-Attribute Vegetation Maps of Forest Service Lands in California Supporting Resource Management Decisions', *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 66, 1209-1217.
- [8] Hansen, M.C., Potapov, P.V. and Stehman, S.V. (2010) Quantification of global gross forest cover loss | *Proceedings of the National Academy of Sciences*. Available at: <https://pnas.org/doi/10.1073/pnas.0912668107> (Accessed: 09 May 2024).
- [9] Hansen, M.C. et al. (2013) 'High-resolution global maps of 21st century forest cover change', *Science*, 342(6160), pp. 850–853. doi:10.1126/science.1244693.
- [10] Laurance, W.F. et al. (2014) 'A global strategy for road building', *Nature*, 513(7517), pp. 229–232. doi:10.1038/nature13717.
- [11] Ministry of Environment and Water (2024) GENERAL INFORMATION ABOUT THE ECOLOGICAL NETWORK NATURA 2000. (Accessed: 14 April 2024).
- [12] Meyerson, F.A.B. (2004) Population growth and deforestation: A critical and complex relationship. PRB. Available at: <https://www.prb.org/resources/population-growth-and-deforestation-acritical-and-complex-relationship/> (Accessed: 20 March 2024).
- [13] Mittermeier, R.A. et al. (1998) 'Biodiversity Hotspots and major tropical wilderness areas: Approaches to setting conservation priorities', *Conservation Biology*, 12(3), pp. 516–520. doi:10.1046/j.1523-1739.1998.012003516.x.
- [14] Nature Park Vitosha: Global information (2024) Association of Parks in Bulgaria. Available at: <https://parks.bg/en/parks/vitosha/> (Accessed: 13 April 2024).
- [15] Nolte, C. et al. (2013) 'Governance regime and location influence avoided deforestation success of protected areas in the Brazilian Amazon', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 110(13), pp. 4956–4961. doi:10.1073/pnas.1214786110.
- [16] Polevshchikova, I. (2019) 'Disturbance analyses of forest cover dynamics using remote sensing and GIS', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 316(1), p. 012053. doi:10.1088/17551315/316/1/012053.
- [17] Redowan, M., Akter, S. and Islam, N. (2014) 'Analysis of forest cover change at Khadimnagar National Park, Sylhet, Bangladesh, using Landsat TM and GIS Data', *Journal of Forestry Research*, 25(2), pp. 393–400. doi:10.1007/s11676-014-0467-9.
- [18] Powlen, K.A., Gavin, M.C. and Jones, K.W. (2021) 'Management Effectiveness positively influences forest conservation outcomes in Protected Areas', *Biological Conservation*, 260, p. 109192. doi:10.1016/j.biocon.2021.109192.
- [19] Vanden Borre, J. et al. (2011) 'Integrating Remote Sensing in Natura 2000 habitat monitoring: Prospects on the way forward', *Journal for Nature Conservation*, 19(2), pp. 116–125. doi:10.1016/j.jnc.2010.07.003.
- [20] Seto, K.C., Güneralp, B. and Hutyrá, L.R. (2012) 'Global forecasts of urban expansion to 2030 and direct impacts on biodiversity and carbon pools', *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(40), pp. 16083–16088. doi:10.1073/pnas.1211658109.
- [21] Stoeva, L., Markov, I. and Zhiyanski, M. (2018). National Forestry Accounting Plan of Bulgaria, including Forest Reference Levels for the period 2021-2025. [22] Storch, D. et al. (2021) 'Biodiversity Dynamics in the anthropocene: How human activities change equilibria of species richness', *Ecography*, 2022(4). Doi: <https://doi.org/10.1111/ecog.05778> [23] Watson, J.E.M. et al. (2014) 'The performance and potential of protected areas' *Nature* 515, 67–73. <https://doi.org/10.1038/nature13947>

# Key competencies and emotional intelligence: Implications for engineering studies and management

## Die Schlüsselkompetenzen und die emotionale Intelligenz im Ingenieurstudium und Management.

Emilia Staneva

FDIBA, Technical University of Sofia  
Bulgaria, e-mail: emilia.staneva@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** - Modern professional life demands more than technical expertise. Key competencies and emotional intelligence are vital for success and personal growth. Emotional intelligence includes five core dimensions: self-awareness, empathy, relationship skills, motivation, and self-control. They are shaping communication, stress management, and teamwork. Research confirms that EQ can be trained and complements cognitive abilities. Key competencies such as methodological, social, and self-management skills enable effective application of knowledge in complex contexts. Universities must integrate these skills into curricula to prepare graduates for dynamic challenges. Combining technical knowledge with emotional resilience and transferable skills is essential for sustainable growth.

**Zusammenfassung** - Die moderne Arbeitswelt erfordert mehr als Fachwissen. Schlüsselkompetenzen und emotionale Intelligenz sind entscheidend für beruflichen Erfolg und persönliche Entwicklung. Emotionale Intelligenz umfasst fünf Kernbereiche – Selbstreflexion, Empathie, Beziehungsfähigkeit, Motivation und Selbstkontrolle. So beeinflussen sie die Kommunikation, Stressbewältigung und Teamarbeit. Studien zeigen, dass sie erlernbar ist und die kognitive Leistungsfähigkeit ergänzt. Schlüsselkompetenzen wie Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz ermöglichen die Anwendung von Wissen in komplexen Situationen. Hochschulen müssen diese Fähigkeiten integrativ fördern, um Studierende auf die dynamischen Anforderungen vorzubereiten. Die Verbindung von Fachwissen, emotionaler Stärke und überfachlichen Kompetenzen ist der Schlüssel für nachhaltigen Erfolg.

### I. INTRODUCTION

Die Herausforderung heutzutage ist nicht mehr das Erlangen von Fachwissen allein, sondern sein erfolgreiches Anwenden im Beruf und Alltag, sodass man von einem erfüllten Leben sprechen kann. Wie vielfach bewiesen sind dafür die erworbenen Schlüsselkompetenzen und die emotionale Intelligenz von entscheidender Bedeutung. Nur das Zusammenspiel dreier Faktoren: Fachwissen, Schlüsselkompetenzen und emotionale Intelligenz könnte ein nachhaltiges Wachstum im Beruf und Zukunftsentwicklung gewährleisten. Aus diesem Grund resultiert die absolute Notwendigkeit während der Ausbildung, spätestens im Studium, die Sozial-, Selbst- und Handlungskompetenzen zu erwerben und die emotionale Intelligenz zu entwickeln. Die emotionale Intelligenz kann als ein Aspekt der Schlüsselkompetenzen betrachtet werden. Sie selbst stützt auf „5 Säulen“ – Selbstwahrnehmung, soziale Achtsamkeit und Empathie, Beziehungsfähigkeit, Motivation und Selbstkontrolle. [7] Schlüsselkompetenzen sind wichtig, aber wie gehen wir mit Gefühlen und Stress um? Hier kommt die emotionale Intelligenz ins Spiel. Das World Economic Forum verortete 2020 emotionale Intelligenz in die Top 10 der wichtigsten Eigenschaften für ein erfolgreiches Arbeitsleben. Deshalb dürfen wir sie im Ingenieurstudium und in der Welt der

Technik überhaupt nicht vernachlässigen. Diesbezüglich folgt ein kurzes Einleuchten einiger Begriffe, wie Intelligenz, Schlüsselkompetenz, Intelligenzquotient und emotionale Intelligenz, Gefühl und Emotion.

### II. AUFSCHLÜSSELUNG DER WICHTIGSTEN BEGRIFFE

#### A. *Intelligenzquotient vs. Emotionale Intelligenz (IQ vs. EQ)*

Es herrscht kein eindeutiger Konsens darüber, was Intelligenz explizit bedeutet. Die Definitionen variieren stark: Der Psychologe Mike Anderson beschreibt Intelligenz als die Fähigkeit zum Denken, zum Lösen verschiedener Probleme, zum Planen, sowie etwa allgemein als „Besitz von Vernunft“ [1]. Laut Albert Einstein bedeutet Intelligenz Anpassungsfähigkeit [13]. American Psychological Association definiert Intelligenz als „die Fähigkeit, Informationen abzuleiten, aus Erfahrungen zu lernen, sich an die Umwelt anzupassen, zu verstehen und Gedanken sowie Vernunft korrekt zu nutzen.“ [12].

Obwohl die emotionale Intelligenz in den letzten Jahren an Bedeutung gewann, steht sie für die breite Öffentlichkeit nach wie vor im Schatten des Intelligenzquotienten. Im Unterschied zur EQ messen die IQ-Tests die kognitiven Fähigkeiten einer

Person, wie logisches Denken, Vokabular, Lern- und Erinnerungsvermögen, Visuell-räumliches Denkvermögen nach genormten Testkriterien. Der Fokus fällt auf den Verstand und die analytische Leistung. Die EQ-Tests messen dagegen die Fähigkeit, Emotionen wahrzunehmen, zu verstehen und zu steuern, sowohl die eigenen als auch die der anderen. Diese Fähigkeit weist sich als wichtig für eine gelungene Kommunikation, Teamarbeit, Stressbewältigung und Projektführung heraus. Daniel Goleman behauptet, dass nur 20% des Intelligenzquotienten den späteren Erfolg im Leben determinieren, wogegen er die restlichen 80% der emotionalen Intelligenz zuschreibt [4]. Im Unterschied zu den angeborenen kognitiven Fähigkeiten lässt sich emotionale Intelligenz trainieren und somit verbessern. Deshalb sollte ihr einen gehörigen Platz im Ingenieurstudium eingeräumt werden. Bevor man weiter über emotionale Intelligenz thematisiert, sollte man Emotionen von Gefühlen abgrenzen, denn häufig werden beide Begriffe bedeutungsgleich verwendet.

### B. Gefühl vs. Emotion

Anhand der Definitionen von Damasio und American Psychological Association lässt sich folgenden Vergleich ableiten [2] [12].

Aspekt	Gefühl	Emotion
Definition	Bewusste Wahrnehmung eines inneren Zustands	Komplexer psychophysiologischer Prozess mit kognitiven, körperlichen und Verhaltenskomponenten
Komponenten	Subjektive Empfindung	Bewertung, körperliche Reaktion, Ausdrucksverhalten, subjektives Gefühl
Dauer	Kurzfristig, situativ	Kann länger anhalten, da kognitiv verarbeitet wird.
Beispiel	Angst, Freude, Trauer, Überraschung, Ekel, Wut	Liebe, Glück, Verachtung, Nervosität

Laut Seibach sind Emotionen komplexe psychologische Zustände, die aus Gefühlen, kognitiven Prozessen (wie z.B. Erinnerung) und körperlichen Reaktionen (erhöhter Herzschlag, Lachen, Weinen usw.) bestehen. Emotionen benötigen "Input" aus der Umwelt, um die entsprechende Reaktion (den emotionalen Zustand) auszulösen [7].

### C. Emotionale Intelligenz (EI oder EQ)

Der Begriff wurde erstmals 1985 erwähnt und durch die Arbeiten von Mayer und Salovey sowie Daniel Golemans Bestseller (1995) populär geworden. Während der IQ kognitive Fähigkeiten misst, fokussiert die EI auf komplexere Kompetenzen, die für beruflichen und privaten Erfolg entscheidend sind. Studien zeigen, dass man die EI trainieren kann und eine Schlüsselrolle für die psychische Gesundheit und die zwischenmenschlichen Beziehungen spielt. Emotionen sind keine Gegenspieler des Verstandes, sondern ergänzen ihn. Neurowissenschaftler wie Dr. Antonio Damasio betonen, dass Emotionen für rationales Denken unverzichtbar sind. Das

Mangeln an Gefühlen und Emotionen könnte rationales Denken beeinträchtigen [2]. Das limbische System und der präfrontale Cortex arbeiten eng zusammen: Jede Information durchläuft emotionale Zentren, bevor sie rational verarbeitet wird. Emotionale Intelligenz bedeutet, Gefühle und rationales Denken zu verbinden, Impulse zu kontrollieren und soziale Kompetenzen zu entwickeln. Emotional intelligente Menschen kennen ihre eigenen Emotionen, erkennen die Gefühle anderer, reagieren angemessen, kommunizieren konstruktiv und übernehmen Verantwortung. Mangelnde emotionale Intelligenz führt zu Konflikten, Missverständnissen und Stress. Emotional intelligente Menschen unterdrücken nicht, sondern setzen sich aktiv mit dem eigenen Innenleben auseinander und übernehmen dadurch Kontrolle und Verantwortung. EQ beeinflusst, wie wir Beziehungen gestalten, Stress bewältigen und Entscheidungen treffen. Statt Verstand und Emotion entgegenzustellen, deuten Studien darauf, dass sich emotionale Intelligenz positiv auf den Intellekt auswirkt. Beispiele aus der Praxis beweisen das. In der Wirtschaft, Marketing und Management bringt eine emotional intelligente

Teamleitung durch Kommunikationsfähigkeiten, Selbstregulierung und Empathie die Projekte zum Erfolg, ohne alle Beteiligten übermäßig anzustrengen. Die Ziele werden ohne Stress erreicht. Mechatroniker und IT-Spezialisten können erfolgreich ihre Programmierprojekte durch abgestimmte Teamarbeit, Zeitmanagement und Lernfähigkeit, nicht an negativen Gefühlen festzuhalten, reibungslos abschließen.

Der Professor für Biologie und Mathematik Martin Nowak aus der Harvard University unternahm ein interessantes Experiment. Mit seinem Team wollte er die „goldene Regel“ – verhalte dich so, wie du selbst auch behandelt werden willst – in die mathematische Sprache der Formel übersetzen. Ausgangspunkt für die Wissenschaftler war das Modell der Reziprozität. Sie entwickelten mehrere Computermodelle, die bestätigten, dass bei spontanen freundlichen Gesten ohne reziproke Erwartung, das Prinzip sich für zukünftige soziale Begegnungen bewährte. D.h. die Wahrscheinlichkeit, gutes zurückzubekommen, steigt nachweislich, wenn man selbst Gutes tut [5].

Emotionale Intelligenz am Arbeitsplatz wird immer mehr gefragt. Wie kann man den Kopf für das Meeting freibekommen, oder mit anstrengenden Kollegen und Vorgesetzten umgehen, ohne die Nerven zu verlieren, wenn man selbst z.B. private Sorgen hat? Richtiges Atmen kann Gefühlsausbrüche vermeiden, geduldig ausreden lassen und dadurch Zeit zum Überdenken gewinnen. Empathie zeigen und reflektieren darüber, was negative Gefühle in Ihnen ausgelöst haben, diese zu hinterfragen. Diese praxisnahen Schritte würden den Alltag am Arbeitsplatz erleichtern und produktiv gestalten. In der Literatur wird emotionale Intelligenz als ein Bund aus fünf Kernkompetenzen dargestellt [7].:

1) *Selbstreflexion* stellt die Fähigkeit dar, eigene Gedanken und Gefühle kritisch zu betrachten, Fehler einzugestehen und Ursachen für Emotionen zu erkennen. Sie verhindert impulsives Handeln und fördert bewusstes Verhalten. Die Kritikfähigkeit erlaubt nach den Ursachen der eigenen Emotionen und Gefühle zu suchen und keine Angst davor zu haben, die eigene Komfortzone zu verlassen, um sich auf andere Perspektiven einzulassen.

2) *Empathie und soziale Achtsamkeit* – Unter Empathie versteht man das Mitgefühl für andere Menschen, das zentral für die emotionale Intelligenz ist. Empathie ist zum Teil angeboren, muss aber auch durch Erziehung und soziale Erfahrung gefördert werden. Studien zeigen kulturelle Unterschiede in der Ausprägung von Empathie. Arthur Schopenhauer bezeichnet das Mit-Leiden als den Weg zu einer gerechteren Gesellschaft, durch den sich auch das eigene Ego überwinden lässt. Mit ziemlicher Sicherheit kann man sagen, dass ein empathischer Mensch auch keine hohe emotionale Intelligenz besitzt.

3) *Beziehungsfähigkeit* umfasst jeden Bereich der zwischenmenschlichen Beziehungen – von Freundschaften bis zur Teamarbeit. Bindungsängste oder Konfliktvermeidung sind oft Anzeichen von Angst vor Verletzungen oder von Mangel an Motivation, sich mit den eigenen Problemen sowie denen unserer Mitmenschen auseinanderzusetzen. Das Gleichgewicht bei Herausforderungen zu bewahren, ist ein Zeichen von emotionaler Intelligenz.

4) *Selbstorganisation und Motivation* bezeichnet die innere Antriebskraft, Ziele in die Wirklichkeit umzusetzen und Rückschläge zu überwinden, also zu planen und erfolgreich zu Ende zu bringen. Eine emotional intelligente Person besitzt intrinsische Neugier, die unabhängig von externen Anreizen existiert. Das Erleben, die Erfahrung und das Wissen stellen den eigentlichen Antrieb der Selbstmotivation für solche Personen dar.

5) *Selbstkontrolle* - Fähigkeit, Impulse und Emotionen zu regulieren. Sie ist entscheidend für Stressbewältigung und Konfliktmanagement. Selbstkontrolle bedeutet nicht Unterdrückung, sondern bewusstes Handeln nach einer kurzen Pause. Chronischer Stress schädigt Körper und Geist, beeinträchtigt die Amygdala und den präfrontalen Cortex und führt zu Kontrollverlust. EQ hilft, Stressresistenz aufzubauen, indem Selbstkontrolle und Bewältigungsstrategien gestärkt werden. Neuroplastizität ermöglicht es, durch Training neue neuronale Verbindungen zu schaffen und emotionale Reaktionen besser zu steuern.

Emotionale Intelligenz ist kein Luxus, sondern eine Schlüsselkompetenz für ein erfülltes Leben. Sie verbindet Emotion und Vernunft, stärkt soziale Beziehungen und schützt vor psychischen Belastungen. Ihre Entwicklung ist ein lebenslanger Prozess, der Achtsamkeit, Übung und Offenheit erfordert. Wer seine EQ-Fähigkeiten trainiert, investiert in Resilienz, Empathie und nachhaltigem Erfolg – beruflich und privat.

#### D. Schlüsselkompetenzen

Wenn man selbst den Begriff Kompetenz aufschließen will, trifft man auf verschiedenen Definitionen. Hier werden zwei aus dem deutschsprachigen Raum erwähnt. Weinberg versteht unter Kompetenz „...alle Fähigkeiten, Wissensbestände und Denkmethode, die ein Mensch in seinem Leben erwirbt und betätigt. ... sie ermöglichen es dem Menschen, sein Leben selbstbestimmt und in Eigenverantwortung zu führen.“ [8].

Laut F. E. Weinert „Kompetenzen bezeichnen die bei Individuen verfügbaren oder durch sie erlernbaren kognitiven Fähigkeiten und Fertigkeiten, um bestimmte Probleme zu lösen sowie die damit verbundenen motivationalen, volitionalen und sozialen Bereitschaften, damit die Problemlösungen in

variablen Situationen erfolgreich und verantwortungsvoll genutzt werden können.“ [9].

Die Menschen benötigen zahlreiche Kompetenzen, um sich den anspruchsvollen Herausforderungen der heutigen Welt stellen zu können. Daher müssen Studiengänge künftig sowohl auf die wissenschaftlichen Ansprüche des Fachgebietes als auch auf die praktischen Anforderungen des Berufsfeldes vorbereiten. Hochschulen übernehmen zusätzlich zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses zunehmend auch die beruflichen Qualifikationen für andere Sektoren und die Entwicklung überfachlicher Kompetenzen. Die Begriffe Kompetenz und Schlüsselkompetenz überschneiden sich im gewissen Sinn. Ihr Umfang ist unterschiedlich in den wissenschaftlichen Publikationen. Unten folgen einige Ansätze, aber das Gemeinsame unter allen ist, dass sie überfachliche Fähigkeiten sind, die erworben werden müssen und notwendig in unterschiedlichen sozialen und beruflichen Feldern sind. Schlüsselkompetenzen leiten sich aus den Anforderungen der Arbeits- und Lebenswelt ab. Sie beziehen sich auf die Gegenwart und auf die Zukunft und werden immer wichtiger. Schlüsselkompetenzen zeichnen sich durch folgende Merkmale aus: Sie tragen zu wertvollen Ergebnissen für die Gesellschaft und die Menschen bei; Sie helfen den Menschen, wichtige Anforderungen unter verschiedenen Rahmenbedingungen zu erfüllen; Sie sind nicht nur für die Spezialisten, sondern für alle wichtig.

Im OECD-Bericht im Rahmen des Projekts “Definition and Selection of Competencies” definiert man die Schlüsselkompetenzen als Fähigkeiten, die Menschen befähigen, in komplexen Anforderungen erfolgreich zu handeln. Sie würden drei Hauptkategorien umfassen: Interaktive Nutzung von Werkzeugen (Sprache, Wissen, Technologie); Interagieren in heterogenen Gruppen (Teamarbeit, Empathie, Konfliktlösung); autonomes Handeln (Verantwortung übernehmen, Ziele setzen, reflektieren) [6]. Nach Jochen Mai sind folgende vier Schlüsselkompetenzen entscheidend im Job: Medienkompetenz, soziale Kompetenz, Methodenkompetenz und Selbstkompetenz [14].

Die ZEvA-Definition für Schlüsselkompetenzen umfasst: *Berufliche Handlungskompetenz*, unterteilt in vier Facetten: Fachkompetenz - kognitiv-motorisches Erlernen von fachlichem Wissen; Methodenkompetenz - Erlernen von Lern- und Arbeitstechniken; Sozialkompetenz - Erlernen von Kommunikations- und Kooperationsformen; Selbstkompetenz - Entwicklung eigenverantwortlichen, affektiv-ethischen Verhaltens. Laut dem ZEvA- Positionspapier sollen die Schlüsselkompetenzen als Lernziele in den Curricula der Hochschulen gestärkt werden. Die Förderung solcher Kompetenzen zielt sowohl auf situationsbezogene Qualifikationsanforderungen wie Wissen, Fertigkeiten und Fähigkeiten als auch auf Persönlichkeitsmerkmale wie Einstellungen und Werthaltungen. Die *Methodenkompetenz* beinhaltet Lernstrategien, Medienfertigkeiten, Informationsgewinnung, Planungs-, Projekt- und Innovationsmanagement sowie Lehr-, Beratungs- und Forschungsfähigkeiten. Die *Sozialkompetenz* zielt auf Transfer-, Team-, Konflikt-, Moderations- und Führungsfähigkeiten, unternehmerisches Verhalten, internationale Orientierung und Mehrsprachigkeit. Die *Selbstkompetenz* umfasst Selbstmanagement, Leistungsbereitschaft, fachliche

Flexibilität, Mobilität, Kreativität, Empathie und ethisches Verhalten [10]. Die Förderung von Schlüsselkompetenzen (SK) erfolgt durch bestimmte Lernmodule, die sich additiv oder integrativ auf das Fachstudium ausrichten lassen.

### III. SCHLUSSFOLGERUNG

Die Analyse zeigt deutlich, dass Fachwissen allein nicht mehr ausreicht, um den komplexen Anforderungen der modernen Arbeitswelt gerecht zu werden. Schlüsselkompetenzen und emotionale Intelligenz sind unverzichtbare Ergänzungen, die sowohl die berufliche Leistungsfähigkeit als auch die persönliche Entwicklung fördern. Emotionale Intelligenz – mit ihren fünf Kernbereichen Selbstreflexion, Empathie, Beziehungsfähigkeit, Motivation und Selbstkontrolle – bildet die Grundlage für gelingende Kommunikation, Stressbewältigung und verantwortungsvolles Handeln. Sie ist trainierbar und damit ein strategischer Erfolgsfaktor für Ingenieure und Führungskräfte. Ebenso sind Schlüsselkompetenzen wie Methoden-, Sozial- und Selbstkompetenz entscheidend, um Wissen in praxisrelevante Lösungen umzusetzen. Internationale Studien und OECD-Berichte bestätigen, dass diese Kompetenzen nicht nur für den Beruf, sondern für ein erfülltes Leben notwendig sind. Hochschulen müssen daher Curricula so gestalten, dass sie neben fachlicher Expertise auch die Entwicklung dieser überfachlichen Fähigkeiten fördern. Wer emotionale Intelligenz und Schlüsselkompetenzen gezielt entwickelt, investiert in Resilienz, Innovationskraft und nachhaltigen Erfolg – sowohl im Beruf als auch im privaten Leben. Die Verbindung von Fachwissen, sozialer Kompetenz und emotionaler Stärke ist der Schlüssel für eine zukunftsfähige Gesellschaft.

### IV. REFERENCES

- [1] Anderson, M. (1992). *Intelligence and Development: A Cognitive Theory*. Oxford / New York: Blackwell Publishers
- [2] Damasio, A. R. (1994/2005). *Descartes' Error: Emotion, Reason and the Human Brain*. New York: Putnam-Penguin.
- [3] Erpenbeck, John/Rosenstiel, Lutz von (Hrsg.) (2003b): *Handbuch Kompetenzmessung*. Stuttgart: Schäffer-Poeschel.
- [4] Goleman, D. (1995). *Emotional Intelligence: Why It Can Matter More Than IQ*. London: Bloomsbury
- [5] Nowak, M. A., & Highfield, R. (2011). *SuperCooperators: Altruism, Evolution, and Why We Need Each Other to Succeed*. New York: Free Press.
- [6] OECD. (2005). *Definition and Selection of Key Competencies: Executive Summary*. Paris: Organisation for Economic Co-operation and Development.
- [7] Seibach, I. (2023). *Die 5 Säulen der emotionalen Intelligenz*. Booksworld
- [8] Weinberg, J. (1996). *Kompetenzen als Zielsetzung von Weiterbildung*. In C. Zeuner (Hrsg.), *Kompetenzen als Zielsetzung von Weiterbildung* (S. 213). UVK
- [9] Weinert, F. E. (2001). *Leistungsmessungen in Schulen* (S. 27 f.). Belt
- [10] ZEvA (2002). *Positionspapier: Schlüsselkompetenzen in den Curricula der Hochschulen*. Zentralstelle für das Akkreditierungsverfahren, Hannover.
- [11] Abgerufen von <https://www.oecd.org/education/skills-beyondschool/definitionandselectionofcompetencies.htm>

[12] American Psychological Association. (2024). In *APA Dictionary of Psychology*. Abgerufen von <https://dictionary.apa.org/>

[13] Einstein, A. Goodreads. Abgerufen 2025, von <https://www.goodreads.com/quotes/85475-the-measure-of-intelligence-is-the-ability-to-change>

# The use of indicators for measuring success in the supply business

## *Der Einsatz von Kennzahlen zur Erfolgsmessung im Zuliefergeschäft*

Evgeniy Petrov\*

FDIBA, Technische Universität Sofia, Bulgarien

**Abstract** — The article aims to identify, based on an online survey of Bulgarian companies, the criteria and indicators customers use to evaluate the results of business relationships with their sub-suppliers. The study uses literature review, evaluation and analysis methods, as well as expert interviews. Based on the results of the study, it is proposed to develop an integrated indicator system and a corresponding procedure to enable an accurate evaluation of activities and results in the supply business and to create a reliable information base for necessary management decisions.

**Zusammenfassung** — Der Artikel zielt darauf ab, auf Grund einer online Befragung von bulgarischen Unternehmen die Kriterien und Kennzahlen zu ermitteln, welche Kunden einsetzen, um die Ergebnisse der Geschäftsbeziehungen mit ihren Zulieferern zu bewerten. Die Studie nutzt die Methode der Literaturrecherche, -bewertung und -analyse sowie Expertenbefragungen. Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchung wird vorgeschlagen, ein integrales Kennzahlensystem und eines entsprechendes Verfahren zu entwickeln, um eine genaue Bewertung der Tätigkeiten und der Ergebnisse im Zuliefergeschäft zu ermöglichen und eine zuverlässige Informationbasis für notwendige Managemententscheidungen zu schaffen.

Der Zulieferer ist verpflichtet, die vom Kunden bestellten Produkte in der vereinbarten Menge, Qualität, Ausführung und Fristen zu liefern. Der Kunde bewertet die Leistung des Zulieferers mit Hilfe von bestimmten Kriterien und Kennzahlen, um ein genaues Bild über die Ergebnisse der Geschäftsbeziehung zu bekommen.

Ziel der Studie ist, die in der Praxis angewandten Kriterien und Kennzahlen zur Erfolgsmessung im Zuliefergeschäft zu ermitteln. Dafür wurde eine Befragung unter 14 bulgarischen Zulieferunternehmen aus den Branchen Maschinenbau, Automilbau, Elektronik und Elektrotechnik durchgeführt

Der Fragebogen enthält 17 Fragen. Für die Bestimmung und Formulierung der Fragen wurde sowohl eine Literaturrecherche, als auch eine Untersuchung von Dokumenten ausgewählter deutscher Unternehmen durchgeführt.

Die recherhierten und analysierten Literaturquellen behandeln Themen wie Lieferantenauswahl und Lieferantenbewertung, Einkauf und Logistik, Supply Chain

Management etc. (siehe dazu [1], [2], [3], [4], [5], [6]). Das Ergebnis der Analyse zeigt eine Vielfalt von Kriterien mit den entsprechenden Kennzahlen, trotzdem sind drei hervorzuheben – die Qualität der Produkte, der Preis und der Lieferservice.

Die Untersuchung von Dokumenten von deutschen Unternehmen, die im Internet zugänglich sind lieferte Informationen über die in deren Praxis angewandten

Kriterien und Kennzahlen für die Bewertung der Leistung der Zulieferer (siehe dazu [7], [8], [9], [10], [11]).

Die Analyse zeigt, daß überwiegend folgende Kriterien bzw. dazugehörnde Kennzahlen und eingesetzt werden: die Qualität von Produkten und Prozessen, die Liefertreue, der Preis und die Kosten.

Als Ergebnis der Recherche der einschlägigen Literateratur und von Dokumenten von Unternehmen wurden die wichtigsten Kriterien und Kennzahlen bestimmt, die Gegenstand der Befragung sind. Eine wichtige einschränkende Bedingung für die Aufnahme der Kriterien, war die Möglichkeit eine objektive Messung mit Hilfe von geeigneten Kennzahlen durchführen zu können.

Es handelt sich um folgende Kriterien:

1. Die Qualität der Produkte
2. Die Lieferzuverlässigkeit
3. Der Preis
4. Die Kosten
5. Die Umweltfreundlichkeit der Produkte und Prozesse
6. Die Innovationsfähigkeit
7. Die Finanzergebnisse

Der Fragebogen enthält sowohl offene, als auch geschlossene Fragen, überwiegend jedoch eine Kombinationen aus beiden, d.h. mit vorgegebenen Antwortkategorien und der Möglichkeit frei zu antworten.

Auf die Frage „Setzen Sie ein oder mehrere zertifizierte Qualitätsmanagementsysteme ein“ antworten alle, mit einer einzigen Ausnahme, positiv. Das beweist die absolute Notwendigkeit eines solchen Systems. Kennzeichnend ist die Tatsache, dass überwiegend die ISO 9001 angewandt wird, aber bei Automobilzulieferer auch die IATF 16949.

12 von 14 Unternehmen wenden ausserdem ein zertifiziertes Umweltmanagementsystem an, und zwar das ISO14001, weil das heutzutage Kunden zunehmend von ihren Zulieferern verlangen.

Eine wichtige Frage, die die Zulieferer beantwortet haben, war welche Kriterien Ihre Kunden zur Bewertung Ihrer Tätigkeit verwenden. Dabei wurde auch verlangt, die Wichtigkeit jedes Kriteriums zu bestimmen (mit einer Punktbewertung von 1 bis 100).

Es ergab sich folgende Rangfolge:

1. Die Qualität der Produkte
2. Die Lieferzuverlässigkeit
3. Der Preis
4. Die Kosten
5. Die Umweltfreundlichkeit der Produkte und Prozesse
6. Die Innovationsfähigkeit
7. Die Finanzergebnisse

Die Ergebnisse zeigen eindeutig, dass die wichtigsten Kriterien bei der Bewertung der Tätigkeit der Zulieferer und Erfolgsmessung die Qualität der Produkte, die Lieferzuverlässigkeit und der Preis sind. An vierter Stelle sind die Kosten, die im engen Zusammenhang mit dem Preis stehen. Eine weniger wichtige Rolle spielen die Umweltfreundlichkeit der Produkte und der Prozesse und die Innovationsfähigkeit des Zulieferers. An letzter Stelle als Kriterium sind die Finanzergebnisse der Geschäftsbeziehung der Partner.

Die Qualität ist zweifellos das wichtigste Kriterium. Die Bedeutung der Qualität der Produkte wird auch dadurch deutlich, dass alle befragte Unternehmen Programme zur Qualitätsverbesserung entwickeln und implementieren. Ziel ist es, dass das „NullFehler“-Konzept bei der Herstellung der Produkte realisiert wird.

In diesem Zusammenhang werden in den Unternehmen auch verschiedene Analyse- und Fehlervermeidungsmethoden eingesetzt - CAPA, 8D, Problem solving, 5 Why, Ishikawa, HERCA, RCA, Ishikawa, MSA, PDCA, Control plan. Das ist deshalb notwendig, weil die Qualitätssicherungsmaßnahmen einen präventiven Charakter haben müssen.

Bei der Frage „Welche Kennzahlen für die Bewertung der Qualität verwenden Ihre Kunden?“ entstand folgende Rangfolge:

1. Anzahl der Reklamationen (pro 10 000 Lieferungen)
2. Kennzahlen für die Einhaltung der Reklamationsbearbeitungsfristen
3. Parts per million rate
4. Bereitschaft zu technischen Produktänderungen

Die in der Praxis meist angewandte Kennzahl für die Bewertung der Qualität ist eigentlich die „Parts per million rate“, die Ergebnisse der Befragung zeigen ein etwas anderes Bild - die Anzahl der Reklamationen und die Kennzahlen für die Einhaltung der Reklamationsbearbeitungsfristen sind als wichtiger eingestuft. Die Bereitschaft zu technischen Produktänderungen, unabhängig davon, ob dies auf Initiative des Zulieferers oder auf Verlangen des Kunden erfolgt ist Ausdruck des Bestrebens nach Qualitätsverbesserung der Produkte.

Die Rangfolge der Kennzahlen zur Bewertung der Lieferzuverlässigkeit der Zulieferer sieht wie folgt aus:

1. Kennzahlen für Lieferungen mit Terminabweichungen
2. Bereitschaft für Terminänderungen
3. Kennzahlen für Lieferungen mit Mengenabweichungen
4. Bereitschaft für Mengenänderungen bei Bedarf

Die Nichteinhaltung der Lieferfristen kann zu Produktionsstörungen beim Kunden führen, so dass die pünktliche Lieferung strikt beobachtet wird. Das gleiche gilt für Lieferungen mit Mengenabweichungen.

Der Lieferant ist dem Kunden zum Ersatz sämtlicher Verzugschäden verpflichtet, falls diese von ihm verschuldet sind. Kommt der Lieferant aus einem von ihm zu vertretenden Umstand in Lieferverzug, so ist der Kunde berechtigt, eine Vertragsstrafe zu berechnen.

Der Kunde kann dem Zulieferer eine angemessenen Frist zur Nachlieferung geben, sollte diese nicht eingehalten werden, ist er berechtigt Schadensersatz statt Erfüllung zu verlangen bzw. sich von dritter Seite Ersatz zu beschaffen.

Terminänderungen bzw. Mengenänderungen werden i.d. Regel vom Kunden initiiert, die Bereitschaft dafür ist ein Indiz für die Flexibilität und Fähigkeit des Zulieferers auf solche Wünsche des Kunden zu reagieren.

Bei den Kennzahlen für Preisanalysen der Produkte, die die Kunden verwenden sieht die Rangfolge so aus:

1. Preis (im Vergleich zur Konkurrenz)
2. Bereitschaft zur Änderung des Produktpreises
3. Preisbildungstransparenz

Hier ist eindeutig der Preis die entscheidende Kennzahl, das ist auch verständlich, weil der Preis sich direkt auf die Finanzergebnisse der

Geschäftsbeziehung auswirkt. Ein Preisvergleich ist natürlich nur dann möglich, wenn Preise von Wettbewerbern des jeweiligen Zulieferers vorliegen. Das ist immer der Fall, wenn das Zulieferteil von mehreren Zulieferern bezogen wird. Sollte es um single sourcing handeln, dann kann der Kunde ein Angebot von anderen Anbietern verlangen, um einen Preisvergleich durchzuführen.

Die „Bereitschaft zur Änderung des Produktpreises“ ist für den Kunden zum Vorteil. Beim Zuliefergeschäft bestehen in der Regel asymmetrische Geschäftsbeziehungen zugunsten des Kunden, im Sinne dass dieser sich in einer stärkeren Position befindet und Preisdruck auf den Zulieferer ausüben kann. Preise müssen selbstverständlich begründet werden, die Notwendigkeit einer Preisänderung ist genauso nachzuweisen.

In diesem Zusammenhang ist auch die Kennzahl „Preisbildungstransparenz“ zu erwähnen, die für die Kunden eine untergeordnete Rolle spielt; das ist sicherlich auch damit zu erklären, dass Zulieferer ungern ihre Kosten- und Preiskalkulation offenlegen.

Hinsichtlich der Kennzahlen für die Kosten für die Produkte und Lieferungen entstand folgende Rangfolge:

1. Selbstkosten des Produkts
2. Kosten für die Mängelbeseitigung an Produkten
3. Kosten für den Kunden wegen Nichteinhaltung der Liefertermine
4. Kosten für den Kunden wegen Fehlmengen bei Lieferungen

Die wichtigste Kennzahl hier ist „Selbstkosten des Produkts“. Die Kosten sind preisbestimmend und somit auch genauso wichtig wie der Preis selbst.

Man muss aber bedenken, dass zusätzliche Kosten entstehen können, wenn Mängel an gelieferten Produkten beseitigt werden müssen oder Kosten wegen Nichteinhaltung der Liefertermine, bzw. wegen Fehlmengen bei Lieferungen auftreten.

Bei Nacherfüllung durch den Lieferanten bei fehlerhaften Teilen, wenn die Schuld den Zulieferer trifft, ist das auf seine Kosten. Wenn der Kunde selbst eine Ausbesserung von mangelhaften Produkten vornimmt, oder durch einen Dritten machen lässt, wird diese mit Zustimmung des Lieferanten auch auf seine Kosten durchgeführt.

Fehlmengen können auch durch Ersatzlieferungen von anderen Lieferanten kompensiert werden, was dem Kunden wiederum Kosten verursacht, die er dem schuldigen Zulieferer, weiterberechnet.

An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Entstehung solcher Kostensituationen ein Indiz für Probleme mit der Qualität der Produkte, bzw. der Organisation der Prozesse beim Zulieferer ist.

Bei den Kennzahlen für die Bewertung der Innovationsfähigkeit des Zulieferers ist die Rangfolge wie folgt:

1. Einsatz von Softwaretechnologien
2. Nutzung von neuem Wissen und Innovationen in der Tätigkeit
3. Gemeinsame innovative Entwicklungen mit dem Kunden
4. Eigene innovative Entwicklungen
5. F&E Kosten des Unternehmens
6. Anteil der F&E Kosten an den Gesamtkosten

Hier ist der Einsatz von Softwaretechnologien an erster Stelle, das ist sicherlich mit der voranschreitenden Digitalisierung der Prozesse in der Industrie zu erklären. Es folgen die Kennzahlen für die Nutzung von neuem Wissen und Innovationen in der Tätigkeit, bzw. gemeinsame mit dem Kunden und eigene innovative Entwicklungen. Die Investitionen eines Zulieferers in Forschung und Entwicklung sind aus der Sicht des Kunden nicht so wichtig, denn letztendlich zählen die Ergebnisse daraus.

Was die Frage zu den Kriterien zur Umweltfreundlichkeit der Produkte und

Prozesse, sind die Antworten sehr vielfältig - Einsatz eines zertifizierten

Umweltmanagementsystems nach ISO 14001, Einhaltung der RoHS-Richtlinie, Wasserverbrauch, Energiemenge pro Produkteinheit, Stromverbrauch, Menge der eingesetzten Rohstoffe und Ressourcen, Nutzung von Energie aus erneuerbaren Quellen, CO2 Emissionen, während des Produktionsprozesses entstehende Abfallmenge, Abfallarten, Abfallmanagement.

Das ist ein Beweis für die wachsende Bedeutung der Umweltfreundlichkeit der Produkte und Produktionsprozesse in der Industrie, natürlich auch auf Grund von gesetzlichen Vorschriften und Regelungen.

Was die Kennzahlen zur Analyse der Finanzergebnisse abgeschlossener Aufträge betrifft, so ist der Umsatz eindeutig die wichtigste Kennzahl, gefolgt von der Rentabilität und dem Gewinn.

Daraus kann man schlussfolgern, dass die Kunden in diesem Fall vor allem die bewährte ABC-Analyse für die Lieferantenbewertung einsetzen. Je größer das Liefervolumen für ein konkretes Produkt, bzw. der jeweilige Umsatz mit einem Lieferanten ist, desto wichtiger ist dieser Lieferant für den Kunden.

Eine solche ABC-Analyse kann relativ einfach und schnell durchgeführt werden und bietet eine klare Übersicht über alle eingekauften Produkte von sämtlichen Zulieferern und deren Bedeutung für den Kunden.

Nichtdestotrotz sollten die Rentabilität und der Gewinn berechnet werden, um ein genaueres Bild über eine konkrete Zulieferbeziehung zu bekommen.

Auf die Frage, ob bei der Bewertung der Tätigkeiten und der Ergebnisse im Zuliefergeschäft anhand einer integralen (komplexen) Kennzahl, ermittelt unter Einbeziehung von einzelnen Kennzahlen mit entsprechender Gewichtung, sinnvoll und wichtig ist, sind 2/3 der Befragten dieser Meinung.

Auf die Frage jedoch, ein Verfahren zur Berechnung einer integralen (komplexen) Kennzahl zur Bewertung der Tätigkeiten und der Ergebnisse im Zuliefergeschäft, unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Bedeutung der verwendeten Kennzahlen vorzuschlagen, wurde nur eine einzige Meinung geäußert, und zwar, eine Scorecard und Datenanalyse zur Bewertung der Zulieferer einzusetzen. Das zeigt, dass in der Praxis der untersuchten Unternehmen ein solches Verfahren fehlt und deshalb entwickelt werden muss.

Auf Grund der Ergebnisse der Untersuchung können folgende Schlussfolgerungen gezogen werden:

1. Die Qualität der Produkte, die Liefertreue, der Preis bzw. die Kosten sind die wichtigsten Kriterien für die Bewertung der Leistung der Zulieferer, die anderen Kriterien haben eine untergeordnete Rolle.
2. Die in der Studie untersuchten Kriterien und Kennzahlen haben sich in der Praxis bewährt. Zwischen allen diesen Kriterien, Kennzahlen und den durch diese abgebildeten Tatsachen bestehen enge Beziehungen und ein Zusammenwirken; deshalb sollten diese Kriterien und Kennzahlen als ein System betrachtet werden und auch weitere Kriterien und Kennzahlen entwickelt werden, die dieser Tatsache Rechnung tragen.
3. Es ist sinnvoll, ein integrales Kennzahlensystem und eines entsprechendes Verfahren zu entwickeln, so dass eine Gesamtwertzahl ermittelt werden kann. Der Bewertungsprozess muss stufenweise erfolgen, indem für jedes Kriterium und jede Kennzahl des jeweiligen Kriteriums ein Gewichtungsfaktor bestimmt wird, der

deren Wichtigkeit entspricht. Somit kann eine genaue Bewertung der Tätigkeiten und der Ergebnisse im Zuliefergeschäft erreicht werden. Auf diese Weise kann eine zuverlässige Informationsbasis für notwendige Managemententscheidungen geschaffen werden.

#### LITERATUR:

- [1] Stollenwerk, A, Wertschöpfungsmanagement im Einkauf, 2., aktualisierte und erweiterte Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2016, S. 226 - 234
- [2] Brüggemann, H., Bremer, P., Grundlagen Qualitätsmanagement, 3. Auflage, Springer Vieweg, 2020, S. 157 – 159
- [3] Disselkamp, M, Schüller, R., Lieferantenrating, 1. Auflage, Gabler, Wiesbaden, 2004, S. 71-73
- [4] Janker, C. G., Multivariate Lieferantenbewertung, 2. aktualisierte und erweiterte Auflage, Gabler, Wiesbaden, 2008, S. 96
- [5] Heß, G., Strategischer Einkauf und Supply-Strategie, 4. Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017, S. 135-136
- [6] Werner, H., Supply Chain Management, 6., aktualisierte und überarbeitete Auflage, Springer Gabler, Wiesbaden, 2017, S. 191
- [6] Schuh, G., Hoppe, M., Schubert, J., von Mangoldt, J., Lieferantenauswahl, in: Schuh, G. (Hrsg.), Einkaufsmanagement 2., vollständig neu bearbeitete und erweiterte Auflage, Springer Vieweg Verlag, Berlin Heidelberg, 2014, S. 205
- [7] <https://brueser-gmbh.de/downloads> (abgerufen am 20.09.2024)
- [8] <https://www.amk-motion.com/de/engineeringservice/downloadcenter/unternehmen/qualitaets-undlieferantenmanagement/> (abgerufen am 21.09.2024)
- [9] <https://www.hengst.com/de/unternehmen/lieferanten> (abgerufen am 24.09.2024)
- [10] <https://ke-elektronik.de/wp-content/uploads/2019/11/1901-29-Leitfaden-zur-Lieferantenbewertung.pdf> (abgerufen am 24.09.2024)
- [11] [https://www.mekra.de/downloads/06\\_lieferanten/qsv/lieferantenbewertung.pdf](https://www.mekra.de/downloads/06_lieferanten/qsv/lieferantenbewertung.pdf) (abgerufen am 26.09.2024)

# Introducing a possible common currency for the BRICS-countries

## Einführung einer möglichen gemeinsamen Währung für die BRICS-Länder

Georgi Chankov\*, Nikolaj Hinov†, Haiwei Fu‡

\* International Relations, UNWE  
Sofia, Bulgaria, chankov\_g@unwe.bg

† Computer Science, Technical University Sofia, Bulgaria, hinov@tu-sofia.bg>

‡ School of Economics and Management, Ningbo University of Technology  
Ningbo, China, fuhw@nbut.edu.cn

**Abstract** — The BRICS countries could find an alternative to the US dollar in international trade and reserves. Most ideas of a new currency consider it backed it with real assets. This paper proposes a model of such a currency, limited to the BRICS members and their partners. The model assigns a risk factor of 15% to the collateral. It comprises a set of stocks and production of exchange commodities that countries hold in excess of their own needs and could set aside as a guarantee fund. To this collateral is added the industrial potential which guarantees the supply of industrial goods - chips. The model shows that the assets set aside in the guarantee fund could provide a ten-years growth in mutual trade at 5 % per annum up to \$1,650 trillion in 2035. Political agreement on the governance of the common currency is needed, including: user countries, exchange rates and trade balancing.

**Zusammenfassung** — Die BRICS-Staaten könnten eine Alternative zum US-Dollar im internationalen Handel und für ihre Währungsreserven finden. Die meisten Ideen für eine neue Währung sehen vor, dass diese durch reale Vermögenswerte gedeckt ist. In diesem Papier wird ein Modell für eine solche Währung vorgeschlagen, das auf die BRICS-Mitglieder und ihre Partner beschränkt ist. Das Modell weist den Sicherheiten einen Risikofaktor von 15 % zu. Es umfasst eine Reihe von Aktien und Produktionsgütern, die die Länder über ihren eigenen Bedarf hinaus halten und als Garantiefonds zurückstellen könnten. Zu diesen Sicherheiten kommt das industrielle Potenzial hinzu, das die Versorgung mit Industriegütern – Chips – garantiert. Das Modell zeigt, dass die im Garantiefonds zurückgestellten Vermögenswerte ein zehnjähriges Wachstum des gegenseitigen Handels um 5 % pro Jahr bis zu 1.650 Billionen Dollar im Jahr 2035 ermöglichen könnten. Es bedarf einer politischen Einigung über die Steuerung der gemeinsamen Währung, einschließlich der Nutzerländer, Wechselkurse und Handelsbilanz.

### INTRODUCTION

The idea of creating a common currency of the BRICS countries (called R5) was considered as early as the 2018 Valdai Club meeting. The common currency was seen as a basket of currencies, similar to SDRs (Special Drawing Rights), consisting of the national currencies of the BRICS countries. Having in mind the raising geopolitical risks a common currency that serves as a common unit of account and as a means of accumulating reserves, without abolishing national currencies, could be the solution that gives security and independence in mutual trade.

We propose our own model for such a common currency to facilitate trade between the member states of the community. The model takes the Basel 3 banking agreement as its methodological basis. The guiding idea is that, in the context of a transition from one international economic order to another, heightened risk puts the emphasis on real assets (commodities) effectively controlled by participants in international trade. A review of the most widely traded commodities, including their available stocks, together with the volumes of intra-BRICS trade, makes it possible to assess the scope and viability of such a scheme. The proposed model could guarantee an average annual growth of 5% in trade between the BRICS countries (also with their external partners) over a ten-year period.

### ECONOMIC AND TRADE POTENTIAL OF BRICS

BRICS is a community of countries that today includes Brazil, Russia, India, China, South Africa, Iran, Egypt, Ethiopia, and the United Arab Emirates. So far, the group is not a military-political alliance, neither a centralized and economic integration community, but a less committed trading community interested in trade on mutually beneficial terms and investment on an equal footing.

At the end of 2024, the total volume of intra-community trade in goods was approaching \$1 trillion, with a total world trade volume of \$32 trillion. China's trade in goods with them reached \$648 billion. Taking into account the closest trade partners (and future members) of the community, the total trade volume that the common currency should secure amounts to roundly 1650 billion \$.

The BRICS-members have the potential to form a strong economic bloc. According to early estimates, China and India should dominate the global supply of capital goods and services, and Brazil and should dominate the global supply of raw materials. Consequently, Brazil and Russia would emerge as suppliers of raw materials and energy to manufacturers in India and China in a community with complementary economies. (Wilson, Purushothaman, 2006) The realisation that the BRICS countries have great economic and trade potential explains why as recently as 2012 about 58% of countries would have preferred

to trade with the BRICS currency, 23% with the euro and only 19% with the US dollar [2].

The countries of the group as a whole have a large amount of real assets - raw materials, fuels, capacities in industry, agriculture and transport - and the potential for growth in internal trade seems quite optimistic.

#### DEPENDENCE ON THE USA AND SEARCH FOR ALTERNATIVES

In international trade, however, these assets are realised in financial infrastructure controlled by the USA: • The dollar's share of global payments through SWIFT has surged to 49.1% as of August 2024, the U.S. dollar (USD) makes up 58% of global currency reserves and is involved in 88% of all trades (Rolfe, 2024).

US-dominance poses risks: through printing dollars the Quantitative Easing programme (2008), exported inflation and devalued dollar reserves. After the events of 11 September 2001 the CIA, the FBI and the US Treasury gained control access of the SWIFT network, later banks from Iran, Russia and Belarus were excluded from the system. So there is an increasing danger that the real assets of the BRICS countries could be acquired below their real value, but even confiscated as a result of the sole decisions of the US authorities. Economic sanctions recently imposed on Russia and its trading partners, along with President Donald Trump's policy of raising customs barriers provoke the creation of more closed trading communities and the search for alternative payment and reserve options.

#### CREATION OF A "COMMON" CURRENCY

The creation of a common currency as a unit of account and a means of accumulating reserves is more complex. If the payment system functions as intended, exchanges between BRICS currencies are expected to be quick and convenient. At the same time, countries will retain their national currencies. A single currency should take into account the different levels of economic development, preventing meeting the minimum criteria, economic and political, required for monetary union [1].

In the first stages of its introduction, the new currency could play the role of a unit of account for payments in national currencies and conversion without the dollar. In the long term, it could become a means of payment and acquire the status of a reserve currency, after solving the problem with the collateral.

The currency that the BRICS countries would use in their calculations, should have real collateral, e.g. commodities: oil, precious metals, wheat, rice, coffee and many others, which these countries have in surplus. [3] In determining the collateral, two issues need to be addressed, first the amount and then the type of collateral. As a guide to the size of collateral that inspires confidence, the Basel accords on bank risk protection can be used. Basel II requires the total capital ratio to be no less than 8% of assets. Having in mind the raised risk our model proposes a real collateral ratio of 15 per cent of total mutual trade. The collateral could be collected in a guarantee fund under the common control of the participants - bank vaults, bonded warehouses, etc.

But the model cannot be static. The common currency hedge should secure future trade growth: assuming a healthy growth rate of 5% per annum ahead of the economies, the hedge should be able to cover a significantly increasing volume over, e.g., ten years. The moderate optimistic view foresees a trade volume of \$3,9 billion at current prices by 2035. A risk insurance of 15%

would mean a collateral of **\$597 billion**. China, India, Russia, Brazil and Iran could make a real contribution to collateralisation with several items each and would have a decisive influence on decision-making.

#### TYPES OF COLLATERAL

##### A. *Commodities*

Exchange commodities as collateral have the advantage of being relatively homogeneous and easy to compare in quality. They must be highly liquid and their quantity must exceed current own consumption to provide growth potential.

World's most traded commodities by value usually include Crude Oil, Natural Gas, Gold, Copper, Corn, Wheat, Soya, Coffee, Sugar, Cocoa, Cotton.

A review of the table shows that the BRICS countries currently have significant reserves and/or production of Crude Oil, Natural Gas, Gold, Coffee, Sugar, Cocoa, Cotton. In terms of prices at the end of 2024, the indicative compilation yields the following:

1,000 t gold = \$85 million\* (< 20% of bank reserves)

1 000 000 000 barrels of oil = \$70 billion

1 000 000 000 000 m<sup>3</sup> gas = \$305 billion

1,000,000 t coffee = \$5.191 billion (< 25% of annual production)

10 000 000 t sugar = \$7 billion (11% of annual production)

1,000,000 t cotton = \$3.470 billion (7% of annual production)

1 000 000 000 000 t coal = 80 billion \$

Total \$ 555 billion

*\*Prices at the end of 2024*

The amount of \$ 555 billion almost matches to the collateral of \$597 billion needed. So the sample basket of collateral shown here almost assures a high-risk trade. In this case, the amount of fuel is negligible compared to the stocks, and only Russia produces half the amount of coal needed annually. The share of collateral relative to available stocks/production decreases even further if the capabilities of partner countries are added:

Oil reserves - 3,345 mill. barrels per day added;

- Gas production - 201,5 mill.m<sup>3</sup>;
- Gold production - 290 t;
- Coffee production - 2,65 mill.t;
- Sugar production - 13,17 mill.t;
- Cotton production - 1 mill.t.;

(Sources: <https://www.worldometers.info>)

##### B. *Mass electronic components*

The collateral in our model is also complemented by the industrial potential of the participating countries. Even with a high degree of processing, the task of quality benchmarking can be solved successfully. In the case of mass goods such as electronic chips the comparison seems very straightforward.

Electronic components, for example, show the way the industrial capacity of China might support the common currency:

Electronics is one of the most important manufacturing industries today. The production of components is key to this industry, with electronic chips being the most important among them. The most mass-produced electronic chips in the world (billions units per year, with low unit prices) are those used in consumer goods ranging from cars to phones. Due to the large production volume, some groups of them are close to the

characteristics of mass-market commodities. These groups of chips are:

- standardized,
- interchangeable,
- with low margins,
- manufactured using mature processes (40–180 nm and above),
- manufactured by multiple alternative manufacturers.

These chips are:

- discrete semiconductors;
- standard logic (74HC, 4000 series);
- analog/power management chips;
- inexpensive microcontrollers (8-bit, 16-bit, low-end 32bit).

The value of the global market for commodity chips is between USD 100 and 120 billion per year (by 2025), or 18–20% of the entire semiconductor market (~USD 630 billion).

China's share of commodity/legacy chip manufacturing capacity is very significant, thanks to its strong presence in back-end (assembly, packaging, testing) operations (30%) and in mature technologies - China has 27% of the global production capacity for chips in the 20-45 nm range and 30% in the 50-180 nm range [4].

China's approximate value share of the mass chip market may be around 30-40%, depending on the segment (MCU, discrete, analog) and its ability to export or sell to the local market.

Specifically, China's positions in this market are as follows:

- Discrete semiconductors - estimated share of 28-30% of the global discrete market value. Omdia notes that China already holds over 40% of the power-discrete market by volume. (This is a sub-segment.)
- Standard logic (74HC, 4000 series) - Public estimates of front-end mature node capacity indicate that approximately 30% of front-end capacity for mature nodes is in China, and according to some estimates, up to 39%, specifically for legacy nodes. China's share of the value of standard logic is likely to be in the range of 25-40% [5].
- Analog/power management chips - China's share of the global PMIC market was 18.8% in 2024 [6]. China aims to achieve a leading position in the global market in terms of revenue by 2030.
- Low-cost microcontrollers (8-bit, 16-bit, low-end 32-bit) - China's MCU market is projected to grow significantly, with a value of about \$8.63 billion in 2025. (More than a quarter.) The share among "low-end/mass-market" MCUs is close to or slightly higher, as China is accelerating shipments of 8/16-bit and low-cost 32-bit parts.

These groups of chips are similar to commoditized products, but their prices are NOT stable or transparent enough to be considered true exchange-traded commodities. They are characterized by:

- more pronounced cycles;
- greater volatility;
- dependence on political factors (sanctions);
- lack of a centralized exchange.

For example, during the COVID-19 pandemic, the prices of entire groups of chips rose sharply, followed by a similar sharp decline. Such fluctuations are more difficult to offset with large inventories. Consumption is ongoing, and accumulation is risky for the following reasons:

1. Technology quickly becomes obsolete, especially as mature processes are concerned;

2. Storage costs are high when air-conditioned storage is required;

3. The quality of many electronic components has a shelf life due to oxidation of pins and changes in parameters during long-term storage.

Therefore, the use of chips as an additional collateral of the common currency is associated with more careful and expensive inventory management. China's production capacity in this area is expanding. The present value of about \$40 billion easily support a trade volume up to **\$250** billion per year using a common currency. Added to the already calculated value of the commodities earmarked for collateral (see above), this would be more than enough to support the common currency.

\*

The ways of securing the collateral may be different. In the case of fuels, it is easy to build up quickly liquid stocks - warehouses, tanks, gas storage facilities, including for processed petroleum products - fuel oil, diesel, oils. Temporary stocks may also be built up in the coffee, sugar and cotton industries, and should not exceed an upper limit that would disrupt trade. Air-conditioned warehouses for mass electronic components have the advantage of not requiring large areas and volumes due to the nature of the production. An alternative to stocks in this case could be contracts with producers, under which users of the common currency get a purchasing advantage over other trading partners. Such contracts could also be used for purchases of manufactured goods. This means more government control over foreign trade, which seem inevitable.

#### POLITICAL ASPECTS

In principle, a scheme to use a common currency as a unit of account requires a political decision and unanimity. The first problem to be solved is the determination of the trade regime. BRICS is not a free trade area and the decision to establish such an area, along with the numbers of users of the common currency, is a political one. The next problem is defining the range of countries that take decisions on the common currency. It is obvious that the collateral can be provided mainly by China, Russia, India, Brazil and Iran, and the contribution of the AOE can only be tangible in the case of oil. Partner countries can contribute in general to the accumulation of gold, oil, gas, coffee, sugar and cotton reserves. The difficulty lies in striking a balance - on the one hand, it is logical that a country's governance weight should match its economic weight, and on the other hand, the interests of countries that participate in the community with modest capabilities but contribute to its success by their very presence must be taken into account - the utility of the community to each of its participants increases as its size increases.

In this case, a disproportionate voting scheme seems appropriate (as e.g. in the IMF), which, if properly calculated, combines efficiency with the democratic nature of the governance process. Since the economic development of the community cannot be uniform, the issue of fluctuations in the exchange rates of national currencies against the unit of account will arise from time to time. An important condition for trade growth is balanced trade between the partners, which exchange rate management should help to achieve.

Because of the differences in the degree of economic development and because of the different economic structures, the attempt to eliminate exchange rate fluctuations will produce negative results, as the experience of the euro area, and even of its relatively flexible early edition, the so-called 'snake in the tunnel', which soon after its creation became a 'deutschmark

zone', shows. The depreciation or appreciation of a currency in order to equalise the balance of trade of a community-member should require a common decision. The selection and size of the collateral, together with the individual contribution, should also be decided. All this implies a higher degree of political cooperation than has been achieved so far. Besides managing financial risks, the BRICS countries will also have to navigate external factors and addressing potential backlash from other countries, for instance retaliatory actions (trade disputes, financial sanctions) from the United States and other countries that may view the BRICS currency as challenging their economic and geopolitical interests [7].

#### CONCLUSION

Finding a meaningful alternative to the US dollar as a world currency seems entirely possible. The BRICS countries considered here have sufficient resources and productive capacity to introduce a common regional currency to maintain reserves, make foreign trade payments and settlement of obligations. The success of such an endeavor may attract more partners with large productive capacity and/or abundant resources. The proposed model is approximate. One can speculate on the inclusion of other commodities in the collateral basket and make other calculations on the quantities needed. This model should take into account the possible fluctuations in production, which are particularly strong for agricultural commodities that are dependent on natural conditions - weather, disease, etc. Therefore, a wider range of commodities and raw materials creates a more reliable collateral. But an irrevocably important condition for success is political cooperation between member states. Finding a good political solution in place, the BRICS countries would have the real assets to back a common currency that will ensure sustained growth in mutual trade for the foreseeable future.

#### REFERENCES

- [1] Batista, P., "A BRICS Currency?", *Contemporary World Economy*. 2023, Available at: <https://cwejournal.hse.ru/index.php/cwejournal/pnoguiera-3-2023>
- [2] Coquidé, C. Lages, J., Shepelyansky, D., "Prospects of BRICS currency dominance in international trade", *Applied Network Science* 8(1), September 2023, DOI: 10.1007/s41109-023-00590-3, Available at: [https://www.researchgate.net/publication/374028360\\_Prospects\\_of\\_BRICS\\_currency\\_dominance\\_in\\_international\\_trade](https://www.researchgate.net/publication/374028360_Prospects_of_BRICS_currency_dominance_in_international_trade)
- [3] Stepanov, N., "The Expediency of Creating a Supranational Currency within the Framework of the SCO and BRICS International Organizations Under the Influence of Trade and Sanctions Restrictions", *Problemy Dalnego Vostoka*, January 2023, DOI: 10.31857/S013128120024357-3, Available at: <https://ras.jes.su/pdv/s013128120024357-3-1-en>
- [4] Ezell, S., "How Innovative Is China in Semiconductors?", *Information Technology & Innovation Foundation*, August 2024, Available at: <https://www2.itif.org/2024-china-semiconductors.pdf>
- [5] Omdia, China Semiconductor Components Intelligence Service, 2024, Available at: <https://ec.europa.eu/eurostat/web/products-euroindicators/w/2-22012025-ap>
- [6] Power Management Integrated Circuit (pmic) Market, *Congruence Market Insights*, 2025, Available at: <https://www.congruencemarketinsights.com/>. 4
- [7] Phungula, N., "BRICS Currency as a Challenge to the US Dollar Hegemony: Opportunities and Risks", April 2023, Available at: [https://www.researchgate.net/publication/370321033\\_Title\\_BRICS\\_Currency\\_as\\_a\\_Challenge\\_to\\_the\\_US\\_Dollar\\_Hegemony\\_Opportunities\\_and\\_Risks](https://www.researchgate.net/publication/370321033_Title_BRICS_Currency_as_a_Challenge_to_the_US_Dollar_Hegemony_Opportunities_and_Risks)

# Collision Based Mesh Manipulation for Pottery Simulation with Hand Tracking

## Kollisionsbasierte Meshmanipulation für Töpfersimulation mit Handverfolgung

Ivan Petrov\*, David Ivanov\*, Zlatka Uzuvoval\*, Dimo Chotrov\*

\*Research and Development and Innovation Consortium  
Sofia, Bulgaria. vr-lab@sofiatech.bg

**Abstract** — We present a collision-based approach to pottery simulation using a virtual pottery wheel with speed control and hand tracking. Hand interactions cause local mesh manipulation through vertex offsetting and surface smoothing achieving close to realistic clay manipulation with natural interaction.

**Zusammenfassung** — Wir präsentieren einen kollisionsbasierten Ansatz zur Keramiksimulation unter Verwendung einer virtuellen Töpferscheibe mit Geschwindigkeitssteuerung und Handverfolgung. Handinteraktionen bewirken eine lokale Netzmanipulation durch Vertex-Versatz und Oberflächenglättung, wodurch eine nahezu realistische Tonbearbeitung mit natürlicher Interaktion erreicht wird.

### I. INTRODUCTION

The art of pottery embodies a tactile form of creative expression in which hand motions continuously shape deformable material through direct physical interaction. Implementing this process in a digital environment brings advantages in various areas from craft training [4] to art therapy [9] but also comes with challenges, particularly when aiming to preserve the intuitive, contact-driven nature of clay manipulation.

Physically based simulation methods like the ones presented in [11] can capture material behavior more faithfully but often incur substantial computational costs, limiting their suitability for real-time, interactive applications or requiring more powerful hardware. Symmetrical methods like the ones in

[2] and [10] achieve good looking results but don't simulate the process authentically. Finding the balance between physical plausibility, authenticity and interactive performance is still an area of research.

### II. LITERATURE OVERVIEW

The simulation of pottery in virtual environments presents unique challenges in user interaction mechanics, contact detection (between an interaction device and the surface of the virtual clay) and mesh manipulation – deforming the virtual clay in response to the user interaction. The simulation of pottery and ceramic creation has evolved significantly from early desktop-based volumetric models to immersive, handtracking-enabled systems. Researchers have developed various approaches ranging from parametric deformation models to physically based volumetric simulations. Research in this domain generally focuses on three primary challenges: the realistic manipulation of the digital mesh to mimic physical clay behaviour (deformation, plasticity, and conservation), the integration of natural user interfaces (i.e. hand tracking) to replicate traditional craftsmanship and

performance optimisations to achieve real-time simulation. Li et. al. [8] developed a system design method aimed at virtual ceramic creation systems and defined key quality characteristics - content creation and crafting, teaching assistance system, virtual assistant, user interface operations, and multisensory experience, and design requirements across four dimensions - materiality, behaviour, emotion, and sociality.

The early research by Dewaele and Cani [1] proposed a layered model based on volumetric representation which allows for global and local deformations of the virtual clay simulating material plasticity and natural behaviour.

Another approach uses symmetrical cylindrical deformation similar to pottery wheel clay processing. For instance, the Wowtao system [2] utilizes a parametric profile curve method on mobile devices, where touch interactions deform a homogeneous cylinder. Similarly, Matsumaru and Morikawa [3] introduced a layered cylinder model. Their system divides the pottery object into stacked disks and rings. Detecting collisions of the user's index finger or thumb their implementation allows not only the shaping of the external surface but also deepening the opening. They have also developed what they call an aerial image interface allowing the 3D model the user interacts with to be seemingly projected above the surface of the constructed display and interaction device.

The authors of PotteryVR [5] developed free-form sculpting tools. Their method employs mesh blending and retopology techniques to manage surface details and topological errors, facilitating the transition from virtual models to physical 3D prints. The ARTISTA system [6] allows users to deposit strands of clay that interact physically with one another, employing ray casting for collision detection to achieve physically simulated clay. Both of the above systems also allow the 3D printing of a modeled object.

Another important aspect of pottery simulation is the mechanics of the user interaction. In Virtual Pottery [7] the authors implemented an intuitive hand interaction with an optical tracking system OptiTrack as well as with a Kinect

sensor allowing the user to push and pull the clay using natural hand motions. Chiang et. al. [4] focused on developing a system for pottery training which teaches users on specific movements and techniques and interactively corrects mistakes users make during the process. The authors used a LeapMotion sensor to detect hand gestures and movement.

### III. MESH MANIPULATION FOR POTTERY SIMULATION

We propose a procedural approach for pottery wheel simulation utilising natural user interaction through hand tracking and mesh manipulation relying on collision detection between the user’s virtual hands representation and the virtual clay model’s surface. The software implementation was developed using the Unity game engine. Hand tracking uses a Leap Motion device.

A high-level representation of the algorithm for the pottery simulation is presented on the diagram on Fig. 1. Each of the stages of the algorithm is described in detail in the following sections.

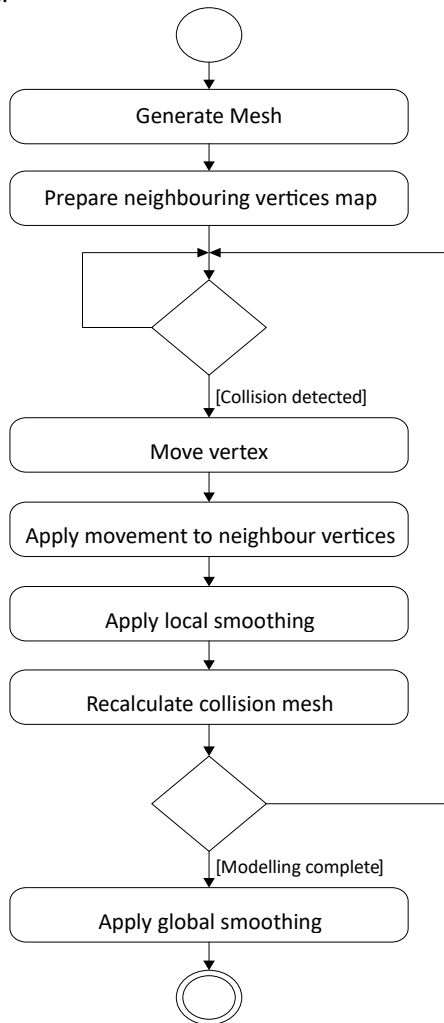


Fig. 1. High level algorithm of the pottery simulation process.

#### A. Mesh Preparation

Initially a cylindrical mesh is procedurally generated. Each slice of the cylinder uses a small random deviation from the original cylinder radius in order to avoid starting with a perfect

cylinder but to have a little bit more natural shape. The generated mesh needs to be detailed enough to look smooth initially and to continue looking smooth when the mesh is being modified in reaction to user’s interactions. There is also a performance consideration – the mesh must not contain too many vertices as in that case it might become too heavy for the calculations and cause undesirable results during simulation – because of the turning of the virtual pottery wheel if a collision processing takes too long it will result in skipping collisions with following vertices along the surface of the model in this way resulting in a jagged surface, as the missed vertices that otherwise the user’s hand would’ve collided with won’t be pushed inwards.

After the mesh is generated a vertex adjacency map used during mesh manipulation is prepared and cached for each vertex. This brings with itself a performance improvement as the adjacency map does not change during the running of the application and is not calculated for each interaction. An example for one vertex can be seen on Fig. 2.

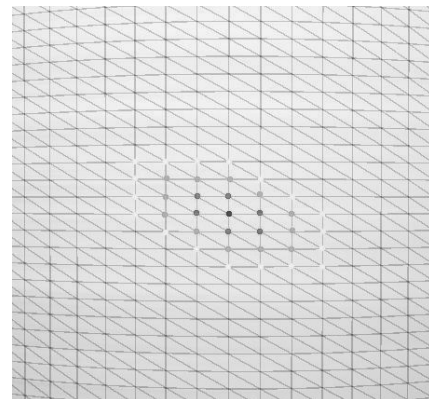


Fig. 2. Vertex adjacency map visualization.

#### B. Hand Tracking and Interaction

After the mesh is ready the pottery wheel starts turning, its speed can be controlled by the users with the help of a standard gaming pedal attached to the computer and the users hands start being tracked using a hand tracking device – in our case a LeapMotion controller.

Our initial tests showed that using collisions with all fingers of the user’s hands didn’t lead to good results, while potentially more realistic during a simulation this would lead to modifying the mesh at multiple places at the same time leading to unexpected results worsened in cases where the finger tracking resulted in strange finger movements due to occlusion of the fingers from the tracking sensor. To avoid this we decided to disable the finger collision and define collision points along the palm of the hand. Depending on the orientation of the user’s hand only one of the collision points interacts with the surface of the virtual clay leading to more consistent results and easier interaction for the user.

Another consideration was the visual interaction of the virtual hands’ representation and the mesh surface. If we let the virtual hand fully or partially collide with the surface it moves in a strange way along the surface. Also, as the user’s hand movement is not constrained in any way, i.e. by a force feedback device, it can move fully or partially inside the surface of the mesh. To avoid the unnatural visual of the user’s virtual hand being partially inside the mesh the visualisation of the virtual hand was modified to a non-opaque and non-solid surface material which still preserves the form of a hand but if crossing the surface of the pottery doesn’t look so unnatural – see Fig. 3.

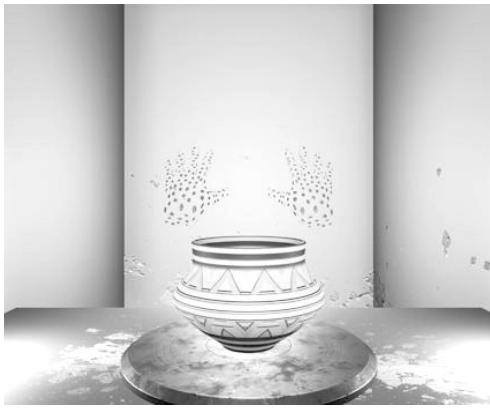


Fig. 3. Virtual hand representation.

### C. Mesh Deformation

While the pottery wheel is turning if the user's touches the surface of the 3D mesh a collision is detected. For the collision the point where it occurred is known (provided by the physics calculations of the Unity engine). The closest vertex to the collision point is determined and moved with a predetermined value along the opposite direction of the normal of the vertex to the inside of the mesh. The movement is also multiplied by a coefficient determined from the speed of the pottery wheel. In this way if the pottery wheel is moving faster the vertex will be moved further to the inside simulating greater strength application.

The neighbouring vertices from the moved vertex's adjacency map are retrieved and are also moved to the inside but with a smaller distance. This helps keep the surface of the mesh more regular and avoid sharp edges between the moved vertex and the surrounding surface. The distance an adjacent vertex is moved depends on how close to the original vertex it is, insuring a smoother transition between the original vertex and the surrounding surface. To further improve the smoothness of the surface a local Laplacian smoothing is applied. The smoothing is applied using a neighbouring radius a little larger than the one used for the movement of the vertices so that the smoothing includes also nearby unmoved vertices, again achieving better connection of the moved vertices to the rest of the mesh. A schematic visualisation of the movement is shown on Fig. 4.

An important note is that after the vertices have been moved (both the movement itself and the smoothing which also affects the positioning of the vertices) the collision mesh of the pottery mesh must be recalculated. Otherwise, even if the user doesn't move their hand further inwards the physics engine will continue to detect collision and the vertices will be moved further inwards even though the hand is not actually touching the surface anymore.

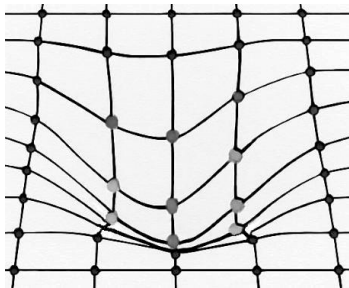


Fig. 4. Sinking a vertex and its neighbour vertices inwards.

### D. Smoothing

Smoothing is applied at two stages during the virtual pottery modelling process:

- Local smoothing is applied after every detected collision to the moved vertex and its neighbours.
- Global smoothing is applied to the whole model after the user is finished with the modelling. In both cases Uniform Laplacian smoothing is applied. The local Uniform Laplacian algorithm and a visual schematic of the Uniform Laplacian smoothing algorithm in general are shown on Fig. 5 and Fig. 6. For each vertex its adjacent vertices are retrieved from the cached adjacency map. The X and Z coordinates of the vertex are averaged from the neighbouring vertices coordinates while the Y coordinate remains the same (the vertex's vertical position is not changed). This is repeated for a number of smoothing iterations – the number is dependent on how smooth the surface needs to be, but it should be adjusted carefully as otherwise could lead to loss of details due to the smoothing.

Fig. 7 shows the results if only by each collision only the vertex and its adjacent vertices are moved, with local smoothing applied and with local and global smoothing applied.

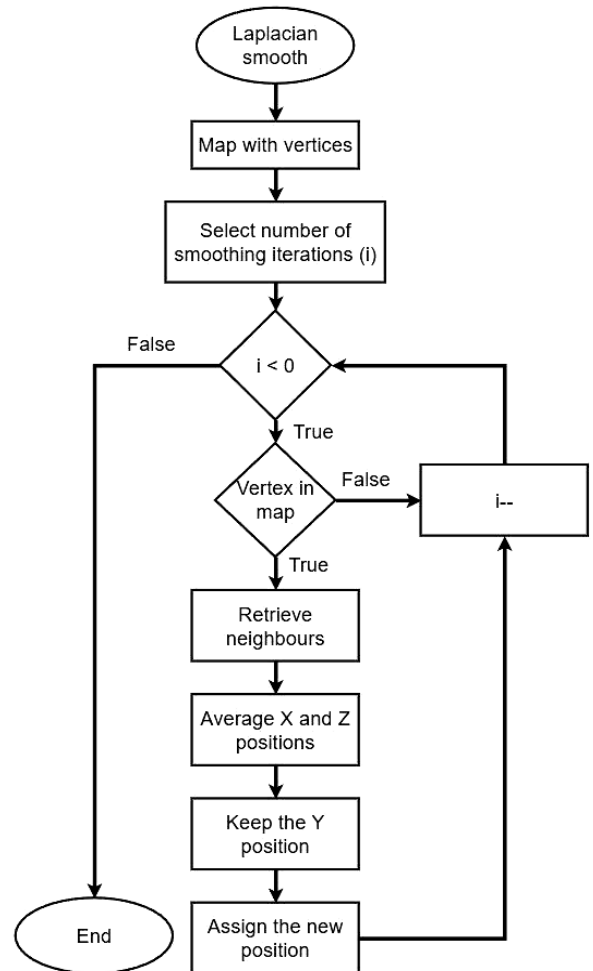


Fig. 5. Local Uniform Laplacian smoothing algorithm.

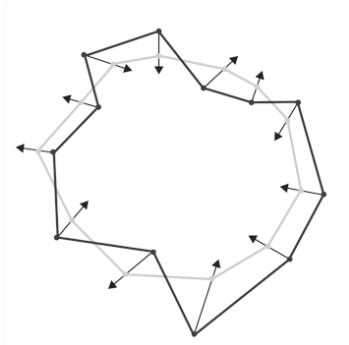


Fig. 6. Schematic visualisation for Uniform Laplacian smoothing.

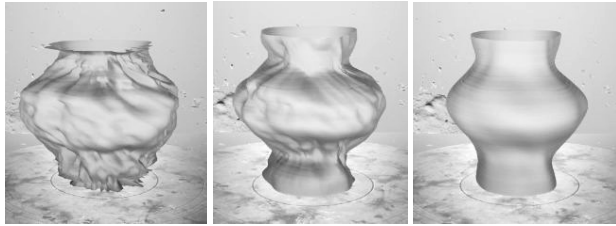


Fig. 7. From left to right – mesh with only vertex movement without smoothing, mesh with local smoothing applied after the vertex movement and mesh also with global smoothing applied at the end.

#### IV. CONCLUSION

The presented approach to virtual pottery simulation consists of procedural mesh generation, natural system interaction via a pedal for pottery wheel speed control and hand tracking for the modelling of the clay. The described collisionbased approach with local and global smoothing is a relatively simple implementation accomplishes close to realistic behaviour of the system without using heavy physics calculations. Good performance is attainable even on lower end computers. Achieving good results though takes getting used to the interaction with the system and the way the virtual clay responds to the user's interaction, as it would be expected with an actual pottery wheel too.

Because the system visualises the pottery wheel on a monitor with the LeapMotion in front of the monitor the interaction is a little out of context as the user needs to observe their hand movement and they way the virtual hands interact with the clay surface on the monitor. Having the system running as a virtual reality application would probably resolve this issue and lead to improvement of user perception and experience.

#### ACKNOWLEDGMENT

The work is supported by project No. BG16RFPR0021.014-0014-C01 "Development Program with a Business Plan for the Laboratory Complex of Sofia Tech Park", which is implemented under the "Research, Innovation and Digitalization for Smart Transformation" Program, co-financed by the European Union through the European Regional Development Fund.

#### REFERENCES

[1] G. Dewaele and M. -P. Cani, *Interactive global and local deformations for virtual clay*, Graphical Models, Volume 66, Issue 6, 2004, Pages 352-369, ISSN 1524-0703

[2] R. Cai, Y. Lin, H. Li, Y. Zhu, X. Tang, Y. Weng, L. You and X. Jin, *Wowtao: A personalized pottery-making system*, Computers in Industry, Volume 124, 2021, 103325, ISSN 0166-3615

[3] T. Matsumaru and A. Morikawa, *An object model and interaction method for a simulated experience of pottery on a potter's wheel*, Sensors 2020, 20, 3091. <https://doi.org/10.3390/s20113091>

[4] P. -Y. Chiang, H. -Y. Chang and Y. -J. Chang, *PotteryGo: A virtual pottery making training system*, in *IEEE Computer Graphics and Applications*, vol. 38, no. 2, pp. 74-88, Mar./Apr. 2018

[5] S. Dashti, E. Prakash, A.A. Navarro-Newball, F. Hussain and F. Carroll, *PotteryVR: virtual reality pottery*. Vis Comput 38, 4035–4055 (2022). <https://doi.org/10.1007/s00371-022-02521-2>

[6] G. Manfredi, G. Gilio, N. Capece, U. Erra and V. Baldi, *ARTISTA: Redefining pottery design with virtual reality and physically simulated clay*, 2024, 492-499. 10.5220/0012415300003660.

[7] Y. C. Han and B.-J. Han, *Virtual pottery: a virtual 3D audiovisual interface using natural hand motions*, Multimedia Tools Appl. 73, 2, November 2014, 917–933. <https://doi.org/10.1007/s11042-013-1382-3>

[8] H. Li, J. Shen, T. Xue and G. Huang, *A system design method for virtual ceramic creation oriented to authenticity representation: integration of Kano, QFD, and FAST approaches*, Sci Rep 15, 38653, 2025. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-22495-0>

[9] C. Gatto, K. Martinez, and L. T. De Paolis, *Design Process of a Ceramic Modeling Application for Virtual Reality Art Therapy*, In *Extended Reality: First International Conference, XR Salento 2022*, Lecce, Italy, July 6–8, 2022, Proceedings, Part I. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, 92–103. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-15546-8\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15546-8_7)

[10] G. Han, J. Hwang, S. Choi and G. J. Kim, *AR pottery: experiencing pottery making in the augmented space*, In *Proceedings of the 2nd international conference on Virtual reality (ICVR'07)*, 2007, SpringerVerlag, Berlin, Heidelberg, 642–650.

[11] H. Barreiro, J. Torres and M. A. Otaduy, *Natural Tactile Interaction with Virtual Clay*, *2021 IEEE World Haptics Conference (WHC)*, Montreal, QC, Canada, 2021, pp. 403-408, doi: 10.1109/WHC49131.2021.9517171.

# Machine-Learning-Based Differentiation of Benign Gas Profiles from Hazardous Event Indications

Titel auf Deutsch (*paper subtitle*)

Konstantin Hristov

\*Affiliation 1: Department of Electronics, Faculty of Electronics and Automation

Technical University of Sofia, Plovdiv Branch,

Plovdiv, Bulgaria 63 Sankt Petersburg Blvd., 4000 Plovdiv, Bulgaria

konstantin\_hristov@std.tu-plovdiv

**Abstract** — Industrial fires remain a high-impact issue in the global safety domain, with thousands of lives and multiple billions of dollars lost each year in the United States alone. Multiple prevention technologies have been developed in response to this, with ionizing smoke detectors being among the most mature and widely-adopted solutions. This can be attributed to their high sensitivity, fast response times, long field lifetime, and affordability. However, the underlying operating principle has several notable limitations. Firstly, ionization smoke detectors are much less sensitive to non-ionizing particles, such as the ones emitted from low-temperature smoldering fires, which makes early detection of such events impossible. Furthermore, ionizing smoke detectors offer a reactive, binary evaluation of smoke presence, with no source classification or concentration insights, leaving them prone to false alarms. Our article evaluates the potential of low-cost, off-the-shelf MOS gas sensors, coupled with machine learning algorithms, as a possible alternative solution. The experiments conducted for the study aimed to train a classification algorithm to differentiate between samples of benign (ambient air, cigarette smoke) and hazardous substances (smoke from a burning cable, melting cable insulation) as a means of addressing the response time and false alarm issues of ionizing smoke detectors. Two separate datasets were gathered and used for algorithm training. The results reveal practical potential for early detection of smoldering fire events.

**Zusammenfassung** — Hier folgt Zusammenfassung auf Deutsch. Der einzige Unterschied zwischen die Englische und die Deutsche Unterlage liegt in der Namen der Abbildungen und Tabellen. (*Abstract*)

## INTRODUCTION

Ionizing smoke detectors remain one of the primary methods for early detection and prevention of industrial fire hazards. These instruments operate by ionizing the air between two electrically charged plates using a small radioactive source. Under normal conditions, this creates a stable electric current, which serves as a reference point for normal operation. When sub-micron smoke particles enter the chamber, they attach to the ions and reduce the current, triggering an alarm.

This operating principle is effective in detecting fastflaming, high temperature fires; however, smoldering fires burn at lower temperature and the particles that are emitted as byproducts do not bind with the ions inside the detector [1]. This leads to a longer reaction time and a higher probability of missed events. In fact, it is often the case that by the time the smoke detector reacts to a smoldering fire, it has advanced too far past the incipient stage for effective prevention to take place.

Another significant limitation of ionizing smoke detectors has to do with their high sensitivity to any smaller ionizing particle. Due to the nature of the measurement, ionizing smoke detectors are unable to differentiate between the combustion byproducts of materials such as textile, plastic or wood (suggesting a fully developed fire) and those of benign sources such as cigarettes, soldering fumes or machine steam [2]. As a result, false alarms often occur, leading to production losses and unnecessary downtime.

To address these issues, this study explores the use of nonselective MOS gas sensors, combined with machine learning algorithms, as a potential alternative

to ionizing smoke detectors. Due to their general sensitivity, MOS sensors can be used to extract raw data from multiple encounters with a range of benign and hazardous substances [3]. This data can later be used as a basis for training a classification machine learning algorithm to differentiate between different types of events – a high-temperature flame, an incipient smoldering fire event, a benign smoke or gas source and normal work [4].

## MATERIALS AND METHODS

### A. Sensor Kit

The Bosch BME688 development kit was used for the experimental stages of the study. It uses 8 Bosch BME688 sensors which conduct simultaneous real-time measurements. The BME688 sensor can detect a wide range of gases, including Carbon Monoxide, VOCs and Hydrogen in concentrations as low as the parts per billion range [5]. More importantly, this sensitivity can be controlled and adapted through configuring the heating profile (temperature of the reactive surface) of each sensor on the board. Such adjustments significantly alter the sensitivity of the entire sensor board, as the constituents of the target substances react at different temperatures. Therefore, by varying the heater profiles of different sensors in the matrix during measurement, it is possible to capture an exhaustive gas profile, which can later serve as a reference point during real-time classification [6].

The sensor kit was configured using Bosch AI Studio, which included a setting of operation modes (only the gas channel was used for the purposes of this study), as well as sensor duty cycles, and heater profiles. The subsequent data processing, classification and algorithm training were also carried out in Bosch AI.

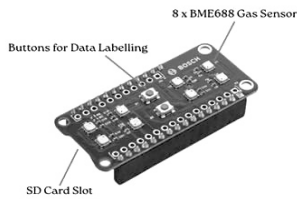


Fig. 1. Bosch BME688 Development Kit

The continuous duty cycle mode was selected in order to maximize the active measurement time of each sensor. Furthermore, the “exploration” heating mode was employed in order to gauge the effectiveness of the different available heater profiles during measurement.

accuracy figures, the sensor should operate optimally using the enclosed volume training dataset.

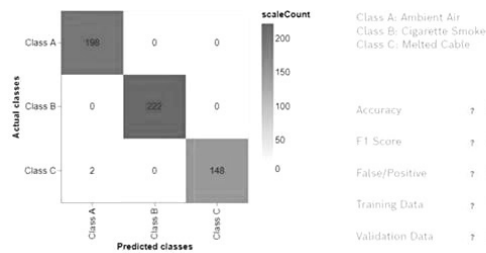


Fig. 3. Classification Algorithm Training Results in Enclosed Volume

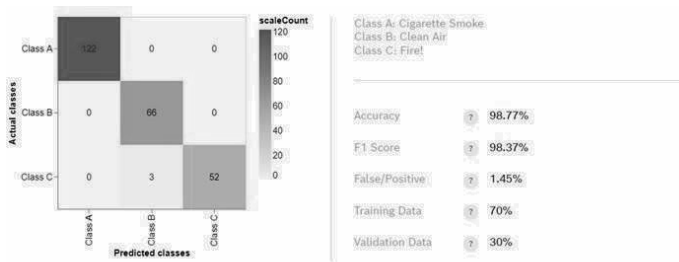
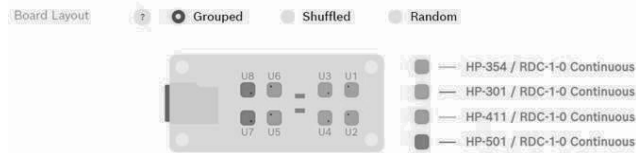


Fig. 4. Classification Algorithm Training Results in Ventilated Space



IV. RESULTS AND DISCUSSION

Figure 5 shows a side-by-side comparison of the two experiment iterations. Each of the field tests was conducted in the same setting in which the respective data were collected – meaning that the enclosed space data were tested in the same

Fig. 2. Heater Profile Configuration

III. DATA COLLECTION, ALGORITHM TRAINING AND RESULTS

Over the course of the experimental stage of the study, three specimens were observed over two iterations. Firstly, the sensor was exposed to clean air, cigarette smoke and heavy smoke from melted cable insulation in an enclosed glass volume. Subsequently the same substances were introduced in a ventilated room, with the sensor kept at close proximity to the emission source.

Ambient air was used for the clean air specimen in both iterations. The benign substance class was represented by cigarette smoke, applied through standard butane ignition of the cigarette, which was carried out away from the sensor to avoid contamination of the sample. This was also replicated identically in both trials. Finally, the hazardous class specimen was obtained through a current overload of a 0.5mm2 communications cable. During the first round of testing, the cable was overloaded to the point of heavy smoke and incipient fire. For the second round of trials, the cable was simply left to smolder.

The data were then pre-processed to equalize measurement duration and eliminate initial sensor adjustment times. At least sixty minutes of measurement output was gathered per sample for each round of testing. The data were then separated in three classes and were used to train two separate classification algorithms.

The training results indicate that both algorithms achieve an estimated accuracy above 95% and a predicted F1 score above 98%. This suggests good expected performance in low-demand applications, where alarm events are far less frequent than normal ambient air conditions. Based on the estimated glass vessel (ventilated after each specimen application), whereas the ventilated room data were also tested in the same open space.

Table 1 shows the results from the enclosed volume testing where an accuracy of 76% was achieved. Table 2 shows the results from the ventilated testing round, where 83% accuracy was observed. The testing methodology was the same for both iterations of the experiment – the samples were identical and applied for the same amount of time, with an intermittent waiting period of 30-60 seconds between measurements to clear the sensors.

#	Class A - Ambient Air	Class B - Cigarette Smoke	Class C - Flaming Fire	#	Class A - Ambient Air	Class B - Cigarette Smoke	Class C - Smoldering Fire
1	True Positive			1		True Positive	
2		True Positive		2			True Positive
3		False Positive	False Negative	3	True Positive		
4	True Positive			4		True Positive	
5		True Positive		5	True Positive		
6	True Positive			6		False Positive	False Negative
7			True Positive	7		True Positive	
8		True Positive		8		False Positive	False Negative
9	True Positive			9	True Positive		
10			True Positive	10			True Positive
11	True Positive			11		False Positive	False Negative
12		True Positive		12			True Positive
13		False Negative	False Positive	13	True Positive		
14		True Positive		14			True Positive
15	True Positive			15	True Positive		
16		False Positive	False Negative	16		False Positive	False Negative
17	True Positive			17		True Positive	
18		True Positive		18			True Positive
19	True Positive			19	True Positive		
20		False Positive	False Negative	20			True Positive
21		True Positive		21		True Positive	
22		False Positive	False Negative	22			True Positive
23	True Positive			23	True Positive		
24		False Positive	False Negative	24			True Positive
25	True Positive			25	True Positive		
26	True Positive			26		False Positive	False Negative
27		True Positive		27		True Positive	
28	True Positive			28	True Positive		
29			True Positive	29			True Positive
30		False Positive	False Negative	30		True Positive	

Fig. 5. Field Test Results

## REFERENCES

- [1] M. L. Jr. Tebo et al., "A review of ionization smoke detectors and their limitations in early fire detection," *Fire Technology*, vol. 56, no. 4, pp. 1337-1355, 2020.
- [2] U.S. Consumer Product Safety Commission, "Smoke Alarms and Fire Safety - Consumer Product Safety Announcement," Sep. 2019. [Online]. Available: <https://www.cpsc.gov>. [Accessed: Aug. 20, 2025].
- [3] A. L. Hodgson and M. T. Gilchrist, "Metal-Oxide Semiconductor Gas Sensors for Fire Detection: A Review," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 343, pp. 130051, 2021.
- [4] J. R. Snider et al., "Machine learning techniques for fire detection using multi-sensor data fusion," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 68, no. 2, pp. 1576-1585, Feb. 2021.
- [5] Bosch Sensortec, "BME688 Datasheet: Integrated Gas Sensor with Low Power Consumption," Bosch Sensortec GmbH, 2020.
- [6] S. S. Bhattacharjee, R. Thangaraj and S. M. Rana, "Early Fire Detection Using Gas Sensor Arrays and Machine Learning Algorithms," in *Proc. IEEE International Conference on Industrial Technology*, 2023, pp. 1550-1555.
- [7] European Chemicals Agency (ECHA), "Guidance on the Use of Sensors for Gas Detection in Industrial Environments," ECHA, Helsinki, Finland, 2021.

The differences in real-time measurement accuracy across the two iterations of the experiment suggest that, based on the utilized datasets and classification algorithm, the BME688 sensor is better suited to measuring and differentiating between lower concentrations of both benign and hazardous smoke.

The consistent misidentification of the fire specimen for cigarette smoke in both iterations points toward a possibility that the saturation or near-saturation of the sensor element does not affect its detection ability but diminishes classification accuracy. The most common error resulting from this aligns with missed events (false negatives), more so than with false alarms. While all 8 sensors on the BME688 board successfully recovered after their exposure to high smoke concentration, suggesting good potential for stability of measurement, these inefficiencies need to be addressed prior to any practical application.

## V. CONCLUSION - LIMITATIONS AND OPPORTUNITIES FOR FUTURE RESEARCH

The experimental results show that the Bosch BME688 can reliably detect the presence of smoke (benign or hazardous) and differentiate it from ambient air with near 100% accuracy. Furthermore, the sensor matrix can consistently classify ambient air and cigarette smoke. However, it did not exhibit the same precision when identifying and classifying the two hazardous substance classes – burning cable and smoldering cable insulation. This became apparent in both iterations of the tests.

The predicted accuracy benchmarks were not replicated in the field test stage. All erroneous measurements (7 instances in the enclosed volume testing round and 5 instances in the ventilated testing round) occurred in an identical manner, whereby the hazardous event sample was misidentified as benign (cigarette smoke). This is indicative of a systemic algorithm flaw and is unlikely to be due to sensor inertia or residual concentrations, due to the precautions taken between measurements. Instead, it could be attributed to insufficient variance of the data or sub-optimal algorithm training, which is the primary limitation of this study. It could be argued that exposing the sensor to a greater variance of input data (in terms of the target substance but also transient environmental changes) could assist in creating a more robust classification profile, that would translate into improved real-time measurement results – a possibility which certainly warrants further research.

From the practitioner's standpoint, we can conclude that the BME688 performs better as a means of early warning of smoldering fire events rather than an all-round replacement of traditional smoke detection technologies. The sensor is optimized for low-concentration (ppb) HC and VOC detection and is thus better suited to early-stage event identification. Based on the successful recovery of the BME688 after more than 90 minutes of exposure to dense smoke, we conclude that the sensor is robust enough to withstand overrange and transient concentration conditions that may occur in industrial settings [7]. However, addressing the false-alarm issues of conventional smoke detection technologies will require further research and experimentation.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK

# Bias Propagation in Large Language Models: A Theoretical Analysis of Sources, Mechanisms, and Social Impacts on Accuracy and Decision-Making

## Bias Propagation in großen Sprachmodellen: Eine theoretische Analyse der Ursachen, Mechanismen und sozialen Auswirkungen auf Genauigkeit und Entscheidungsfindung

Magdalina Nikolaeva

FDIBA, Technical University of Sofia

Sofia, Bulgaria, magdalina.nikolaeva@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** — This paper presents a theoretical analysis of how bias forms and spreads within large language models, and how these biases influence model accuracy and real-world decision-making. Although LLMs are widely used and often seen as reliable, they inherit patterns and imbalances from their training data, which can lead to inaccurate or misleading outputs. These outputs are frequently trusted by users, sometimes even in sensitive or high-stakes situations, which increases the social impact of model biases. The paper examines the main mechanisms behind bias formation, explains how bias affects the accuracy of generated responses, and discusses the potential consequences for users and society. Finally, it proposes a conceptual framework that describes how bias flows through different stages of the LLM development pipeline.

**Zusammenfassung** — Dieses Papier präsentiert eine theoretische Analyse darüber, wie Vorurteile in großen Sprachmodellen entstehen und sich verbreiten und wie diese Vorurteile die Genauigkeit der Modelle und die Entscheidungsfindung in der realen Welt beeinflussen. Obwohl LLMs weit verbreitet sind und oft als zuverlässig angesehen werden, übernehmen sie Muster und Ungleichgewichte aus ihren Trainingsdaten, was zu ungenauen oder irreführenden Ergebnissen führen kann. Diese Ergebnisse werden von den Nutzern häufig als vertrauenswürdig angesehen, manchmal sogar in sensiblen oder risikoreichen Situationen, was die sozialen Auswirkungen von Modellvorurteilen verstärkt. Der Artikel untersucht die wichtigsten Mechanismen hinter der Entstehung von Verzerrungen, erklärt, wie Verzerrungen die Genauigkeit der generierten Antworten beeinflussen, und diskutiert die möglichen Folgen für Nutzer und Gesellschaft. Abschließend wird ein konzeptioneller Rahmen vorgeschlagen, der beschreibt, wie Verzerrungen durch die verschiedenen Phasen der LLM-Entwicklungspipeline fließen.

### I. INTRODUCTION

In contemporary society, Large Language Models (LLMs) such as ChatGPT, Claude, and Gemini have become increasingly prevalent, widely utilized in everyday life, workplaces, and high-stakes environments. Given their substantial influence on societal processes and decisionmaking, questions regarding their reliability have emerged. Despite their capabilities, these models inherit biases from training data, tokenization, and model architectures. These factors can lead to erroneous outputs with critical implications for various operations.

A significant challenge arises from the uncritical trust users place in Artificial Intelligence, often accepting generated answers without verification. Consequently, misleading or biased outputs can impact diverse sectors, ranging from law and healthcare to hiring and education.

The primary objective of this paper is to analyze the introduction of bias into LLMs and examine its effects on accuracy and social outcomes. Additionally, the article proposes a conceptual model for understanding the propagation of bias.

The paper demonstrates that bias in LLMs is not accidental; rather, it arises from systematic processes in data collection, tokenization, and training, resulting in significant social impacts when AI is deployed for critical decision-making.

### II. BACKGROUND AND DEFINITIONS

In the field of Artificial Intelligence (AI), bias can generate significant real-world consequences, particularly when it reinforces discrimination, social inequalities, or stereotypes. The following are among the most prevalent types of bias and their impact on AI systems [1]:

- **Selection Bias:** Occurs when the training dataset fails to represent the target population adequately. For instance, if a computer vision model is trained predominantly on images of individuals with lighter skin tones, its performance degrades on subjects with darker skin tones, resulting in discriminatory outcomes.
- **Confirmation (Historical) Bias:** Arises when the AI system replicates historical prejudices embedded in the training data. For example, if historical hiring data

shows a prevalence of male candidates in specific roles, an algorithm used for recruitment may systematically favor men over women.

- **Measurement Bias:** Occurs when the collected data serves as a poor proxy for the true variable of interest. For instance, measuring student success solely by course completion rates may ignore the nuance of dropout reasons, leading to skewed predictive outcomes.
- **Stereotyping Bias:** Manifests when the system propagates harmful generalizations. A common example is generative AI consistently depicting engineers or scientists as male, thereby reinforcing gender stereotypes.
- **Out-Group Homogeneity Bias:** The tendency of an AI system to generalize features of underrepresented groups, treating diverse individuals as identical. This is frequently observed in facial recognition systems that struggle to distinguish between individuals of racial or ethnic minorities due to a lack of diversity in the training corpus.

In the context of Large Language Models, "accuracy" extends beyond mere factual correctness. It encompasses reliability, relevance, and fairness. Collectively, these metrics determine the holistic utility and trustworthiness of the model.[2]

Crucially, LLMs function as probabilistic prediction models designed to forecast the most likely subsequent token; they are not "truth engines." This stochastic nature, combined with the model's authoritative tone, can lead to "hallucinations"—a phenomenon where the model confidently presents erroneous information.

To mitigate these risks, users must understand the underlying architecture of LLMs. The development pipeline involves data collection, tokenization (segmenting text into discrete units), pre-training on vast corpora, and subsequent fine-tuning (such as RLHF) to align outputs with human intent. Despite these rigorous processes, achieving error-free performance is currently unattainable. Consequently, human verification remains essential for high-stakes information.

### III. SOURCES OF BIAS IN LARGE LANGUAGE MODELS

#### A. Bias in Pertaining data

When training a Large Language Model (LLM), data quality is paramount. While the quantity of data is crucial for model generalization, volume alone does not guarantee accuracy. Reliance on internet-derived datasets such as 'Common Crawl' or 'The Pile' requires careful scrutiny, as these sources often contain inherent stereotypes, political imbalances, and a dominance of English-speaking Western content.

This imbalance manifests in two primary ways:

- **Sampling Bias:** This leads to the overrepresentation of dominant groups and topics. The model becomes highly proficient at patterns seen frequently in the data, often reinforcing majority viewpoints.
- **Data Sparsity:** Conversely, high-dimensional datasets often exhibit sparsity—a condition where specific data points (such as minority dialects or niche cultural

concepts) are missing or significantly underrepresented. [3]

The combination of these factors results in uneven model accuracy. The system is highly reliable for majority groups but exhibits degraded performance for minorities or specialized domains. To achieve equitable accuracy, curated datasets that specifically target underrepresented information are required to balance the training corpus.

#### B. Tokenization-Induced Bias

Tokenization is the fundamental process of converting raw text into a sequence of atomic units known as tokens, which can represent words, subwords, or characters [4]. This process is computationally complex and, if not calibrated correctly, serves as a significant entry point for bias.

Most standard tokenizers are optimized for English. Consequently, "rare" words—such as non-English names or non-Western cultural terms—are often fragmented into a high number of sub-tokens compared to traditional English words. For example, a common English word might be a single token, whereas a word of similar length in a low-resource language might be split into four or five meaningless fragments.

This fragmentation increases the sequence length and computational difficulty for the model, making it harder to retain semantic meaning. As a result, Artificial Intelligence becomes systematically less accurate for specific cultures or languages, thereby reinforcing existing inequities.

#### C. Bias from Model Architecture & Training Dynamics

Transformers serve as the foundational neural network architecture for modern Large Language Models (LLMs). They enable the processing of sequential data, such as text, by utilizing self-attention mechanisms to weigh word importance and facilitate parallel processing for training on massive datasets [5]. However, a critical limitation exists: Transformers are mathematically designed to optimize statistical likelihood, not fairness.

The training of these models predominantly relies on gradient descent, an iterative optimization algorithm that adjusts weights and biases to minimize a specific loss function.

This process inherently amplifies frequent patterns found in the data. Since stereotypes often appear as frequent correlations in large datasets (e.g., "doctor" appearing near "he"), gradient descent treats them as useful predictive features, making them "statistically strong."

Furthermore, scaling laws indicate that while increasing model size improves general performance, it presents a double-edged sword. Larger models capture more subtle patterns, but this includes the "successful" learning of deeper, more complex biases that smaller models might miss.

The societal implication is significant. Larger models often appear more trustworthy due to their improved coherence and reasoning capabilities. However, this perceived reliability can mask the fact that they are still replicating—and effectively reinforcing—harmful correlations present in the training data.

#### D. Bias Reinforcement During Fine-Tuning (RLHF)

The final stage of training often involves Reinforcement Learning from Human Feedback (RLHF) to align the model with human preferences.[7] However, the human feedback often

comes from small groups of people. This leads to cultural bias, because a small group cannot represent the diversity of the entire world or different cultures.

Additionally, this process reinforces "safe" or "polite" answers. This does not necessarily remove the bias; instead, it hides it. The model learns to present the answer in a professional way, masking the underlying stereotypes.

The main problem here is that users believe the model has been "fixed" or "cleansed" of bias. This increases trust in the system and leads to blind acceptance of results that may still be inaccurate or biased, just harder to spot.

#### IV. CONCEPTUAL MODEL: HOW BIAS FLOWS THROUGH AN LLM

This paper proposes a conceptual model to understand the "flow" of bias. Bias is not static, it moves and changes from the initial data collection all the way to the final decision made by a human user. This process can be visualized in the following stages:

- **Data Bias (Flawed Inputs):** The process begins with the raw training data. As mentioned earlier, this data often contains historical inequalities, missing information (sparsity), and stereotypes. If the input is flawed, the foundation of the model is already compromised.
- **Encoding Bias (Tokenization Distortion):** During tokenization, the text is broken down. Here, distortions occur when non-English or cultural terms are split into too many small tokens. This adds complexity and reduces the model's ability to understand the context of minority languages or groups.
- **Model Bias (Statistical Learning):** Inside the model architecture (Transformers), algorithms like gradient descent work to minimize loss. In doing so, they amplify frequent patterns. Stereotypes, which are often "statistically strong" in the data, are learned and reinforced as facts.
- **Output Bias (Inaccurate Responses):** The result of the previous steps is the generation of the output. The model produces text that may be factually incorrect, discriminatory, or "confidently wrong."
- **Social Bias (User Interpretation):** The final stage happens outside the machine. It occurs when users trust the output blindly because of the model's professional tone. This leads to real-world actions based on biased information, affecting hiring, law, or education.

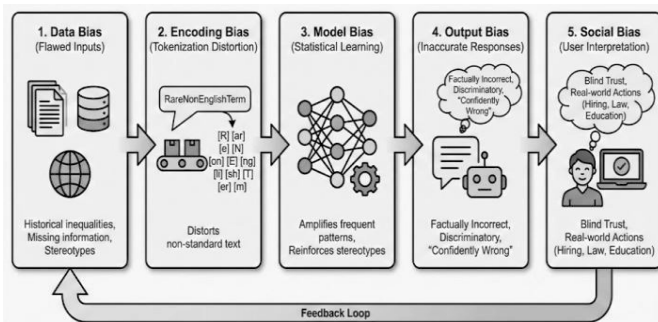


Fig. 1: The Flow of Bias in Large Language Models

This model shows that bias is a cycle. The "Social Bias" (users acting on AI decisions) creates new data that is eventually fed back into future models, restarting the loop.

#### V. SOCIAL IMPLICATIONS AND ACCURACY RISKS

The widespread use of Large Language Models has led to a significant problem: overreliance on AI. Because these models generate responses in a polite, authoritative, and professional tone, users often trust them blindly, even when the outputs are inaccurate or biased. This trust creates dangerous situations, particularly in high-stakes environments.

Impact on High-Stakes Domains When AI makes mistakes in critical fields, the consequences go beyond simple errors; they affect human lives.

- **Health:** If an LLM provides biased medical information, it can lead to misdiagnosis or incorrect treatment recommendations for specific demographic groups.
- **Law:** In the legal system, AI might generate unfair assumptions about certain groups or behaviors, influencing judgments and reinforcing systemic injustice.
- **Hiring:** Automated systems may evaluate resumes or names with bias, systematically favoring specific genders or ethnicities while rejecting qualified candidates from underrepresented groups.
- **Education:** Students often view AI as an "answer engine." If the model provides factually wrong but convincing answers, students learn and repeat false information.

A major risk is the gap between perceived accuracy and actual accuracy. LLMs sound confident, which leads users to assume correctness. However, when bias is combined with this "false accuracy," it creates a dangerous cycle. The model is not just wrong; it is persuasively wrong.

This dynamic raises serious ethical questions. The errors do not affect everyone equally; there is unequal harm to underrepresented groups. By reinforcing stereotypes and widening digital inequality, these models can unintentionally reverse social progress.

This brings us back to the main thesis of this paper: technical bias (in data and architecture) leads to inaccurate output, which ultimately results in significant social consequences. Bias is not just a technical glitch; it is a societal risk.

#### VI. DISCUSSION AND RECOMMENDATIONS

After defining the problem, it is essential to provide suggestions on how these issues can be improved. Addressing bias requires a combination of technical improvements and social adaptation.

- **Diverse Datasets:** The most obvious solution is to train models on more diverse datasets that represent a wider range of cultures and languages. However, this is challenging to achieve due to data availability.
- **Better Tokenizers:** Developers must improve tokenization methods to ensure they handle non-English languages and cultural terms without distortion.

- **Bias Audits:** Regular bias audits and the establishment of standardized evaluation metrics are necessary to detect unfair patterns before models are released.
- **Transparency:** There must be transparency about the model's limitations so users know when not to trust the output.

Technical solutions alone are not enough, society must also adapt.

- **User Education:** Users should be taught to apply critical evaluation to AI outputs. We need to improve "AI literacy" so people understand that these models are not infallible truth engines.
- **Policy and Regulation:** Policymakers should consider the balance between accuracy and risk, creating rules that protect the public without stopping innovation.
- **Human Oversight:** Organizations should require human oversight (a "human-in-the-loop") for all high-stakes areas, such as hiring, healthcare, and law.

To sum up, it is impossible to create a "perfect" model that is 100% accurate and fair. However, the goal is not theoretical perfection. The goal is to understand the sources of bias and improve how society relies on AI. By acknowledging the flaws in the system, we can use these powerful tools more safely and effectively.

## VII. CONCLUSION

This paper has analyzed the reliability of Large Language Models (LLMs) and demonstrated that bias is not accidental; it is a systematic issue created at every step of the model pipeline. From the collection of training data and the distortion caused by tokenization to the amplification of stereotypes during training, these technical factors directly impact the model's accuracy and trustworthiness.

The findings show that the consequences of these biases are significant. When people blindly depend on AI for important decisions in healthcare, law, or hiring, technical errors translate into real-world social harm. The "professional tone" of these models often masks their inaccuracies, leading to dangerous overreliance.

Ultimately, while we may not be able to eliminate bias completely, we can mitigate its effects. By combining technical improvements with awareness and transparency, we can prevent misuse. It is crucial that users, developers, and policymakers understand these limitations to ensure that AI serves as a helpful tool rather than a source of inequality.

## REFERENCES

- [1] Chapman University (2025). Bias in AI. [online] www.chapman.edu. Available at: <https://www.chapman.edu/ai/bias-in-ai.aspx>.
- [2] Mondorf, P. and Plank, B. (2024). Beyond Accuracy: Evaluating the Reasoning Behavior of Large Language Models -- A Survey. [online] arXiv.org. Available at: <https://arxiv.org/abs/2404.01869>.
- [3] Srinivasan, Sathish Kumar (2025). Understanding Data Sparsity in Data Warehousing and Analytics. [online] Medium. Available at: <https://medium.com/@sathishdba/understanding-data-sparsity-in-datawarehousing-and-analytics-79965d348cc8>.
- [4] IBM (2025). Tokenization. [online] Ibm.com. Available at: <https://www.ibm.com/think/topics/tokenization>.
- [5] IBM (2023). What Is a Transformer Model? [online] Ibm.com. Available at: <https://www.ibm.com/think/topics/transformer-model>.
- [6] Bergmann, D. (2024). Fine Tuning. [online] Ibm.com. Available at: <https://www.ibm.com/think/topics/fine-tuning>.
- [7] Amazon Web Services (n.d.). What is RLHF? - reinforcement learning from human feedback explained - AWS. [online] Amazon Web Services, Inc. Available at: <https://aws.amazon.com/whatis/reinforcement-learning-from-human-feedback/>.

# Investigation of Optical Sensor Systems for 3D Object Localization: Methods, Challenges and Comparison

## Untersuchung von optischen Sensorsystemen für die 3D-Objektlokalisierung: Methoden, Herausforderungen und Sensorvergleiche

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

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

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

**Abstract** — Estimating the pose of an object in space is a major research problem in computer vision. Determining the required six degrees of freedom (6DoF) can be done using a variety of methods, broadly divided into two groups: classical and AI-based approaches. A common feature of all algorithms is that they process input data captured by optical systems. In this work, several sensor systems for image acquisition are examined and evaluated for their suitability for 6D pose estimation using classical methods. The use case is the precise determination of the pose of multiple components in space. These are arbitrary objects for which CAD models are available, to be separated using a vibratory bowl feeder. The goal is to collect data to calibrate a simulation environment for the automated design of feeder geometry. Challenges for optical systems arise from material properties and object occlusions.

**Zusammenfassung** — Die Schätzung einer Pose im Raum stellt ein wichtiges Forschungsproblem des maschinellen Sehens dar. Die Bestimmung der sechs benötigten Parameter kann auf vielfältigen Methoden basieren, die sich im Wesentlichen in zwei Gruppen unterteilen: klassische und KI-basierte Ansätze. Allen Algorithmen ist es gemein, Eingangsdaten zu erhalten, die von optischen Systemen erfasst werden. In dieser Arbeit werden mehrere Sensorsysteme zur Bildaufnahme betrachtet und hinsichtlich ihrer Eignung für die 6D-Posenschätzung mittels klassischer Verfahren evaluiert. Als Anwendungsfall dient die präzise Bestimmung der Positionen mehrerer Bauteile im Raum. Es handelt sich um beliebige Körper, von denen ein CAD-Modell bekannt ist, die mithilfe eines Wendelschwingförderers voneinander getrennt werden sollen. Ziel ist die Erhebung von Daten zur Kalibrierung einer Simulationsumgebung zur automatisierten Erstellung der Fördergeometrie. Schwierigkeiten für optische Systeme ergeben sich aus der Art des Materials und der Verdeckungen der Objekte.

### I. EINFÜHRUNG

Die 6D-Posenschätzung stellt ein zentrales Problem in der Computer Vision dar. Sie umfasst die Bestimmung der dreidimensionalen Position ( $x$ ,  $y$ ,  $z$ ) und Orientierung (Roll, Pitch, Yaw) eines Objekts in einem gegebenen Raum [1]. In zahlreichen Anwendungen, darunter Robotik, autonome Fahrzeuge, Augmented Reality (AR) und industrielle Automatisierung, ist eine präzise Lokalisierung von Objekten unabdingbar [2, 3]. Diese Arbeit widmet sich der Untersuchung konventioneller Verfahren, also ohne Verwendung künstlicher Intelligenz wie neuronaler Netze, zur 3D-Objektlokalisierung unter besonderer Berücksichtigung der verwendeten Sensortechnologien [4]. Ziel ist es, etablierte Methoden zu analysieren, ihre Leistungsfähigkeit in Kombination mit verschiedenen Kamerasystemen zu bewerten und zentrale Herausforderungen zu identifizieren. Als Anwendungsfall dienen 3D-Körper, die mit einem Wendelschwingförderer getrennt werden sollen. In [5] wurde gezeigt, dass eine automatisierte Erstellung der Fördergeometrie auf Basis evolutionärer Algorithmen möglich ist. Für eine praktische Realisierung werden jedoch bessere Simulationsmodelle für

die Flächenreibungskontakte zwischen Bauteil und Förderer benötigt. Die präzise Bestimmung der Bauteilposition im Raum kann dazu genutzt werden, die nichtlinearen Parameter der Simulation, wie Reibung, Kontaktflächeneffekte und die gegenseitige Beeinflussung mehrerer Bauteile, zu kalibrieren. Voraussetzung hierfür ist die Erfassung der Szene mit Bauteil und Förderer auf einem Bild.

### II. GRUNDLAGEN

Die 6D-Posenschätzung beruht auf der Verarbeitung von Bilddaten, die entweder in 2D (RGB) oder in 3D (Tiefeninformationen) vorliegen [6]. Die wesentlichen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Lokalisierung sind eine hinreichende Datenqualität, eine robuste Merkmalsextraktion sowie effektive Verfahren zur Merkmalszuordnung und Transformation.

### III. KONVENTIONELLE METHODEN ZUR 3D OBJEKT LOKALISIERUNG

#### A. Feature-basierte Verfahren

Diese Methoden basieren auf der Erkennung charakteristischer Bildmerkmale wie Ecken, Kanten oder

Texturen zur Objekterkennung und -lokalisierung. Beispiele sind SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), SURF (Speeded Up Robust Features) oder ORB (Oriented FAST and Rotated BRIEF) [7]. Sie eignen sich insbesondere für strukturierte Szenen mit klar erkennbaren Objekten [8, 9].

### B. Template Matching & Registrierung

Hierbei werden bekannte 3D-Modelle mit den aufgenommenen Sensordaten abgeglichen. Die Iterative Closest Point (ICP)-Methode [10] ist ein klassischer Ansatz, um die beste Übereinstimmung zwischen einem Modell und einer Punktwolke zu finden. Moderne Varianten erweitern den Ansatz durch verbesserte Kostenfunktionen und komplexere Modelle [11]. Eine erste grundlegende Arbeit, welche als Goldstandard für verbesserte Methoden herangezogen wird, findet sich in [12].

### C. Geometriebasierte Ansätze

Diese Verfahren setzen auf gerenderte geometrische Formen wie Kugeln, Zylinder oder Boxen, um komplexere Objekte zu modellieren. Durch Verfahren wie RANSAC (Random Sample Consensus) lassen sich robuste Transformationen auch bei stark verrauschten Daten berechnen. Ein prominentes Beispiel ist der Ansatz in [13]. Die Pose wird hier geschätzt und anschließend anhand gerenderter Objektinformationen verfeinert.

### D. SLAM- und Visual Odometry-Methoden

In bewegten Systemen (z.B. Robotern) kombinieren Methoden wie ORB-SLAM oder Kinect Fusion Lokalisierung und Kartenerstellung. Die erstellten Karten dienen hierbei als Referenz für die zu erkennenden Objekte. Zum Einsatz kommen sowohl visuelle als auch Tiefendaten zur Positionsschätzung verwendet [14].

## IV. SENSORBASIERTE PERSPEKTIVE

Die vorgestellten Methoden ermöglichen die Suche und den Vergleich von Objekten in Punktwolken. Diese Punktwolken repräsentieren durch Sensorik erfasste 3D-Daten, die auf unterschiedliche Weise gewonnen werden können. Die wichtigsten Vertreter sind optische Systeme, die ausschließlich auf Kameradaten basieren oder diese durch den Einsatz aktiver Verfahren ergänzen. Liegen die Daten in Form dreidimensionaler Punktvektoren vor, erfolgt die Auswertung nach klassischen Verfahren mittels bekannter und effizienter Implementierungen. In dieser Arbeit wurden drei kamerabasierte Systeme genauer untersucht.

Als Testobjekt wurde ein mit KI-Methoden entworfener Wendelschwingförderer [5] genutzt, der für realistische Tests mit den gegebenen Bauteilen entwickelt wurde. Das in der KISimulation gewonnene Modell und der Förderer sind in Abbildung 1 a) und b) dargestellt.

### A. Kinect-Sensor

Die Familie der Kinect-Kameras nutzt in der ersten Generation einen Structured-Light-Ansatz, bei dem ein Punktmuster im Infrarotbereich verwendet wird, um Tiefeninformationen mithilfe einer bekannten monokularen Kamera zu gewinnen. Die zweite Generation weist eine deutlich gesteigerte Auflösung auf und basiert auf dem Time-of-Flight-Verfahren, das die Tiefeninformation für Einzelpixel auf Basis eines hochfrequent modulierten Infrarotlichts mittels phasenmodulierter Laufzeitkorrelation gewinnt. In beiden

Fällen spricht man von sog. RGB-D Daten, da die Information eines Farbbildes und der pixelgenauen Tiefe vorliegt [15].

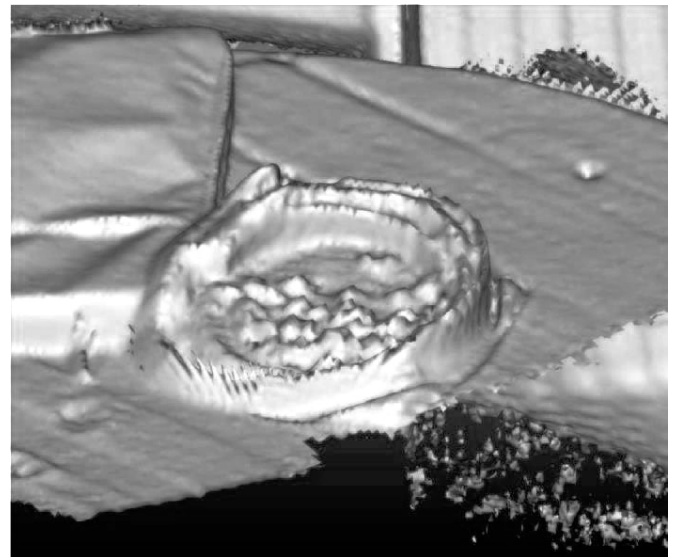


Abbildung 2. Ein dreidimensionales Modell, berechnet aus einer Punktwolke mittels Kinect-Fusion.

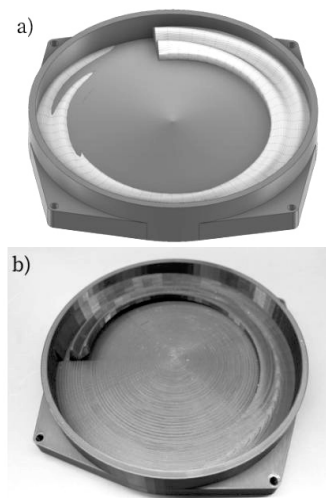


Abbildung 1. a) KI-optimierter Entwurf eines Wendelschwingförderers. b) erstelltes Testobjekt für den Tiefensensortest.

Die Vorteile sind die einfache Integration und der niedrige Preis. Die Genauigkeit ist im Nahbereich gut, nimmt jedoch mit der Entfernung und bei starkem Umgebungslicht ab.

In einem ersten Schritt wurden Tests mit einer Kinect V2-Kamera durchgeführt. Diese erfordert lediglich ein Adapterkabel sowie ein Netzteil, um mit einem Computer statt mit einer Xbox verwendet werden zu können. Dank des umfangreichen proprietären Software-Development-Kits (SDK) von Microsoft können Tests mit dem System effizient und schnell durchgeführt werden. Das Testobjekt war der Wendelschwingförderer mitsamt den zu fördernden Teilen. Ziel des Verfahrens ist es, die Lage der Bauteile im Bezug auf den Förderer zu ermitteln, um die entsprechenden physikalischen Parameter zu optimieren. Das Material aller Teile ist schwarzes PLA (3D-Druckmaterial). Das Resultat der Aufnahme ist in Abbildung 2 zu sehen.

Da der Kinect-Sensor aufgrund seines Funktionsprinzips eine Minimaldistanz von einem halben Meter voraussetzt, ergibt sich in Kombination mit geringer Abstand und geringer Auflösung keine adäquate Repräsentation des Objekts. Zudem beeinflusst das infrarotlichtabsorbierende Verhalten des schwarzen Materials die Qualität negativ. Üblicherweise wird bei der Digitalisierung von Objekten, insbesondere mit strukturiertem Licht, eine retroreflektierende Beschichtung aufgetragen. Dies ist jedoch in diesem Fall nicht möglich und wird auch in einer möglichen Anwendung nicht möglich sein. Abbildung 2 zeigt ein dreidimensionales Modell, das mit Hilfe der von der Kinect aufgezeichneten Punkte berechnet wurde. Deutlich erkennbar sind die fehlerhaft geschätzten Tiefendaten; ebenso wenig ist die Form der Teile ausreichend unterscheidbar. Diese Art der Aufzeichnung ist daher ungeeignet zur Schätzung einer Objektpose.

### B. ZED-3D-Kamera

Die ZED-Kamera basiert auf dem Prinzip der Stereoskopie: Aus zwei hochauflösenden Bildern wird durch den Vergleich der Bildpunkte eine Tiefenkarte erstellt. Vorteile sind die hohe Auflösung der Bild- und Tiefendaten. Allerdings ist die Tiefenschätzung in texturarmen Bereichen unzuverlässig.

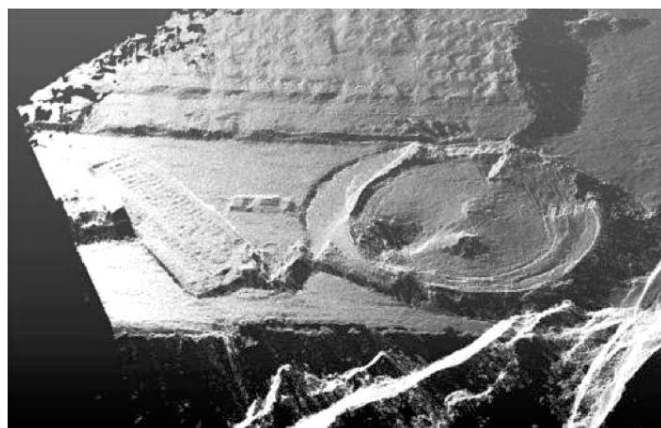


Abbildung 3. Die Darstellung des gedruckten Wendelschwingförderers, berechnet aus den ZED-Stereokamera-Tiefendaten.

Stereokameras sind ein häufig eingesetztes Sensorsystem zur Aufzeichnung von 3D-Bildern. Zur Verfügung stand eine ZED2-Kamera, die über eine mitgelieferte Software die Kalibrierung und die Disparitätsschätzung ermöglicht. Details zu den Daten der Kamerasysteme ZED1 und ZED2 finden sich in [16]. Die gewonnenen 3D-Punkte werden als Punktwolke abgespeichert und wiederum eine Objektdarstellung aus mehreren Aufnahmen berechnet. Erneut wurde der Wendelschwingförderer mit einem Teil als Testobjekt verwendet. Abbildung 3 veranschaulicht die Ergebnisse dieser Untersuchung.

Problematisch für den Ansatz der Stereoskopie sind das Fehlen prägnanter Merkmale auf der Oberfläche des Wendelschwingförderers und der Bauteile (die in Abbildung 4 gezeigten Kunststoffhaken). Diese Merkmale sind essenziell, um Korrespondenzen zwischen den Einzelbildern zu identifizieren und daraus eine Tiefenkarte abzuleiten. Abbildung 3 zeigt das mit einer ZED-Kamera aufgenommene Bild des spiralförmigen Vibrationstransporters, ohne die Punkttexturen zu überlagern, um eine bessere Sichtbarkeit zu gewährleisten. Dabei sind deutliche Tiefenartefakte erkennbar. Auf dem Wendelschwingförderer befindet sich mittig ein Bauteil, das in der Punktwolke jedoch nicht sichtbar ist.

Zudem ist erkennbar, dass die Tiefen sowohl am Förderer als auch am Bauteil falsch geschätzt werden. Das Bauteil weist sogar Flächen ohne Tiefenangaben auf. Obwohl die Ergebnisse eine qualitative Verbesserung gegenüber der Kinect aufweisen, erscheint ein Posen-Matching auch in diesem Fall nicht möglich.

### C. Monokulare Kamera

Monokulare Kamerasysteme liefern nur 2D-Farbbilder. Die 3D-Information wird mittels Bewegungsparallaxe (Structurefrom-Motion) oder trainierter neuronaler Netze geschätzt. Der Ansatz ist kostengünstig, aber die Tiefenschätzung ist im Vergleich zu Stereosystemen ungenauer und weniger robust.

In diesem konventionellen Test wurden Bilder mit einer Monokularkamera aufgenommen. Hierfür wurde die Kamera eines Samsung Galaxy S10 verwendet. Angesichts der hervorragenden Bildqualität moderner Kameras lautete die Hypothese, dass einem Monokularbild im Vergleich zu den kommerziell erhältlichen 3D-Kameras im Low-Cost-Bereich mehr Informationen entnommen werden können. Da Menschen in der Lage sind, die Pose eines Objekts anhand eines Monokularbilds und eines CAD-Modells zu schätzen, wurde die Hypothese formuliert, dass auch moderne Algorithmen, ähnlich wie bei der Objekterkennung, menschliche Leistungen in dieser Disziplin übertreffen können. Daher wurde in einem ersten Schritt geprüft, ob man mithilfe eines Template-Matching-Verfahrens die Position eines 3D-Objekts im Bild bestimmen kann.

## V. VERGLEICH UND BEWERTUNG

### A. Tests mit Template-Matching

Das Template-Matching ist die Erweiterung des Kreuzkorrelationsverfahrens um zwei Dimensionen. In Abbildung 4 wird das Verfahren veranschaulicht. Das Bauteil wird auf Basis eines CAD-Modells gedruckt und ist im Bild oben links dargestellt. Das CAD-Modell oben rechts. Das Ergebnis einer Verschiebungsbestimmung mit Hilfe des Template-Matchings ist unten rechts im Bild dargestellt. Das Gütemaß des normalisierten Kreuzkorrelationskoeffizienten ermöglicht die direkte Interpretation des Ergebnisses, das mit rund 94% außerordentlich gut ist. Das unten links gezeigte qualitative Ergebnis zeigt die Überlagerung des CAD-Modells auf das Originalbild.

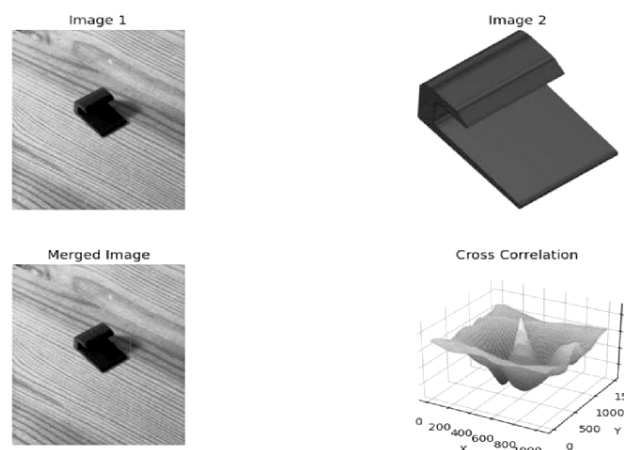


Abbildung 4. Darstellung eines traditionellen Matchingverfahrens mittels Template-Matching mit OpenCV. Bild des 3D-Druckteils oben links, CAD-Modell oben rechts, optisches Ergebnis unten links. Ergebnis auf Basis der normalisierten Kreuzkorrelation unten rechts.

Um das CAD-Modell für das Template-Matching zu nutzen, muss es in einem Bildverarbeitungsprogramm ausgerichtet und skaliert werden. Da die Freiheitsgrade der 6D-Erkennung neben der Translation auch drei Rotationen, verschiedene Skalierungen und Farbvarianten umfassen, ist der Ansatz des Template-Matchings aufgrund der exponentiell steigenden Rechenzeit nicht praktikabel. Es wären Millionen unterschiedlicher Rotations- und Skalierungskombinationen erforderlich, um die Position aller Bauteile auf einem Bild zu bestimmen. Das exemplarische Matching wurde mithilfe der OpenCV-Bibliothek und des Programmiersprachs Python manuell durchgeführt. Dieser einfache Vorversuch zeigt jedoch, dass es prinzipiell möglich ist, CAD-Teile in Bildern zu lokalisieren. Der Versuch war somit die Grundlage für weitere Untersuchungen mit neuronalen Netzen, die auf monokulare Bilder spezialisiert sind.

### B. Auswertung der Systeme

Die vorgestellten Kamera- und Tiefensysteme wurden hinsichtlich ihres Einsatzes mit klassischen ObjektmatchingMethoden verglichen. Verfahren wie das Template-Matching erweisen sich hierbei aufgrund der Variabilität möglicher Teile und der exponentiell steigenden Anzahl möglicher Kombinationen der Pose als nicht praxistauglich. Trotzdem konnte auf Basis der Algorithmen ein bewertender Vergleich der möglichen optischen Setups durchgeführt werden.

Je nach Anwendung ergeben sich unterschiedliche Eignungen. Für Echtzeitanwendungen im Nahbereich (z. B. Gestenerkennung) eignet sich Kinect. ZED eignet sich für mobile Systeme mit hohen Reichweitenanforderungen. Monokulare Systeme eignen sich bei geringem Budget und bei festen Kamerapositionen. In Tabelle 1 sind die qualitativen Ergebnisse der Untersuchung aufgelistet?

Tabelle 1: Qualitativer Vergleich der optischen Sensorsysteme

Sensor	Datentyp	Genauigkeit	Kosten	Rechenaufwand	Robustheit
Kinect	RGB-D	Mittel	Niedrig	Mittel	Mittel
ZED	Stereo	Hoch	Hoch	Hoch	Hoch
Monokular	RGB	Gering	Sehr niedrig	Niedrig	Gering

Alle Systeme weisen spezifische Vor- und Nachteile auf. Die mit der ZED2-Stereokamera gewonnenen Daten bilden allerdings die beste Grundlage für punktwolkenbasierte Verfahren. Sollen Matchingverfahren auf 2D-Basis eingesetzt werden, empfiehlt sich die Verwendung monokulärer Systeme.

### VI. HERAUSFORDERUNGEN UND OFFENE PROBLEME

Zu den wesentlichen Herausforderungen in der optischen Erkennung von 6D-Posen zählen die Oberflächenbeschaffenheit der zu detektierenden Objekte sowie die Beeinträchtigung durch Verdeckungen (Okklusionen). Andere Herausforderungen in der Studie sind Sensorausfälle, Störungen durch Lichtverhältnisse, Datenrauschen sowie die Berechnungsdauer der verwendeten Algorithmen. Dies ergibt ein Spannungsfeld zwischen Genauigkeit, Rechenaufwand und Echtzeitfähigkeit, das an die Gegebenheiten vor Ort angepasst werden muss. Viele Verfahren sind stark szenenspezifisch und generalisieren schlecht. Eine weitere Herausforderung stellt die Integration

heterogener Sensordaten dar, was insbesondere bei der Verwendung mehrerer Kameras mit unterschiedlichem Blickwinkel sowie bei der Kalibrierung von großer Bedeutung ist.

### VII. FAZIT UND AUSBLICK

Konventionelle Verfahren zur 3D-Objektlokalisierung bilden die Basis vieler Computer-Vision-Anwendungen. Ihre Leistungsfähigkeit ist eng mit der Qualität der Eingangsdaten verknüpft, die wiederum von der gewählten Kamera abhängt. Während Sensoren wie Kinect und ZED hohe Datenqualität liefern, sind monokulare Kameras für einfache Szenarien eine kostengünstige Alternative. Zukünftig werden hybride Ansätze und KI-gestützte Methoden eine zunehmende Rolle spielen, insbesondere im Kontext von Edge-Computing und Echtzeitanwendungen.

### ACKNOWLEDGMENT

The authors thank the Research and Development Sector of the Technical University of Sofia and the German Academic Exchange Service for their material and financial support.

### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] P. Besl and N. McKay, "A method for registration of 3-D shapes," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 14, no. 2, pp. 239-256, Feb. 1992.
- [2] R. Bogue, "Bin picking: a review of recent development," 2023.
- [3] Z. Liu, L. Jiang and M. Cheng, "A Fast Grasp Planning Algorithm for Humanoid Robot Hand," 2024.
- [4] J. Guo et al., "Efficient Center Voting for Object Detection and 6D Pose Estimation in 3D Point Cloud," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 30, pp. 5072-5084, 2021.
- [5] S. Hensel, M. Marinov and J. Fischer, "Optimization of Bowl Feeders Structure for Arbitrary Parts with Machine Learning," in *8th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, 2023.
- [6] Z. He, W. Feng, X. Zhao and Y. Lv, "6D Pose Estimation of Objects: Recent Technologies and Challenges," *Appl. Sci.*, vol. 11, no. 228, 2021.
- [7] D. G. Lowe, "Distinctive Image Features from Scale-Invariant Keypoints," *Int. J. Comput. Vision*, vol. 60, no. 2, p. 91-110, November 2004.

# Students' Opinions about Needed University Platforms

## Studentenmeinungen zu benötigten Universitätsplattformen

Svetla Ivanova-Vassileva

Engineering Design Department, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria, vassileva@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** — This paper is about students' ideas and preferences about university platforms. Opinions of Master students in Engineering Design of the Technical University of Sofia are explored. The reported needs are mainly for information about tasks, deadlines, communication with Students Office and university lecturers. Some applied platforms are evaluated against functionality, usability and interaction design principles. Recommendations for improvement are summarized.

**Zusammenfassung** — Dieser Artikel stellt Vorstellungen und Präferenzen von Studierenden bezüglich Hochschulplattformen vor. Es werden die Meinungen von Masterstudierenden in der Fachrichtung Ingenieurdesign der Technischen Universität Sofia untersucht. Die genannten Bedürfnisse beziehen sich hauptsächlich auf Informationen zu Aufgaben, Fristen und der Kommunikation mit dem Studentenamt und den Dozenten der Hochschule. Einige der verwendeten Plattformen werden hinsichtlich ihrer Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit und Interaktionsdesignprinzipien bewertet. Empfehlungen für Verbesserungen werden zusammengefasst.

### I. PROBLEMBESCHREIBUNG

An der Technischen Universität – Sofia sowie an anderen Hochschulveranstaltungen kann man bezüglich der digitalen Lehre folgendes feststellen:

- Es sind verschiedene Dozenten und verschiedene Plattformen vorhanden;
- Diverse Lernprojekte werden entwickelt;
- Es gibt Plattformen mit vielen Funktionen, die aber nicht geeignet für Bildungsaufgaben an der Uni sind;
- Probleme mit den Interaktionsprinzipien, mit der Gebrauchstauglichkeit und der Benutzererfahrung (UX) treten auf;
- Hybrides Studium mit den Vorteilen beider Studienformen wird angewandt

Daraus entstehen viele Benutzerbedürfnisse und Schwierigkeiten für die Lehrbeteiligten.

### II. LERNPROJEKTE DER STUDENTEN IN INGENIEURDESIGN

#### A. Teilnehmer

Die Teilnehmer sind:

- Masterstudenten in den Fächern Usability Engineering und Nutzererlebnis-Design (UXD) und
- Bachelorstudenten in Ingenieurdesign, die Wissen über Softwareergonomie, Interaktionsdesign und Informationsdesign im Rahmen des Studiums Interaction Design erworben haben.

Die Studenten sind ca. 50 junge Frauen und Männer im Alter 21-25.

#### B. Zeitraum

Die Durchführung der Untersuchung ist in zwei Studienjahren zwischen 2023 und 2025.

### III. LÖSUNEN DER STUDIERENDEN

Ein Teil der Lösungen sind im Rahmen von Lernaufgaben und in Teams gefunden.

Andere sind während individuellen Studien- und Kursprojekte entstanden.

Anwendung verschiedener Usability- und UX-Ansätze für Analysen.

### IV. INTERAKTIONSPRINZIPIEN, USABILITY UND UX

Die Gebrauchstauglichkeit und die Interaktionsprinzipienkonformität wird aufgrund der ISO-Normen [1, 2] bewertet. Dort werden die Usability- und UXD- (User Experience Design) Konzepte und ihre Verbindung beschrieben. Die theoretischen und praxisbezogenen Evaluationsgrundlagen, die die Studenten anwenden, basieren auf die Empfehlungen in den Normen [1, 2, 3, 4, 5] und Forschungen [6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20] der Interaktions-, Gebrauchstauglichkeits- und UX-Methoden, -Verfahren, Ansätzen und -Werkzeugen (Tools). Die Lehre hilft den Teilnehmern bei der Auswahl unter den vielen Evaluationsvarianten und trägt für die zukünftige berufliche Erfahrung bei. Gebrauchstauglichkeitsprobleme, die man festgestellt, sind die externe Konsistenz, verschiedene Modelle in Teams oder Classroom und Moodle (siehe Tabelle 1), z.B. fehlende Übersicht aller Aufträge (Assignments). Weitere Probleme sind die fehlende automatische Information über Termine (study deadlines), Nachrichten- (chat) und Kontaktmöglichkeiten, Individualisierungsmöglichkeiten

### V. EMPFEHLUNGEN ZUR VERBESSERUNG

Die Plattformen werden bezüglich ihrer Funktionalität, Gebrauchstauglichkeit und Übereinstimmung mit den Prinzipien des Interaktionsdesigns evaluiert.



TABLE I. VERGLEICH VON DREI PLATTFORMEN, ANGEWANDT BEI DER LEHRE AN DER UNI

Kriterium	Microsoft Teams	Google Classroom	Moodle
Aufgabenübersicht	Fragmentiert (pro Team)	Zentralisierte To-do-Liste	Abhängig vom Dashboard-Design
Fristen-Info	Via OutlookKalender	Integrierter Google Kalender	Interner Kalender /Timeline
Kommunikation	Synchron (Chatfokussiert)	Asynchron (Stream-basiert)	Gemischt (Foren & Nachrichten)
Anpassbarkeit	Gering (starr)	Sehr gering	Sehr hoch (modular)

Ein Vergleich von MsTeams, Google Classroom und Moodle gegenüber der Kriterien Aufgabenübersicht, Fristenauskunft, Kommunikation und Anpassbarkeit ist in Tabelle 1 dargestellt [21, 22, 23].

## VI. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Die Gestaltung eines eigenen Universitätslehrsystems ist empfehlenswert für die bessere UX in der Erfüllung der alltäglichen Aufgaben.

Für die Realisierung ist die weitere Nutzer- und Aufgabenanalyse notwendig. In den nächsten Jahren können weitere Nutzerdaten über die Studierende und das Universitätspersonal gesammelt werden.

Das Design einer Plattform für Studierende der TU-Sofia wäre ein Vorteil.

## DANKSAGUNG

Mit grosser Dankbarkeit an die Studenten, die ihre Lehraufgaben mit viel Fleiss und Kreativität erfüllt haben, insbesondere an Mag.Ing. Svetoslav Ivanov.

## QUELLEN

- [1] International Standard Organization, ISO 9241-11 (2018) Ergonomics of human-system interaction - Part 11: Usability: Definitions and concepts
- [2] International Standard Organization, ISO 9241-110 (2020) Ergonomics of human-system interaction - Part 110 Interaction Principles
- [3] International Standard Organization, ISO 9241-115 (2024) Ergonomics of human-system interaction - Part 115 Guidance on Conceptual Design, User-System Interaction Design, User Interface Design and Navigation Design
- [4] International Organization for Standardization (ISO) ISO 9241-210 Ergonomics of human system interaction - Part 210: Human-Centered Design for Interactive Systems, 2009
- [5] International Organization for Standardization (ISO) ISO 25010 Systems and software engineering — Systems and Software Quality Requirements and Evaluation (SQuaRE) — System and Software Quality Models, 2011
- [6] Nielsen, J. *Usability Engineering*. San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993
- [7] Nielsen, J., *Usability Inspection Methods*. John Wiley & Sons, New York, 1994
- [8] Faulkner, Xr *Usability Engineering*. New York, Palgrave Macmillan, 2000
- [9] Preece, J., Y. Rogers, H. Sharp, D. Benyon, S. Holland, and T. Carey, *Human Computer Interaction*. Harlow, England: Addison-Wesley, 4th Edition 2015.
- [10] Richter M., M. Flückiger, *Usability Engineering kompakt*, Benutzbare Software gezielt entwickeln ISBN 978-3-8274-2328-3 2. Auflage 2010 Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg (Spektrum Akademischer Verlag ist ein Imprint von Springer), 2010

- [11] Stapelkamp, Torsten, *Interaction- und Interfacedesign, Web-, Game-, Produkt- und Servicedesign*. Usability und Interface als Corporate Identity, Reihe: X.media.press, Springerverlag, 2011, ISBN 978-3-642-02074-2, Print version ISBN 978-3-642-02073-5
- [12] Pearrow, M., *Web Site Usability Handbook*, Charls River Media Inc., Rockland, Massachusetts, 2000
- [13] Boehringer J., P. Buehler, P. Schlaich, *Kompendium der Mediengestaltung für Digital- und Printmedien*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- [14] Galitz, W. O., *The Essential Guide to User Interface Design. An Introduction to GUI Design Principles and Techniques*, Wiley Publishing Inc., Indianapolis, 2007
- [15] Hix, D., H. R. Hartson, *Developing User Interfaces: Ensuring usability through product & process*, John Wiley and Sons, New York, 1993
- [16] Ivanova-Vassileva, S., *Research on The Relation UsabilityPerformance-Acceptability of Graphical User Interfaces*, PhD Thesis (in Bulgarian language), TU-Sofia, Sofia, 2018
- [17] Soegaard, M., Usability: A part of the User Experience, <https://www.interaction-design.org/literature/article/usability-a-part-of-the-user-experie>, 09.2022
- [18] Garrett, J. J., The Elements of User Experience, 2011 [https://www.academia.edu/33276128/The\\_Elements\\_of\\_User\\_Experience\\_Jesse\\_James\\_Garrett](https://www.academia.edu/33276128/The_Elements_of_User_Experience_Jesse_James_Garrett) (aufgerufen am 21.01.2026)
- [19] UX Design Institute, The 5 elements of UX design explained, 29.06.2022 <https://www.uxdesigninstitute.com/blog/5-elements-of-uxdesign/> (aufgerufen am 21.01.2026)
- [20] Ivanova-Vassileva, S., Design Approach Based on 5 UX Planes, FDIBA Conference 2024
- [21] Moodle
- [22] MS Teams
- [23] Google Class

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK

# Optically Clear Adhesives' dependency on the Display White and Black Homogeneity

## Abhängigkeit optisch klarer Klebstoffe von der Darstellung von Weiß- und Schwarzhomogenität

Vergil Todorov Djamiykov\* and Vasil T. Galabov\*\*

\* Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering, Boshurishte, Bulgaria, E-mail: vergil9203@gmail.com

\*\*Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering, Sofia, Bulgaria, E-mail: vtg@tu-sofia.bg

**Zusammenfassung** — Die zunehmende Digitalisierung und Vernetzung von Automobilen führen zu einer stetig wachsenden Menge an Informationen, die Fahrern zur Verfügung stehen. Die korrekte Sortierung und Priorisierung der Einflussparameter der Qualität sind entscheidend für die Fahrsicherheit und die Benutzerfreundlichkeit. Dieser Artikel untersucht verschiedene OCA zur Fehleranalyse bei der Herstellung von Informationsdisplays für automobiler Informationssysteme. Dabei werden sowohl produktionsbezogene als auch benutzerfreundliche Aspekte berücksichtigt. Besonderes Augenmerk liegt auf der Relevanz der Fehlerklasse, der Dringlichkeit der Störung sowie den Auswirkungen auf die Fahrzeugfunktionen. Bestehende Ansätze zur Fehlersortierung werden analysiert, und potenzielle Optimierungsstrategien für Fertigungsprozesse werden diskutiert. Ziel ist es, eine effiziente und intuitive OCA zu finden, um eine schnelle und angemessene Reaktion des Displays zu erzielen.

**Abstract** — The increasing digitalization and interconnectivity of automobiles have led to a continuously growing volume of information available to drivers. The proper classification and prioritization of quality-related influence parameters are crucial for ensuring driving safety and usability. This article investigates various OCAs for error analysis in the manufacturing of automotive information displays. Both production-related and user-oriented aspects are taken into account. Particular emphasis is placed on the relevance of the error category, the urgency of the malfunction, and its impact on vehicle functions. Existing approaches to error classification are analyzed, and potential optimization strategies for manufacturing processes are discussed. The objective is to identify an efficient and intuitive OCA framework that enables a rapid and appropriate display response.

**Schlüsselwörter** – OCA, LOCAs, Priorisierung von Fehlermeldungen, Displayqualitätsprüfung, automatische optische Inspektion (AOI), LCD-Display-Test, Displayherstellung.

### I. INTRODUCTION

In der Displaytechnologie stellt die Verklebung verschiedener Komponenten mit optisch klaren Klebstoffen (Optically Clear Adhesives, OCAs) eine besondere Herausforderung dar. Wie Everaerts (2023) in seiner umfassenden Übersicht zu optisch klaren Klebstoffen für die Displaymontage betont, hängt die Leistungsfähigkeit dieser Klebstoffe in hohem Maße von der Weiß- und Schwarzhomogenität des LCD-Displays ab [4].

Ungleichmäßigkeiten in der LCD-Homogenität können sich direkt auf den Aushärtprozess auswirken, optische Defekte verstärken und die langfristige Zuverlässigkeit der Verbindung beeinträchtigen. Die Qualität eines LCD-Panels wird maßgeblich durch seine Homogenität bestimmt. Die Weißhomogenität beschreibt die gleichmäßige Helligkeitsverteilung über die gesamte Displayfläche, während die Schwarzhomogenität die Fähigkeit bezeichnet, ein tiefes, gleichmäßiges Schwarz ohne lokale Aufhellungen darzustellen (Figure 1). Strukturelle Inhomogenitäten im LCD-Aufbau, wie Variationen der Zellenstärke oder Spannungen im Substrat, manifestieren sich als optische Unregelmäßigkeiten, die die nachgelagerten Verklebungsprozesse erheblich beeinflussen können.

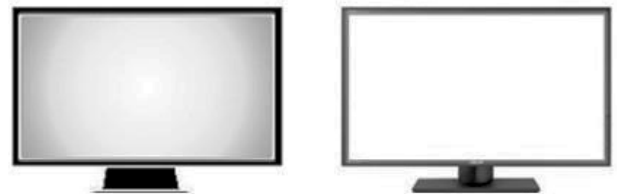


Figure 1 Gegenüberstellung zwei homogenität Bilder

### II. WECHSELWIRKUNGEN ZWISCHEN LCD-HOMOGENITÄT UND KLEBSTOFFPERFORMANCE

Der Aushärtungsprozess optisch klarer Klebstoffe stellt eine kritische Prozessstufe dar. Kim et al. (2024) untersuchten in ihrer Arbeit zu UV-entklebbaren, optisch klaren Klebstoffen für flexible Displays, wie unterschiedliche Aushärtungsmechanismen auf Inhomogenitäten im Substrat reagieren [1]. Eine ungleichmäßige Schwarzhomogenität kann eine lokale Absorption von UV-Licht verursachen, was zu einer inhomogenen Aushärtung führt. Dies kann Blasenbildung, Delaminierung oder Farbverschiebungen zur Folge haben. Yoshitake und Swatowski (2019) demonstrierten in ihrer Forschung zu bei Raumtemperatur härtenden, optisch klaren, flüssigen Klebstoffen für Automotive-Displays alternative

Aushärtungsmethoden, die weniger anfällig für solche Inhomogenitäten sind [2]. Ihre Entwicklung von Raumtemperatur-härtenden LOCAs (Liquid Optically Clear Adhesives) bietet Vorteile bei der Verarbeitung auf thermosensitiven Substraten. (Figure 2)

Die optische Performance verklebter Displays wird maßgeblich durch die Homogenität der Klebstoffschicht bestimmt. Wang et al. (2023) untersuchten UV-härtbare Polyurethanacrylat-Haftklebstoffe mit hoher optischer Klarheit zur Vollverklebung von TFT-LCDs [6].

TABELLE 1 MATERIAL- UND OPTISCHE EIGENSCHAFTEN DES UNTERSUCHUNGSKLEBSTOFF

Dicke: ( $\mu\text{m}$ )	Fullrate: (%)	Optische Eigenschaften:			Trübung:
250	30	L*96.77	a*-0.3	b*0.4	0.1
Lichtdurchlässigkeit:		Brechungsindex:		Dk@100KHz	
90.63		1.47		5.5	
Hochtemperaturbeständigkeit (HTO)					
95°C@1000Hrs					

Ihre Forschung zeigt, dass bereits geringe Dickenvariationen der Klebstoffschicht, verursacht durch darunterliegende Unebenheiten des LCD-Panels, zu störenden optischen Artefakten wie Schlieren oder Newtonringen führen können.

Die mechanische Performance von Klebstoffverbindungen in flexiblen und faltbaren Displays wurde umfassend von Salmon et al. (2017) untersucht [3]. In ihrer Modellierung der mechanischen Performance faltbarer Displaypanelen, die mit 3M optisch klaren Klebstoffen verklebt sind, zeigen sie, wie strukturelle Inhomogenitäten im Display zu lokalen Spannungskonzentrationen führen können. Campbell et al. (2017) erweiterten diese Forschung durch die Entwicklung optisch klarer Klebstoffe für faltbare und flexible OLED-Displays [8], wobei sie besonderes Augenmerk auf die Ermüdungsbeständigkeit unter zyklischer Belastung legten.

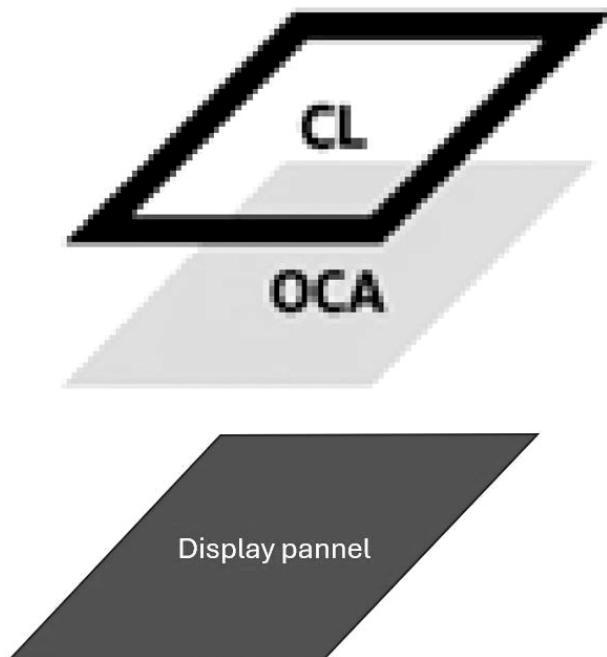


Figure 2 Aufbau der Display-Baugruppe (CL-OCA-Panel)

Die Forschung von Kim et al. (2024) zu durchsichtbarem Licht härtenden Klebstoffen stellt einen bedeutenden Fortschritt in der Aushärtungstechnologie dar [1]. Durch die Nutzung sichtbaren Lichts statt UV-Lichts lassen sich Probleme der inhomogenen Absorption durch das LCD-Panel vermeiden. Gleichzeitig ermöglicht die UV-Entklebbarkeit ein recycelbares Design. Lu et al. (2012) lieferten grundlegende Forschung zu flüssigen optisch klaren Klebstoffen für Displayanwendungen [5]. Ihre Arbeit legte den Grundstein für die Entwicklung von Klebstoffsystemen mit verbesserter Kompatibilität zu verschiedenen Displaytypen. Campbell (2016) fasste in seinem Übersichtsartikel die verschiedenen Materialklassen und deren Anwendungsprofile zusammen [7].

Die Integration moderner Klebstofftechnologien mit präziser Prozesskontrolle stellt den vielversprechendsten Ansatz zur Überwindung der beschriebenen Herausforderungen dar. Die Kombination aus spezialisierten Klebstoffformulierungen mit angepassten Aushärtungsmechanismen. Präziser Applikationstechnologie zur Gewährleistung gleichmäßiger Schichtdicken. Optische Inspektionsverfahren zur Qualitätssicherung ermöglichen die Herstellung hochwertiger Displayverbindungen trotz inhärenter Substratinhomogenitäten.

### III. FORSCHUNGSSCHWERPUNKT UND FORSCHUNGSFRAGEN

Der vorliegende Forschungsschwerpunkt konzentriert sich auf die Entwicklung und Charakterisierung wärmestabiler, optisch klarer Klebstoffsysteme für die Display-Fertigung, mit besonderem Fokus auf Homogenität und Langzeitstabilität. Ausgehend vom Klebstoffsystem BenQ B203 (Figure 3 und Tabelle 1) werden systematische Untersuchungen durchgeführt, um die Wechselwirkungen zwischen Materialeigenschaften, Prozessparametern und der optischen Performance zu verstehen. Die gemessenen Viskositätswerte im Bereich von 30–360 Einheiten sowie die untersuchten Temperaturbereiche von 12,0 °C bis 27,0 °C bilden die experimentelle Grundlage für die Optimierung von Klebstoffformulierungen für Display-Applikationen, da sie unmittelbar Einfluss auf Viskosität, Benetzungsverhalten und Aushärtungskinetik nehmen und damit die Homogenität der finalen Verklebung bestimmen.



Figure 3 Glas-Glasplate Verbindung von Benq B203

Die gemessenen optischen Dichtewerte von 1,01 bis 1,09 korrelieren direkt mit der Leistungsfähigkeit des Klebstoffs hinsichtlich der Lichtstreuung und der Transmission. Werte nahe 1,01 weisen auf minimale Lichtstreuung und maximale Transmission hin, was für Automotive-Display-Anwendungen entscheidend ist. Die Homogenität der Klebstoffschicht, beeinflusst durch die Viskositätseigenschaften, wirkt sich direkt auf die Weiß- und Schwarzhomogenität der LCDs aus. Inhomogenitäten in der Klebstoffschicht können zu lokalen Variationen der optischen Dichte führen und damit die Display-Qualität beeinträchtigen.

Die Untersuchungen zeigen, dass das Klebstoffsystem mit verschiedenen Display-Materialien kompatibel ist. Die Grenzflächenphänomene zwischen Klebstoff und Substratmaterialien wie Glas, Polymeren und ITO-Schichten werden maßgeblich durch die Viskosität und die Benetzungseigenschaften beeinflusst. Bei optimaler Einstellung der Prozessparameter bildet sich eine homogene Grenzschicht, die sowohl mechanische Stabilität als auch optische Leistung gewährleistet. Die Haftungsmechanismen hängen von der chemischen Zusammensetzung des Klebstoffs und der Oberflächenenergie der Substrate ab. Die systematische Untersuchung des Klebstoffsystems von BenQ B203 liefert wertvolle Erkenntnisse zur Entwicklung optimierter Klebstoffformulierungen für Display-Anwendungen. Die Korrelation zwischen

Materialeigenschaften, Prozessparametern und der optischen Performance ermöglicht eine gezielte Optimierung anhand spezifischer Anwendungsanforderungen. Die gewonnenen Erkenntnisse bilden eine solide Grundlage für die Weiterentwicklung von Klebstoffsystemen, die den steigenden Anforderungen an die Display-Qualität und Zuverlässigkeit gerecht werden. (Figure 4)

Bei niedrigen Temperaturen von 12,0–15,0 °C ist eine erhöhte Viskosität des Klebstoffs zu erwarten, die zu erschwerter Verarbeitung und unzureichender Benetzung führen kann. Im optimalen Bereich von 20,0–24,0 °C wird dagegen eine ideale Balance zwischen Fließverhalten und Standfestigkeit erreicht. Temperaturen über 25,0 °C können die Topfzeit verkürzen und vorzeitige Aushärtung auslösen.

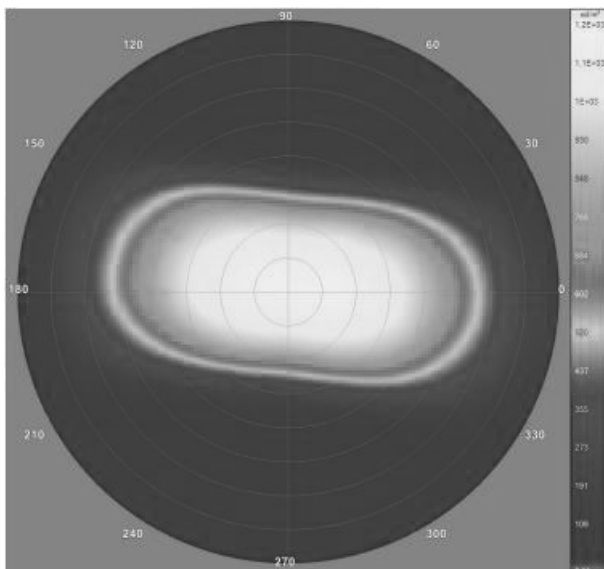


Figure 4 Polare Leuchtdichteverteilung einer Panel

Die Daten zeigen die Notwendigkeit eines präzisen Temperaturmanagementsystems. Die Implementierung von temperierten Lagern und Vorbereitungszone ist essenziell, um die Substrate im optimalen Temperaturbereich von 20,0–23,0 °C zu stabilisieren. Besonders kritisch sind Temperaturen unter 16,0 °C, da eine Vorwärmung der Materialien erforderlich ist.

Die Starttemperatur beeinflusst maßgeblich die Kinetik der Aushärtungsreaktion. Bei niedrigen Ausgangstemperaturen (12,0–15,0 °C) ist mit verlangsamt Aushärtungsprozessen zu rechnen, die zu unvollständiger Vernetzung führen können. Temperaturen im optimalen Bereich ermöglichen hingegen eine

kontrollierte und vollständige Aushärtung mit optimalen mechanischen und optischen Eigenschaften.

Die Messung der Temperaturen vor der Verklebung zeigt die kritische Bedeutung der Ausgangsbedingungen für die Qualität optischer Verklebungen. Die Einhaltung des optimalen Temperaturbereichs von 20,0–24,0 °C ist entscheidend für reproduzierbare Ergebnisse und hohe Produktqualität. Die Integration dieser Erkenntnisse in die Prozesssteuerung und Fertigungsabläufe ermöglicht eine stabile Klebstoffapplikation, minimiert temperaturbedingte Viskositätsvariationen und gewährleistet eine gleichmäßige Aushärtung über die gesamte Displayfläche hinweg.

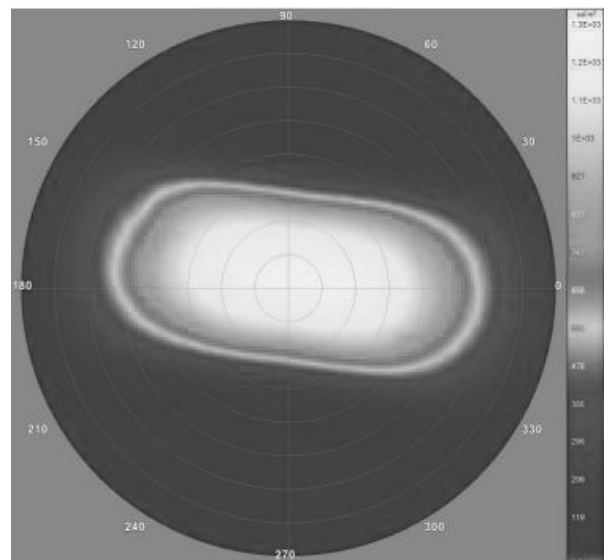


Figure 5 Polare Leuchtdichteverteilung einer Glass

Die Prozesskontrolle stellt einen wesentlichen Schritt zur Qualitätssicherung in der Display-Fertigung dar. (Figure 5)

Die gemessenen Viskositätswerte zeigen eine breite Spanne von 30 bis 360 Einheiten, was auf unterschiedliche Fließ- und Verarbeitungseigenschaften hinweist:

- Niedrigviskoser Bereich (30-90 Einheiten): Ermöglicht optimale Benetzung und Luftentfernung
- Mediumviskoser Bereich (120-180 Einheiten): ideale Balance für strukturelle Verklebungen
- Hochviskoser Bereich (210-360 Einheiten): Geeignet für vertikale Applikationen und Spaltfüllungen

Die optischen Dichtewerte im Bereich von 1,01 bis 1,09 belegen eine hervorragende optische Klarheit:

- Werte 1,01-1,03: Exzellente Transmission für HighEnd-Display-Anwendungen
- Werte 1,04-1,06: Standardqualität für kommerzielle Displayprodukte
- Werte 1,07-1,09: Noch akzeptabel für einfache Anwendungen

Die konsistenten Messwerte über den gesamten Bereich deuten auf eine ausgezeichnete Homogenität der Klebstoffverteilung hin. Die enge Streuung der optischen Dichtewerte belegt eine gleichmäßige Schichtdicke ohne

signifikante Inhomogenitäten. Die reproduzierbaren Ergebnisse belegen eine hohe Prozessstabilität sowie eine gute Kontrollierbarkeit der Verklebungsparameter. Die Daten bestätigen die Eignung des Klebstoffsystems für serielle Fertigungsprozesse.

Basierend auf der Datenanalyse ergibt sich folgende optimale Parameterkombination:

- Viskosität: 120-180 Einheiten für beste Ergebnisse
- Optische Dichte: 1,01-1,03 für Premium Anwendungen
- Prozesstemperatur: 20-24 °C (aus vorheriger Analyse).

Viskositätskontrolle während der Applikation  
 Temperaturmanagement des Substrats Präzise Dosieretechnik für  
 gleichmäßige Schichtdicke Kontrollierte  
 Aushärtungsbedingungen.

Die Analyse der Nachvermessungsdaten bestätigt die hohe Qualität des Verklebungsprozesses. Die erreichten Kennwerte liegen im optimalen Bereich für Display-Anwendungen und garantieren sowohl mechanische Stabilität als auch hervorragende optische Eigenschaften. Die geringe Streuung der Messwerte belegt einen stabilen und gut kontrollierten Fertigungsprozess.

#### IV. FAZIT

Die Abhängigkeit optisch klarer Klebstoffe von der Weiß- und Schwarzhomogenität des LCDs bleibt eine zentrale Herausforderung in der Displayfertigung. Wie die zitierte Forschung zeigt, erfordert die erfolgreiche Implementierung dieser Klebstoffe ein tiefgehendes Verständnis der Materialeigenschaften, der Aushärtungsmechanismen und der Wechselwirkungen mit dem Display-Substrat. Durch die kontinuierliche Entwicklung innovativer Klebstofftechnologien und Prozessoptimierungen lassen sich die negativen Auswirkungen von LCD-Inhomogenitäten minimieren, was zu verbesserter Displayqualität und erhöhter Produktlebensdauer führt.

#### REFERENCES

[1] Kim, Daewhan & Kim, Hongdeok & Jeon, Woojin & Kim, Hyun-Joong & Choi, Joonmyung & Kim, Youngdo & Kwon, Min. (2024). Ultraviolet Light Debondable Optically Clear Adhesives for Flexible Displays Through Efficient Visible-Light Curing. *Advanced Materials*. 36. 10.1002/adma.202309891.

[2] Yoshitake, Makoto & Swatowski, B.W. (2019). 63-2: Room Temperature Curable Liquid Optically Clear Adhesive for Automotive Display. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. 50. 892-893. 10.1002/sdtp.13066.

[3] Salmon, Fay & Everaerts, Albert & Campbell, Chris & Pennington, Brian & Erdogan-Haug, Belma & Caldwell, Gregg. (2017). 64-1: Modeling the Mechanical Performance of a Foldable Display Panel Bonded by 3M Optically Clear Adhesives. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. 48. 938-941. 10.1002/sdtp.11796.

[4] Everaerts, Albert. (2023). Optically Clear Adhesives for Display Assembly. 10.1002/9781118751077.ch6.

[5] Lu, D. & Wang, J. & Li, C. & Yuan, J. & Sawanobori, J. & Lin, J. & Litke, A. & Levandoski, M.. (2012). Liquid Optically Clear Adhesives for Display Applications.. In *Electronic Packaging Technology and High Density Packaging (ICEPT-HDP)*, 2012 13th International Conference on, IEEE. 438-441. 10.1109/ICEPT-HDP.2012.6474653.

[6] Wang, Gang & Zhou, Zhengxiang & Chen, Mengyu & Wang, Juanjuan & Yu, Yingfeng. (2023). UV-Curable Polyurethane Acrylate Pressure Sensitive Adhesives with High Optical Clarity for Full Lamination of TFT-LCD. *ACS Applied Polymer Materials*. 5. 10.1021/acsapm.2c02092.

[7] Campbell, Christopher. (2016). Optically Clear Adhesives. 10.1007/9783-319-14346-0\_197.

[8] Campbell, Christopher & Clapper, Jason & Behling, Ross & Erdogan, Belma & Beagi, Hollis & Abrahamson, Joel & Everaerts, Albert. (2017). P-198: Optically Clear Adhesives Enabling Foldable and Flexible OLED Displays. *SID Symposium Digest of Technical Papers*. 48. 2009-2011. 10.1002/sdtp.12071.

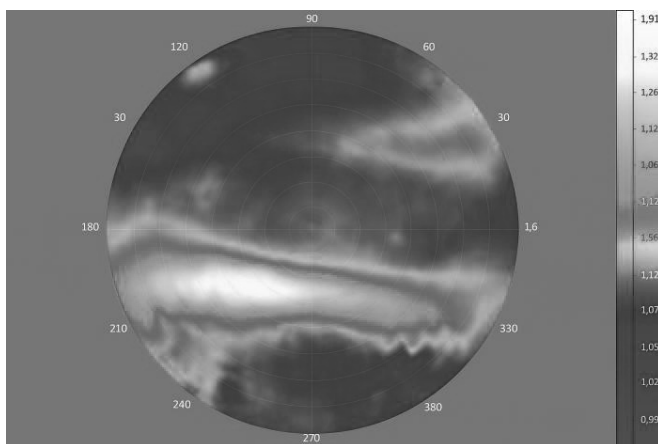


Figure 6 Lichtintensitätsverteilung eines laminierten Display-Panel-Verbunds ACKNOWLEDGMENT

Die Autoren danken dem beteiligten Institut für die Bereitstellung der notwendigen Ressourcen sowie für die technische und wissenschaftliche Unterstützung während der gesamten Durchführung dieser Arbeit. Ohne diesen Beitrag wäre die erfolgreiche Umsetzung der Studie nicht möglich gewesen.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK

THIS PAGE IS INTENTIONALLY BLANK