

# **Engineering 4.0 and the Internet of Everything**

Proceedings of the 12th FDIBA Conference  
Sofia, Bulgaria, 24–25 November 2022

## **FDIBA Conference Proceedings**

Volume 6, November 2022  
ISSN 2535–132X (Print)  
ISSN 2535–1338 (Online)

---

## **Engineering 4.0 und das Internet of Everything**

Tagungsband der 12. FDIBA Konferenz  
Sofia, Bulgarien, 24–25. November 2022

## **Tagungsbände der FDIBA Konferenz**

Volumen 6, November 2022  
ISSN 2535–132X (Gedruckt)  
ISSN 2535–1338 (Online)



**Technische Universität Sofia**  
**Karlsruher Institut für Technologie**  
**Hochschule für Okonomie 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. Vasil Galabov

Prof. Dr. Thomas Heupel

Prof. Dr. Mathias Kluwe

Organisation Committee

Chair: Dr. Mladen Mladenov

Prof. Dr. Marin Marinov

Yordan Yordanov, MSc.

Maria Kalcheva, MSc.

Dessislava Yordanova, MSc.

Engineering 4.0 and the Internet of Everything

Proceedings of the 12th FDIBA Conference, Sofia, Bulgaria, 24–25 November, 2022

FDIBA Conference Proceedings, 2022, Volume 6

Vasil Galabov, Thomas Heupel, Mathias Kluwe (Eds.)

Book size A4-ISO (210 x 297 mm), 110 pages Paperback

Published by TU-Sofia Publishing House Sofia, Bulgaria

December 2022

ISSN 2535-132X (Printed)

ISSN 2535-1338 (Online)

# Contents

<b>Humanities .....</b>	<b>1</b>
China is just one of Germany's major trading partners .....	3
Franz Peter Lang .....	3
Not up for electric? Empirical study to identify barriers to acceptance of electromobility .....	13
Steffen Berg, Thomas Heupel, Mercedes Camona .....	13
Evaluation of economic efficiency in renewable energetics.....	25
Zwetelina Gankova - Ivanova .....	25
Innovative business models to deliver critical system services through battery-based energy storage.....	31
Irena Beloreshka .....	31
Natural Gas – Trends of Business Model Changes.....	35
Nikolay Kambosev .....	35
Concepts of Regional Skilled Worker Development in STEM .....	39
Christoph Hohoff .....	39
Verbesserung der Eigenmotivation von den Teammitgliedern an dem Arbeitsplatz.....	43
Atanas Bonchev, Vesselin Kantschev.....	43
Novelty Framework Design for Student Feedback Analyses Using SaaS and AI .....	47
Milena Krumova .....	47
Developing creativity in math class through the use of digital learning tools .....	51
Viktoria Simidova.....	51
Europäische und sumerische Zivilisationsprozesse .....	55
Krasimir Krivodolski .....	55
<b>Engineering .....</b>	<b>59</b>
Experimental Setup for Testing and Evaluation of Kalman Filter Configurations.....	61
Stefan Hensel, Marin Marinov, Christopher Kupitz, Dimitre Trendafilov .....	61
Cyberattacks as Digital Weapons against the ITCritical Infrastructure.....	65
Elior Vila .....	65
Usability Evaluation Plan within an UX Design Process (UsabPlanInUXD).....	69
Svetla Ivanova-Vassileva.....	69
Electronic waste management: A review of the limiting factors and robotic solutions .....	75
Dimitar Iliev .....	75
Principle behind droplet formation in microfluidic devices based on force balance .....	81
Emil Grigorov .....	81
Analysis of Methods for IT Service Management Processes Implementation in Higher Education Institutions .....	85
Yordan Yordanov .....	85
Entwicklung eines mobilen Arbeitsmaschine-Simulators für die Validierung kooperativer Regelungskonzepte .....	89
Balint Varga, Selina Meier, Sören Hohmann .....	89
Evaluation of Kalman Filter Configurations for Robot Localization Using Sensor Data Fusion.....	95
Stefan Hensel, Marin Marinov, Christopher Kupitz, Dimitre Trendafilov .....	95
<b>Short papers .....</b>	<b>102</b>
Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Life Cycle Costing in China – Evaluation anhand eines konkreten Unternehmensbeispiels .....	103
Shi Cheng, Thomas Heupel .....	103
Der Einfluss der Corona-Pandemie auf die Entwicklung des Homeoffice – Eine Analyse der Motivation und Arbeitszufriedenheit im Generationenvergleich .....	105
Djelléza Sadrija, Thomas Heupel .....	105
Productive Teaming – a vision far beyond Industry 4.0.....	107
Frank Ortmeier, Marco Ragni.....	107
Approaches to coping in a crisis situation .....	109
Radoslav Keremidchiev .....	109
<b>Authors Index .....</b>	<b>112</b>



**THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK**



# **Humanities**

Chair: Mladen Mladenov, Milena Krumova, Zwetelina Gankova-Ivanova

**THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK**

# China is just one of Germany's major trading partners

## China ist nur einer von Deutschlands großen Handelspartnern

Franz Peter Lang

FOM Hochschule

Essen, Germany, e-mail: peter.lang@fom.de

**Abstract** — The aggression of the Great Russian chauvinism and disruptions to the usual world trade routes cause fears in Germany that the German economy could be dependent on trade with an overpowering partner China. An analysis of the German-Chinese foreign trade data and its effects on the economy shows that China is one of several equally important trading partners, but by no means occupies a dominant position. The bilateral dependencies resulting from trade relations are proving to be normal and manageable. Trade could even be expanded if China pursued a rational, trustworthy policy. In addition the impact of China's ambitious large-scale projects are examined against the background of its actual economic potential, its current weaknesses and inner political situation. Finally, some recommendations for the design of future trade relations are made.

**Zusammenfassung** — Die Aggression des großrussischen Chauvinismus und Störungen der üblichen Welthandelsrouten lassen Befürchtungen aufkommen, dass die deutsche Wirtschaft vom Handel mit einem übermächtigen Partner China abhängig sein könnte. Eine Analyse der deutsch-chinesischen Außenhandelsdaten und deren Auswirkungen auf die deutsche Wirtschaft zeigt, dass China zwar einer von mehreren gleichbedeutenden Handelspartnern ist, aber keinesfalls eine beherrschende Stellung einnimmt. Die aus den Handelsbeziehungen resultierenden bilateralen Abhängigkeiten erweisen sich als normal und über-schaubar. Der Handel könnte sogar ausgeweitet werden, wenn China eine vernünftige, vertrauenswürdige Politik sicherstellt. Darüber hinaus werden die Auswirkungen der ehrgeizigen Großprojekte Chinas vor dem Hintergrund seines wirtschaftlichen Potenzials, seiner derzeitigen Schwächen und seiner innenpolitischen Situation untersucht. Abschließend werden einige Empfehlungen für die Gestaltung zukünftiger Handelsbeziehungen gegeben.

### I. ASSESSMENT OF GERMAN-CHINESE FOREIGN TRADE

"Germany's economy totally depends on China" German media are currently reporting in an inappropriately dramatic tenor.[1] In journalistic commentaries and talk shows, an existentially threatening dependency is even derived from this and China is even stylized as the dominant trading partner by a "large margin". Such reports, which are increasing in number and in a dramatizing manner, promote the famous "German Angst" [2] in the public. In order to assess this, we will take a look at German foreign trade, based on a few figures [3].

#### A. Is German-Chinese Trade dominating German Economy?

In total, a trade volume of around EUR 245 billion was achieved between Germany and China in 2021. This included EUR 104 billion for German exports and EUR 141 billion for German imports. This actually puts China in first place among Germany's foreign trade partners.

In the German foreign trade statistics, the Netherlands follows in second place with a trade volume of EUR 206 billion. Of this, EUR 100 billion are exports and EUR 105 billion are imports. The USA followed with a trade volume of EUR 194 billion, of which EUR 122 billion for exports and EUR 72 billion for imports, and France with a trade volume of EUR 165 billion, of which EUR 103 billion for exports and EUR 62 billion for imports.

As a trading partner, the Netherlands is obviously almost as important as China and the USA. The USA is even more important for German exports than China, which only ranks fifth among German exports.

If you only add up the values of two of the non-Chinese trading partners mentioned, the combined trade volume of these countries with Germany is greater in every combination than the German trade volume with China, the largest economy in the world in terms of population.

If we look at the difference between the German-Chinese trade volume and the German-Dutch trade volume, at around EUR 40 billion this corresponds to the German-Turkish trade volume (EUR 39.8 billion) or four times the trade volume with Bulgaria (9.9 billion EUR). It should be noted that Turkey ranks 17th and Bulgaria 40th among German foreign trade

partners. Obviously China is not more important for the German economy in trade than the Netherlands plus four times Bulgaria. These numbers put into perspective the statement that China is "by a large margin" ahead of all other trading partners.

It is correct that in German foreign trade with China in 2021 there will be a German trade balance deficit of around 37 billion EUR. German exports (Chinese imports) even fell by 6.7 percent in 2022. On the one hand, the cause is the transport problem caused by the Chinese lockdown policy. On the other hand, it is the increasing Chinese economic crisis and the restrictive Chinese domestic policy that has reduced the import of superior consumer goods (Daimler, Porsche, Tourism in Europe etc.). At the same time, Chinese exports to Germany rose by 17.6 percent due to the good German economy and the replacement of imports from other countries.

But even this development is no cause for concern, because this trade balance deficit is relatively insignificant in view of Germany's overall world trade. In 2021, Germany exported goods worth a total of 1,375 billion EUR and imported goods worth a total of 1,203 billion EUR. This resulted in a global trade surplus of around 172 billion EUR. Germany had the highest bilateral surpluses in 2021 with the USA (50.0 billion EUR) and France (40.0 billion EUR).

Germany's share of total world trade in the same year was around 7.1% and leads Germany, after China with 12% and the USA with 11%, in third place among the world trading nations. This is remarkable, because in terms of population, Germany, with 1.05% of the world's population, ranks nineteenth among all countries. China, on the other hand, ranks first with 18.4% of the world's population, closely followed by India with

18.1%. The US is third with 4.23% of the world population. "Little Germany" is by no means small in global world trade.

For the average German citizen, who is at the mercy of the dominant talk show-oriented leading media, this would certainly be a reassuring fact, but this fact is largely ignored in political debates.

#### B. Germanies export and import

Germany's exports in 2021 were primarily vehicles and motor vehicle parts (22% of total exports), ahead of products from the electrical industry and data processing (16%), chemical and pharmaceutical products (15%), machines and plants (15%), metals (4%), other goods (28%). These product classes represent precisely the technologically strong sectors of the German economy.

In the same year, in Germany imports of data processing equipment and electrotechnical products (including smartphones from China, notebooks that are built there with American licenses, etc.) and optical products (including glasses, binoculars, etc. from China) had been in first place. In second place among the most important imported goods were, motor vehicle parts, etc. Third place goes to chemical products (often those that cannot be produced in Germany for reasons of environmental protection). The much-discussed "rare earths" are undoubtedly an important part of imports from China at the moment. But they are also found in Australia, Greenland and Kannada, where they have hardly been mined to day.

However, most of the goods 57% of all imports are from the European Union (EU) and those European countries that are not part of the EU (11%). Europe is therefore the origin of more than two thirds of German imports.

Asia, including China, accounts for 21% of the imports. Around 6% of imports come from North America, primarily from the USA. Africa's share is just under 2%, the Central and South American countries share just over 2%. Oceania comes to 0.4%. Incidentally, this makes it clear that, especially with regard to Africa, there is still considerable potential for expansion. Less than 10% of imports come from China. They are followed by the Netherlands, France, the USA and Italy.

Because of the topicality, we are looking specifically at natural gas imports. In 2021, Germany mainly received 53% from Russia (42% in 2015 and 36% in 2011), Norway 30.6% and the Netherlands 12.7%. Russian natural gas deliveries accounted for slightly more than half of German natural gas imports via pipelines, apparently due to the increase in the Merkel era. However, the share of natural gas and oil imports in total imports is only 6.4%. A permanent increase in gas or oil prices would of course make this proportion higher.

However, this is not to be expected, because in the past 50 years there have already been three phases in which oil prices have risen sharply. The first "shock" came in 1973, when Arab OPEC countries imposed an oil embargo. The second oil price shock followed the Iranian Revolution in 1979, which was then amplified by the Iran-Iraq war.

Both are "classic" supply shocks caused by the sudden loss of important suppliers. Shortages and increases in the price of oil, however, subsequently triggered processes of technological

substitution, e.g. engines with significantly lower fuel consumption, more effective insulation of houses, etc. were developed. Higher prices also made it possible to open up previously uneconomic funding agencies, e.g. in the North Sea.

However, "petro-dollar recycling" also followed through the return flow of the price-related higher income of the oil-exporting countries via their sharply increasing imports from the industrialized countries, which led to a sustained export boom there.

The third strong price increase took place at the beginning of the 2000s. This was mainly due to the strong increase in demand from up-coming emerging countries such as China and India. However, the financial crisis ended this boom. From 2014 oil prices began to fall again.

A permanent extreme price increase for substitutable raw materials is therefore unlikely in the long term, even today.

In any case, Germany primarily imports and exports industrial goods from the same sectors (German cars against Japanese and Italian cars, etc.) in so-called intra-industrial or substitutive trade relations. Intra-industrial trade relations are indicators of the foreign trade of countries that are experienced in highly competitive markets.

On the other hand, inter-industrial or complementary trade relations exist between countries that e.g. like the Russian Federation, Iran or the Arab Emirates, which sell energy sources such as coal, natural gas and oil as well as other raw materials and buy industrial goods and superior consumer goods that they usually do not produce.

#### C. Chinas export and import

China's most important import suppliers are, in this order, Taiwan with 9.3%, South Korea with 7.9%, Japan with 7.6%, the USA with 6.7%, Australia with 6.1% and Germany with a 4.5% share of the Chinese total imports.

They are made up of technical-industrial products such as electronics (23.2%), electrical engineering (4.2%), machines (6.1%), automotive (3.2%), measurement and control technology (3.2 %) and chemical products (9.8%). In addition, China mainly imports raw materials 15.9% of all imports, petroleum 11.0%, food 4.6% and non-ferrous metals 3.2%.

This means that 35 percentage points of China's imports are non-technical goods.

China's most important export customers are the USA with 17%, Hong Kong (!) with 10%, Japan with 4.9%, South Korea with 4.4%, Vietnam with 4.1% and Germany with 3.4%. share of total exports. Exports include 24.6% electronic products, 9.6% electrical engineering, 9.5% textiles, 8.8% machines, 7.9% chemical products, 4.3% metal goods, 4.2% automotive and 2.6% furniture. This export is currently still the essential basis of China's current prosperity and global investment capability.

This trade structure has components that speak for intra-industrial trade relations. With many technical products, however, China is still the extended workbench of foreign companies that used to produce there for export to third countries today primarily because of an environment that can still be used largely free of charge (e.g. Apple, etc.). Hong Kong's foreign trade, which is still statistically reported separately from China, is an example. Hong Kong's industrial export products have always been mainly produced in China, from where they are exported to Hong Kong and finally delivered to third countries [4].

#### D. Bilateral dependencies in foreign trade

At least since the classics of economics, we have known that free and fair world trade promotes prosperity, growth and progress for all trading partners. The increase in prosperity in China compared to Mao's time can be attributed to this effect.

It is just as clear, however, that trade-driven specialization in the respective advantageous sectors results in mutual dependencies, which inevitably increase through the national specializations triggered as a result. Trade advantages cannot be achieved without bilateral dependencies and cannot be expanded without deepening these dependencies. In order to secure such trade relationships in the long term, however,

contractual compliance and loyalty on the part of the partners are a necessary prerequisite.

After many years of foreign trade relations since 1978, China has become more dependent on the EU than vice versa in terms of value-added import and export shares in trade with all EU countries. However, if the added value of imports and exports is set relative to the development of the national product, then these shares will decrease continuously. This effect results from the fact that China was able to successively reduce its previously much higher dependency through the growth of its domestic market and the resulting substitution of previously imported goods with domestic products (see below). The rise in Chinese passenger car production is just one example.

The fact that their quality is not or not yet competitive in an international comparison is a consequence of the still existing emerging country character and the resulting technological differences to the developed industrial countries. This still results in a need for imports of technologically advanced goods.

On the EU import side, around 2% of the total added value of the total EU demand came from China in 2018/19. However, via EU exports, an approximately equal share of EU value added via Chinese import demand is included in Chinese total demand. The corresponding shares for China are 2.2% on the import and export side. China's dependency on this important measure is still 10% greater than the EU's dependency on China. From a global perspective, these values are obviously relatively low and therefore also do not justify overestimating the importance of China for Europe or Germany

On the export side, there is also a dependency on jobs. Measured in terms of total employment, however, the shares on both sides are just as low as in the case of the macroeconomic value-added shares. But in absolute numbers they differ significantly. In 2018/19, 15.7 million jobs in China depended directly or indirectly on demand from the EU, and 4.1 million jobs depended on demand in Germany. In the EU, on the other hand, there are around 3.5 million jobs, including around 1.1 million jobs in Germany, that depend on China's demand for imports. However, Germany is more dependent on China on the export side than vice versa. 2.7% of German added value and 2.4% of total employment depend on the export of primarily superior consumer and industrial goods to China. In China, which is not surprising given the size of the economy, only 0.5% of value added and 0.6% of total employment depend on German demand [4].

It can therefore be stated that there are of course also bilateral dependencies, but that these are relatively small. It is important to know which sectors (automotive industry, chemicals, etc.) and which types of goods (raw materials, consumer goods, capital goods or high-tech) are involved. However, it is also clear that given the low level of this dependency, the German and European economy could certainly cope with a breakdown in relations. The European social systems could also cope with this.

China itself has no alternative to accelerate its growth. China's economy still needs to grow much faster so that it can not only overcome its development deficits but also socially cushion its demographic problems caused by the aging of its society. Deng Xiaoping summarized the Chinese growth and population problem in his time in the sentence: "China must get rich faster than it gets old" [5].

In view of the costly global political ambitions of his new leadership, however, it is questionable whether this will succeed.

China is therefore currently trying to open up new markets (see below). However, the world regions envisaged for this are

currently neither developed in terms of infrastructure nor developed enough to be sales markets for capital and consumer goods in addition to raw material suppliers.

In view of the costly global political ambitions of his new leadership, however, it is questionable whether this will succeed. However, it currently seems more likely that it could be the other way around.

#### *E. China is not the only important Trade-Partner*

So let's summarize. Although China is one of Germany's "large" trading partners, it is by no means the most important. As an international trading partner, China is no more or less important than the Netherlands, France or the USA.

However, most of Germany's major trading partners offer considerable advantages compared to China because they are members of the European single market. More than two thirds of German goods exports go to the countries of the European Union. This shows the very high importance of this European "home market", which is also extremely safe and low-risk. Euro-critical polemics, which are often spread unchallenged by European politicians, are therefore nonsensical and harmful. Britain is just beginning to feel the cost of exiting this market.

There is undoubtedly a high degree of dependence on China among a few, but vocal "China specialists" who source their products more or less entirely from China or deliver more or less entirely to China. But there are also companies in this situation in China, because Germany is the fifth largest trading partner there.

However, it can currently be seen that the increasing problems in China's economy itself, combined with the Xi government's intensified campaigns against the "rich", has greatly reduced the import of superior and therefore expensive luxury goods. These Chinese weaknesses are the main reason for Germany's currently declining exports to China.

#### *F. Overestimation of China has a long tradition in Germany*

Overestimating China and its potential is by no means new in Germany. For example, in eighteenth-century Europe there was a phase of excessive overestimation of Asia, which was equated with China. This was probably stimulated by increasing imports of luxury goods such as porcelain and silk, as well as by often exaggerated reports from early East Asia travellers from the mysterious "Closed Country".

The German physicist and natural scientist Lichtenberg (1742 to 1799) commented on the widespread overestimation of China as an ultra-rich and progressive wonderland in his satirical-critical essay "Of the Chinese War and Fasting Schools" [6]. His reading is especially recommended for German readers to promote a realistic and critical view of China. Lichtenberg shows that there were enlightened people at that time who were able to reduce legends to their real core through common sense alone.

In the 1950s, Germany viewed China as a formidable enemy of world peace. During the rule of Mao Tse-tung, the People's Republic was seen in the German media as an dangerous, economically depressed country and isolated in terms of foreign policy. In the 1960s, the "Great Proletarian Cultural Revolution" was also raging, which was conveyed to the world public, above all in the media, by means of grotesque and senseless mass marches and aggressive rhetoric. The then German Federal Chancellor expressed the fears of the Germans in 1969 with his words "I only say China, China, China"! [7]

After Mao's departure, this assessment has changed steadily since 1978 as China returned to the world economy. While in 1980 China was Germany's 35th trading partner, by 1990 it had moved up to 14th place. Given the size of the Chinese economy, this development is not really surprising, because

China was well endowed with human capital and at the same time a low-wage country. In addition, as an extension of the world's workbench, it quickly received significant investment support from many overseas Chinese, which other investors followed [8].

The revival of the legend of the "brilliant Chinese" who only lacked freedom characterizes the new view of China of this period.

In the early phase of opening up to Europe, the Deng government, to which many older politicians with personal experience abroad belonged, again sent Chinese students to non-socialist countries. These were often very reserved, extraordinarily eager to learn young people who considered it a privilege to have been sent to Germany. They created the impression that the Chinese are above-average industrious and able to learn.

The fact that not all Chinese students belong to a brilliant world elite, but are quite comparable to their European fellow students in terms of the distribution of their skills and their eagerness to learn, became apparent with the growing number of inflowing students from China.

Foreign partners are having similar experiences today with the new executives and heirs in their Chinese joint ventures. There is a certain degree of everyday corruption and a tendency towards rent-seeking. Nevertheless, the aura of the early years still spreads the splendor of the early years in large parts of German society.

The impressions conveyed to tourists or business travelers in the centers of China's glittering metropolises have a similar effect. A visit to the prefab suburbs of these metropolises, a trip to one of the provincial cities or even to rural regions without infrastructure would put the impression of modernity and luxury in China into perspective. Despite space travel and the atomic bomb, China is still an emerging country with a considerable need for further development.

#### *G. Chinese propaganda and the image of China*

The overestimating of China's potential continues to this day and is now also being cultivated in propaganda by the numerous pro-Chinese activists and lobbyists active in Germany. So e.g. Chinese academics and students working in Germany are instrumentalized in disseminating perspectives on China and its politics that are desirable from a Chinese perspective. There is already a relatively large number of Chinese with German citizenship in Germany who are already living comfortably after they have retired and who at most travel to China occasionally like tourists.

Some of them are patriots who praise China on the golf courses and are in no way concerned with the political changes that are currently taking place there, but who even vehemently deny human rights violations. However, they personally refrain from returning to the promised land. The existing overestimation of China is stabilized by their apparently authentic reports and undesirable developments, e.g. in minority and foreign policy are normally overlooked.

Chinese foreign propaganda "ghostwriters" also provide European journalists and politicians with specially prepared manuscript templates for publications that serve to disseminate desired perspectives on China and its politics. The journalists can publish them directly as their own work. In this way, the image of China as a "superpower" is promoted and Germans are happy to believe it if they ignore the facts.

Corresponding articles in Western media also have effects on China, where they are politically instrumentalized by references to the obvious admiration of China in foreign countries. In view of the patriotism traditionally widespread in China, such assessments are readily seen by many people as

confirmation of the national path taken and support chauvinistic-neo-colonialist ambitions. International reporting on spectacles such as the Winter Olympics or the "Record World Expo in Shanghai" have also driven national pride and economic overconfidence in the Chinese population to new heights. This helps the Chinese political leadership to overlook undesirable developments and economic problems.

#### *H. Economic data show the actual conditions*

However, a look at some comparative figures provides a realistic picture of the current Chinese economic power, the real power and global importance of China. In 2021, the absolute gross domestic product, i.e. the value of all values produced in China that year, was EUR 12.35 trillion. That is EUR 10,385 per capita. In Germany it is EUR 3.75 trillion and thus EUR 42,918 per capita. In the USA, the gross domestic product is EUR 20.64 trillion and thus EUR 62,598 per capita. In Japan, the gross domestic product is EUR 4.98 trillion and thus EUR 39,608 per capita.

When using such numbers, there is a risk, especially in autocratically governed states, that statistical numbers are not recorded objectively and internationally comparable, are only estimated or even falsified for propaganda reasons. Nevertheless, we assume that the data used in our sources can be trusted.

A comparison of the per capita income is particularly interesting because it is apparently more than four times higher in Germany than in China. In the USA it is even six times higher. This too reflects the true international position of the Chinese economy. At the same time, it is becoming clear that catching up with the world leaders in prosperity is far from being achieved.

For comparison and to put the potential of the Russian Federation, which is also overestimated in Germany, into perspective, its gross domestic product should also be considered. In 2021 it was EUR 1.46 trillion, which means that the gross domestic product per capita was EUR 9,994. The Russian gross domestic product, including all exports of natural gas, crude oil and raw materials, corresponds approximately to the gross domestic product of the Netherlands or twice the gross domestic product of the German state of North Rhine-Westphalia. However, the gross domestic product per capita in the Netherlands, at EUR 51,827, is more than five times higher than the per capita income of the Russian Federation.

The per capita income shows that the standard of living of the population in both countries cannot differ significantly. But you have to keep in mind that the per capita income is only the average of all incomes. In view of the countless superyachts of Russian oligarchs on the seven seas and the news that there are two new Chinese billionaires every week, it is clear that, in both Russia and China, a realistic assessment of the prosperity of the people would require an examination of personal income distribution.

At present, China, with its approximately 1.4 billion people, produces around 12.5% of the world's national product. In contrast, the European Union, which has a much smaller population of around 0.45 billion people, produces 23.5% of the world's national product. This comparison also straightens out the positions. China should therefore neither be overestimated nor underestimated in terms of its economic potential, because with a rational, globally oriented economic policy it would still have considerable development prospects.

## II. TO THE FUTURE OR BACK TO THE FIFTIES?

### A. *The Dual Circulation Strategy*

The EU and Germany have actively expanded their trade shares with China in recent years. In contrast, China has been reducing its dependency for around 15 years by promoting its domestic sector in an import-substituting manner. In 2007, 4.4% of the total Chinese added value was still dependent on developments in the EU, but in 2018 it was only 2.2%.

This new trend is likely to continue on the import side of China, since the Chinese government wants to massively reduce its dependency on foreign countries through its so-called "Dual Circulation Strategy" [9]. However, this is nothing other than the policy of "import substitution and export intensification", which was practiced in South America in the 1960s, albeit without the desired successes.

Failure was mainly due to the fact that the domestic goods produced instead of the imported goods to the exclusion of international competition were technically and qualitatively inferior to the previously imported goods. In this way, machines of inferior quality produced in the country found their way into domestic production and in turn caused quality defects in products produced and used in the country. This in turn affected the quality of goods produced for export. Although imports were reduced in favor of domestic producers, domestic service provision was weakened as a result of quality defects. The hoped-for intensification of exports did not take place and some exports even decreased. Countries like India have also had this experience.

If China nevertheless continues this policy, which is to be expected, the EU could become more dependent on China in the medium term than vice versa. Nevertheless, this dependency would remain absolutely low in macroeconomic terms and at the same time Chinese exports to the EU could decrease due to the possible "downgrading" of the quality of the export goods.

The Paris Motor Show 2022 is a testing ground for such Chinese import substitutes. After a certain development phase in the country itself, the aim is to establish automobiles originally produced in China on the international automobile market. Since such technical products also require a sales and maintenance infrastructure in the exporting country, the importing countries also benefit. So far, however, these have primarily been propaganda activities.

However, the situation in international trade with China could also be in a fundamental phase of upheaval for domestic political reasons, because China, as so often before, is once again pursuing high-flying plans.

### B. *World technological leadership by 2049?*

By 2049, i.e. by the 100th anniversary of the founding of the Chinese People's Republic, China is to take over global technological leadership from the western world and in particular from the USA [11].

The People's Republic has repeatedly striven for similar hybrid goals during Maoism. Examples are the "Hundred Flowers Campaign" or the "Great Leap" campaign. Both should advance industrialization through new ideas and through collective enthusiasm (blue ants). However, not a single one of the goals set at the time was achieved. Rather, the results, especially in the so-called "Great Leap", were downright disastrous. It was the main cause of the "Great Chinese Famine" from 1959 to 1961 and claimed between 15 and 50 million victims, depending on the political source [10].

The memory of it is therefore often suppressed in China or the blame is placed on western countries. Curiously, German "China admirers" also repeatedly express this view. This shows

the impact of the activities of the aforementioned Chinese propagandists and their European followers. We don't even want to talk about the "Great Cultural Revolution" and its resonance among the numerous intellectuals who admired China in the West at the time.

Except for declarations of intent, there are currently no precise indications in China as to how the technological leadership of the world is to be achieved by 2049. As is traditionally the case, the German media and self-proclaimed German experts react to such pronouncements from China as if this extremely ambitious goal could now be achieved for China as a matter of course.

It is often overlooked that technological development outside of China is also progressing at an increasing pace and is not stagnating in consideration of China's ambitions. It is also overlooked that personal freedom, freedom of science, plays a major role in successful innovations. Technological advances also result essentially from international cooperation and the cooperation of a free, international "scientific community", which cannot be compensated for by industrial espionage alone with the increasing vigilance of the western naïve. Historically, autocratic systems have never been scientifically successful because of their serious lack of freedom. However, China is still a centralized, bureaucratic and increasingly autocratic-dogmatically controlled economy [12].

In this context, the expensive prestige projects of a Chinese space station or a trip to the moon should not be overestimated. Given the performance standards of modern satellites, the benefit of a manned outpost in orbit is highly questionable. In addition, these can already be ordered inexpensively on private technology markets.

China's as yet uncompleted rise has essentially been driven by the forces of a largely uninhibited, open economy. At the moment, however, it looks more like China itself is politically driving the development in the opposite direction. In order to achieve the goal of technological leadership, isolating China is the most unsuitable means imaginable. China would deprive itself of those markets on which around 61 million Chinese jobs depend. China therefore needs global economic integration and its further development if it wants to even come close to achieving its ambitious goal. The expectation that the Chinese plans might fail is by no means unrealistic.

However, this is not the only ambitious and costly vision that the Chinese government has set out to realize.

### C. *The Belt and Road Initiative*

A similarly ambitious large-scale project, the "Belt and Road Initiative" [13], has been in progress since 2013, which in any case only makes sense if the aim is to further internationalize existing economic relations.

The vision of the New Silk Road aims to create trade links from China to Europe by road and rail, and by including the sea route to Africa and America. The Chinese government wants to invest more than USD 1 trillion in railways, roads, ports and bridges in over 70 countries. In the end, there should be a widespread transport and trade network that connects China much more closely than before with the rest of the world. Several main routes are planned.

The already existing rail-bound northern land route runs via Russia to the EU. The southern leads via Iran to the EU. Freight trains are already commuting continuously between the port of Lianyungang in eastern China and Europe's largest inland port, "Duisport" in Duisburg, Germany, via this approx. 10,000 kilometer long northern route.

In addition, there is the so-called maritime Silk Road, which runs along the Asian coast to the Pakistani port of

Gwadar, from where it is to split in the direction of Africa and the EU. In Gwadar, a deep-sea port is already being expanded with Chinese help. A new airport has already been built in Sri Lanka with the help of Chinese loans and companies. Chinese railway companies have laid new railway lines in Kenya, Hungary and Serbia. Chinese builders and engineers are currently driving tunnels through the Karakoram Mountains and spanning the gorges of these mountains with bridges to open up new land routes.

Although the northern and southern routes follow the historical routes of the ancient Silk Road, China is dealing with its own Chinese-controlled globalization. The project is intended to open up new markets that have not yet been used without foreign help. Incidentally, the EU is pursuing similar goals with its "Global Gate Way Initiative".

Thanks to its expansion in Central Asia, China is already selling consumer and capital goods to the relatively small Central Asian countries Kazakhstan (18 million inhabitants), Uzbekistan (35 million inhabitants), etc. in terms of population. That is why China wants to do even more in the future make greater investments in the infrastructures of Pakistan, Myanmar, Iran, the Arab and African countries.

However, many of these countries are neither really aware that they have to help finance these projects, nor that they become politically dependent and open to blackmail through debt to China and its banks. However, most of them are anyway so-called "failed states" with disloyal political elites and an unclear future.

However, it is already evident today that these projects can neither be financed nor implemented without the existing trade relations and their further growth by China. Power-political experiments, such as those presented by the Russian Federation in 2022, would in any case mean their early end [14].

#### D. The Shanghai Five

The "Shanghai Cooperation Organization (SCO)" should also be seen in connection with this Chinese long-term strategy. It is an international organization based in Beijing. It is to deal with the security policy cooperation of its member states, with economic and trade issues and stability in the huge region, which encompasses almost all of Asia and parts of Europe and Africa.

The SCO was founded in 2001. However, it emerged from the "Shanghai Five" founded in 1996. These were the five countries China, Kazakhstan (18.8 million inhabitants), Kyrgyzstan (6.5 million inhabitants), Russia (including its former Central and East Asian colonies 144.5 million inhabitants) and Tajikistan (9.5 million inhabitants).

Today the SCO also includes India (population 1,417 million), Pakistan (population 221 million) and Uzbekistan (population 35.4 million). Turkey, Belarus and Iran are also about to join. There is also a large group of so-called "observing" members. Since 2004, the SCO has also had observer status at the United Nations.

About 40% of the world's population currently lives in the countries of the SCO. China and its rival India are by far the largest partners in this. Politically, the majority are autocracies and "failed states". India is therefore often singled out for its unusual role as the "largest democracy in the world".

However, some of these countries are involved in armed conflicts with one another or, like India and Pakistan, are entangled in traditional hostility. Russia, too, continues to regard the former colonies of the Tsarist Empire in East Asia as its national territory, which, interestingly, also includes former parts of China, whose return is in turn demanded by Chinese patriots. Together with China, everyone is dreaming, with what

appears to be Western naivety, of one day belonging to a new, powerful economic area.

At present, however, most of these SCO countries are at a very low level of technological development and are economically weak. They are also located in a huge area without any infrastructure worth mentioning, in which resources and populations are also extremely unequally distributed geographically, ethnically and socio-economically. Apart from the prospect of becoming political and economic vassals or even colonies of a "Greater China", this cooperation will lack economic sense for the foreseeable future.

In view of China's economic potential and its own demographic problems, the members cannot count on significant support from Chinese transfer payments or cheap loans in the foreseeable future. From the Chinese point of view, however, they have been chosen as future procurement and sales markets, although for the foreseeable future it can only be about manageable inter-industrial trade relations with and to the advantage of China as the technologically leading trading partner.[15]

#### E. Chinese trade routes are unsafe

"Going global" requires stable political and legal-contractual conditions as well as secure trade routes. In the early days of the People's Republic of China, the Republic of China (Taiwan) imposed a naval blockade against what was then "Red China" in 1954 and interrupted all goods traffic by sea. This is still a traumatic chapter in Chinese history today.

So far, Chinese foreign trade has been carried out almost exclusively via direct sea transport. Although this is inexpensive, it is also prone to risks. These range from piracy and accidents to blocking political-military conflicts.

However, because of the geographical situation, the sea routes from China to the world are still easy to block. A ship leaving a Chinese port has to pass through the East China Sea to reach America or Latin America. To get to Africa or Europe it has to go through the South China Sea.

Both sea routes have bottlenecks. So between South Korea and Japan, in the Philippines, near Malaysia and Singapore, in the Arabian Sea and in the Suez Canal. The last blockade of the Suez Canal by a damaged container ship is still well remembered.

From this perspective, the existing sections of the New Silk Road are a land route through which such naval blockades could be bypassed. To expand this option, China is expanding the aforementioned rail routes to Pakistan and investing in a deep sea port in Myanmar. Goods transported overland are to be loaded onto ships in the ports of Pakistan and Myanmar. As a port of destination in Europe, the state-owned Chinese shipping company Cosco (China Ocean Shipping Group Company) took over a 67% stake in Greece's largest port of Piraeus for 36 years in 2016. Similar ambitions exist for parts of the container port of Hamburg and the port of Duisburg.

In this way, China hopes to be able to maintain trade in goods to Europe and Africa, even in the event of a possible conflict in the East or South China Sea. The Chinese government seems to ignore the fact that this overland route makes trade enormously more expensive, as well as the risk of the overland transport being interrupted in a crisis.

In order to additionally secure these trade routes, China is expanding its naval fleet at enormous expense and has already set up its first military naval base outside the country in Djibouti (Africa). However, observers with an education in military history consider such an isolated base in a global military crisis to be just as militarily useless as the naval base of the East Asia Fleet of the German Empire Qingdao in China before the First World War.

Despite its persistently low per capita income, China is increasing its defence spending year after year with the aim of being able to defend its economic interests militarily if necessary. However, it is doubtful whether this would be possible at all globally without trade collapsing on the other trade routes. As early as autumn 2022, the railway line through the Russian Federation will only be available to a limited extent on the northern route of the New Silk Road, since the railway lines are also being used by Russian military transports and are also being affected by anti-Russian sanctions.

It is obvious that the enormous armaments expenditure and the expenditure for such prestige projects are a considerable burden on the Chinese economy. In addition, however, there are also long-term distorting effects of this policy on the industrial structure, which are caused, for example, by armaments and other prestige projects at the expense of civilian production sectors. In addition, these expenses tie up funds that are missing, for example, for the expansion of the infrastructure of the Chinese interior, but also for the development of a functioning health and social system.

China's gross domestic product mentioned above, if it reflects the true situation at all, overstates the economically relevant performance of the Chinese economy anyway, because the recorded value creation also includes the enormous expenditure for the unproductive military and repressive apparatus. This high state consumption can currently only be financed because previous governments, through their liberal economic and trade policies, have achieved an unprecedented upswing for China and its integration into the global economy. To a large extent, this was due to the new openness and created an image of China in the world that eventually also made foreign investors and lenders think positively about China [16].

#### *F. Generation Xi as a risk?*

However, this trust is currently declining significantly. "China is losing the appeal it used to have... I've never seen ideological decisions become more important than economic decisions." [17], says Jörg Wuttke, President of the European Chamber of Commerce in Beijing, at the presentation of the Chamber of Commerce's annual position paper. On 430 pages, the chamber makes almost a thousand recommendations to the Chinese government so that the Chinese market can regain its former attractiveness. The declining growth figures support these concerns.

However, even these insiders find it more than questionable that these recommendations could currently penetrate to the government district in Beijing. While pragmatic local governments from Shanghai to Shenzhen have shown understanding, the central government, Xi Jinping, has made it abundantly clear that it is willing to trade economic growth for political control. Apparently they believe that the economy will run itself. This is the misconception held by many post-communist autocrats. Experienced observers of China already see the current economic situation in China as unstable and at risk of a crisis and see the causes for this in Xi Jinping's government practices.

The government effectively ended the successful reform policy of its predecessors by reducing openness to the global economy and by making fatal economic policy mistakes. There are not only the attempts to control the pandemic through extreme lockdowns. At the same time, private individuals are being made more difficult to enter and leave the country, and foreign managers and investors are increasingly being systematically impeded in China. Chinese intellectuals and scientists have long been leaving the country in large numbers and entering the service of non-Chinese, usually Western companies, institutes and universities. The majority of you are

Chinese patriots through and through and verbally praise Chinese politics (see above), but still prefer the "sweet life" in the diaspora. The negative effects of this brain drain on the prospects for the Chinese economy should not be underestimated

The political turn towards the past is also evidenced by the various campaigns against successful Chinese entrepreneurs and companies accused of corruption. Added to this is the repressive action taken against critics from competing cadre groups, ethnic minorities and the costly and unproductive digital surveillance of the population. The intimidating effect of total social surveillance and paternalism prompts scientific talent in particular to emigrate. None of these measures will bring growth-enhancing effects, but additional unproductive state consumption does, which hinder technologically creative economic growth. The huge centralized state and party apparatus and the massive military apparatus are obstructive burdens that are increasingly slowing down economic development.

According to insiders, the measures outlined are primarily signs of political disputes between cliques of the new generation of leaders in the increasingly neo-feudal Communist Party, who at the same time want to secure their enormous material privileges. Domestically, Xi Jinping is pursuing a much stronger "patriotic" ideologization, probably also with the intention of distracting attention from the increasing economic problems, which is combined with more aggressive foreign policy rhetoric. The old thesis that the West was and is always to blame for failures is very reminiscent of the days of stagnation under Mao. The choreography of his public appearances is also reminiscent of those "good old days".

In addition, China is helpless and without a concept in the face of the already mentioned demographic problem of aging and the enormous imbalance in its gender proportions due to the marital surplus of men. This situation is not least caused by the erratic leaps in population policy in the past, similar to the problems of the supply chains during the pandemic period. It has not yet been clarified how this demographic problem is to be solved socially and it is therefore largely being suppressed officially. There is also no functioning social system, especially in the countryside, where the majority of the population still lives.

President Xi Jinping, who has been almost immortalized since October 2022, and his comrades-in-arms could themselves be a central part of the problem. Like them, he comes from the most privileged layer of leading cadres. His father and grandfather were already high cadres in the Communist Party and the state. His alleged personal "persecution" during the Cultural Revolution affected many Chinese privileged people and their family members, albeit in a moderate way. However, these "victims" from certain parts of the Chinese upper class, the Chinese nomenklatura, were largely rehabilitated and compensated by the governments under Deng Xiaoping. As a result, its members continue to dominate the decisive positions.

However, since they live in a closed, luxurious special world whose prosperity results from state support, their members often lack any experience and any understanding of the processes outside their world. As a result of their own prosperity, they also overestimate the prosperity achieved across the board in China. However, they apparently live under the constant fear of being ousted from their privileges.

According to the express will of the old leadership, Chinese citizens who have broadened their horizons through studies and experience abroad are not wanted as lateral entrants into this class of political leaders. So at the highest levels there is a kind of "job reservation" for children of senior management

personnel whose thinking has not been spoiled by lengthy stays abroad (unless on private pleasure trips).

Since the new generation of leaders was feudally born into their social positions, they are not necessarily known for being particularly agile [18]. They may have experience with the "Dolce Vita" and the intrigues of their class, but they have no experience with the life of normal Chinese citizens or even Chinese business people. They consider the former to be pretentious and lazy because of their growing demands for a higher standard of living. They like to think of the latter as corrupt. Their woodcut-like view of the world, which they presumably share with political figures such as W. Putin and other post-communist leaders, blocks their pragmatic access to relevant world and economic policy issues, also in their excessive overconfidence.

Xi Jinping personally does not have any training in economic policy issues, nor does he have any practical or international experience of his own. He was born highly privileged in 1953 and studied the strange-looking subject combination of chemistry, law and Marxist philosophy. However, such studies are representative of the majority of children in senior management. In this respect, Xi Jinping is a typical representative of the actual generation of Chinese leaders. However, its members do not give the impression of being highly educated and prepared for the forthcoming solutions to the country's existing economic and demographic problems. In contrast to parts of the former Chinese leadership like Zhou Enlai or Deng Xiaoping, like Mao they lack any authentic foreign experience.

The type of nostalgic self-portrayal and installation of this tour is interesting and revealing. The propaganda stylizes Xi Jinping into a kind of Mao 2.0 and Superman. According to the latest legislation, he may also rule for life. Xi Jinping has already had corresponding writings published on his "ideas", which, like the old Mao primer, are compulsory reading in schools. In these schools there are again military exercises and parades in the style of the 1950s and 1960s. These are said to have pushed English lessons out of the curriculum in some cases.

Pupils, students and soldiers goose-stepping martially and waving flags are, however, neither a sign of dynamism in science and business, nor of military strength. The People's Republic has always mastered such antics, following the example of Stalin's Russia and Hitler's Germany. However, the martial marches of flag-waving "popular masses" are necessary in order to impress their own population, which is still largely cut off from the world, to distract them from everyday problems and, in a nostalgic haze, to hide the non-existent solution concepts.

Even Chinese critics cynically describe the current policy as a "Great Leap Backwards". They report privately that Xi's performance in his previous roles as mayor of a city and as provincial chief was not necessarily convincing.

It is therefore highly doubtful whether this political situation will have the effect of securing further development dynamics in China. Under these circumstances, the outlined goals of Chinese economic policy will probably not be achievable. "What to do?" is the central question here and not the title of one of Lenin's writings.

#### G. Decoupling is not an option

In the era of Deng Xiaoping and his successors, people had become accustomed to the loyalty and reliability of Chinese business partners, but this has been in doubt for a number of years, not least because of the experience with the Russian Federation, a crisis-ridden aggressor of the same kind.

It is therefore time for Germany and the EU to fundamentally review their existing trade relations with China and to question what they could be based on in the future.

In the interest of both parties, however, it should not be about a complete "decoupling" of all trade relations. However, quasi-monopoly dependencies of important sectors, as they are e.g. from the natural gas import policy of the Merkel-Schröder governments to the Russian Federation can be reduced or avoided in new projects.

Dependencies on important goods such as Taiwan from countries of origin that are permanently threatened by China are also very risky. There is an urgent need to open up alternative procurement markets or to develop your own production in Europe, for example in the south-east.

However, it is not easy to predict what the "new trade policy" should look like, especially since there have only been imprecise declarations of intent in Germany so far, but no concrete strategies. The only thing that is clear is that China cannot achieve its ambitious goals without further cooperation with the world economy, especially with its technologically advanced parts.

However, the ambitious economic and technology policy goals described above provide certain indications of China's specific current and future dependencies on international cooperation. In order to formulate a new trading strategy, a thorough analysis of the major projects outlined should therefore be carried out as soon as possible.

However, if we start from the optimistic hypothesis that Chinese policy will also be rational under Xi Jinping because of the existing constraints, then we can also assume that the current Chinese trade policy will continue, although due to the new autocratic leadership it is likely to develop less dynamics [19].

### III. RESÜMEE: NEVER PUT ALL EGGS IN ONE BASKET

The above considerations have shown that China is just one of several trading partners of roughly the same size for Germany. It only accounts for around 10% of all German foreign trade relations. The proportion of European trading partners inside and outside the EU, on the other hand, is 67%, which is seven times more important.

Long-term international trade relations inevitably always lead to certain mutual dependencies, which of course also affect jobs. This dependency is also bilateral in the case of China and Germany. It is within the proportions of the trading volume and is therefore not existentially threatening; German prosperity does not result primarily from economic relations with China.

The fact that individual sectors are more dependent on Chinese suppliers can pose a problem for them if the Chinese side, like the Russian Federation, breaches the contract. However, this is one of the normal risks of transactions with potentially disloyal, autocratically governed partners.

Pursuing a decoupling to solve the trade-related dependencies of the existing relationships would nullify the existing advantages of the trade relationships and rule out a possible expansion. So decoupling is not an option.

A risk-reducing diversification of trade relations and at the same time a departure from the traditional overestimation of China therefore makes more sense. On the one hand, with the aim of diversifying trade relations, it should be examined in future whether Chinese suppliers could be supplemented by newly developed African or South American suppliers. However, Chinese and Russian actors are already active in the mostly autocratic states there, albeit with a colonial attitude. However, they are currently mainly associated with local dictators, who can also fall.

It must also be examined to what extent cooperation is possible in connection with the complex Chinese infrastructure projects as part of the New Silk Road, because there is a lack of experience that has already been gained by German companies in Africa and South America. Opportunities for cooperation could also open up in the area of project consulting or project participation as a subcontractor.

Discussions about Chinese participation in European ports etc. are nonsensical, as they do not justify dependency, but rather create a nationally controlled infrastructure. On the other hand, the participation of potentially disloyal Chinese state-owned companies in IT-supported infrastructure projects is worth discussing and should be avoided if necessary, especially since there are always European alternatives here.

China's upcoming demographic problems could also provide starting points for new cooperation in the health and social economy.

In addition, it is important to provide more support for activities in China through diplomacy and at the same time to make their know-how available to newcomers.

It is true that China is highly developed in some centers and quite competitive there on a global scale. In large parts, however, there is still a considerable need to catch up technologically. China must therefore be viewed as a "dual economy" at best, in which a developed, modern core is located in an economy that is still clearly underdeveloped in large parts.

In this respect, China is still an emerging country with all the associated risks such as legal uncertainty, corruption, legal and political arbitrariness, etc. In addition, its autocratic system occasionally triggers abrupt upheavals caused by domestic politics. Herein lie the potential risks for all economic contacts with China and countries with comparable framework conditions.

If China would succeed in implementing its planned large-scale projects, even in part, the basis for continued good development of bilateral economic relations would be secured at least for a certain future, because these projects can only be financed if China loyally maintains and continues to push its existing international trade relations. If it follows Western logic, the Chinese government cannot afford to jeopardize the relative prosperity that large sections of its population have achieved in recent decades. Seen from this point of view, the consistent continuation of the previous policy of "going global" for China seems likely.

However, in view of the current rulers in China and against the background of the experiences with their little brother, the Russian Federation, one must also reckon with the fact that Chinese economic policy does not follow Western logic and that Germany will have to largely write off trade with China. That would not be nice for some China-fixated industries, but it would be manageable for the German economy!

## REFERENCES

- [1] "Außenhandel Deutschlands Wirtschaft hängt an China - Tagesschau." 18 Feb. 2022. <https://www.tagesschau.de/wirtschaft/konjunktur/china-aussenhandel-wichtigster-partner-importe-exporte-usa-uk-waren-importueberschuss-101.html>. retrieved
- [2] "German Angst: Was ist das eigentlich? - FOCUS online." 12 Okt. 2017, [https://www.focus.de/politik/praxistipps/german-angst-was-ist-das-eigentlich\\_id\\_7705190.html](https://www.focus.de/politik/praxistipps/german-angst-was-ist-das-eigentlich_id_7705190.html). (retrieved 30.09.2022).
- [3] "China - Wichtigste Importländer 2021 | Statista." 17 Jun. 2022, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/167159/umfrage/wichtigste-importlaender-fuer-china/>. (retrieved 19.09.2022).
- [4] Deutsche Handelsbilanz mit China bis 2021 | Statista." 24 Aug. 2022, <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/250757/umfrage/deutsche-handelsbilanz-mit-china/>. (retrieved 06.09.2022).
- [5] Matthes, J. (2022). Gegenseitige Abhängigkeit im Handel zwischen China, der EU und Deutschland, in: IW-Report 35/2022
- [6] Deng, X. (1985). Der Aufbau des Sozialismus chinesischer Prägung, Beijing.
- [7] Lichtenberg, G. C. (1985). Von den Kriegs- und Fastenschulen der Chinesen. In: Lichtenberg Aphorismen Essays Briefe, Leipzig, S. 420 – 432.
- [8] "Ich sage nur China, China, China"- Portfolio Concept." 03 Feb. 2021, <https://portfolio-concept.de/finanzkolumne-vermoegensverwaltung/ich-sage-nur-china-china-china/>. (retrieved 27.08.2022).
- [9] Ma, H. (1985). Neue Strategie für Chinas Wirtschaft. Beijing
- [10] "China's "dual-circulation" strategy means relying less on foreigners ..." 05 Nov. 2020, <https://www.economist.com/china/2020/11/05/chinas-dual-circulation-strategy-means-relying-less-on-foreigners>. (retrieved 10.11.2022).
- [11] Mao Zedong: China unter Mao: 1949-1966 - Diktatoren -Planet Wissen." [https://www.planet-wissen.de/geschichte/diktatoren/mao-zedong\\_gnadenlos\\_machtmensch\\_pwiechinauntermao100.html](https://www.planet-wissen.de/geschichte/diktatoren/mao-zedong_gnadenlos_machtmensch_pwiechinauntermao100.html). (retrieved 06.09.2022).
- [12] Kelch, F. (2022). Interview mit China-Expertin: 2049 im Visier – China auf dem Weg zur Weltmacht, <https://www.dbwv.de/aktuelle-themen/blickpunkt/beitrag/interview-mit-china-expertin-2049-im-visier-china-auf-dem-weg-zur-weltmacht> (retrieved 04.07.2022).
- [13] Lang, F.P. (2018). Structures of a "New Society" Conceivable for the Digital Revolution. In: Herald of Kyiv National University of Trade and Economics (KNUTE) (ISSN 1727-9313), No. 4(118), Kiv UA, p. 108-118.
- [14] "The Belt and Road: Bigger than Infrastructure – chinaobservers." 02 Mrz. 2022, <https://chinaobservers.eu/the-belt-and-road-bigger-than-infrastructure/> (retrieved 30.09.2022).
- [15] Lang, F.P. & Pehl, M. (2022). „Belt and Road Initiative“ and “Global Gateway Initiative” in Comparison. In: In: European Cooperation, Vol. 1 (53), p. 7 - 19.
- [16] Shanghai five"The Shanghai Cooperation Organization - Council on Foreign Relations." 14 Okt. 2015, <https://www.cfr.org/backgrounder/shanghai-cooperation-organization>. (retrieved 10.11.2022).
- [17] Chinas Flotte"USA alarmiert: 6 Karten zeigen, wozu China-Militär in der Lage ist." 15 Sept. 2020, <https://www.businessinsider.de/politik/welt/usa-alarmiert-6-karten-zeigen-china-ausruestung/>. (retrieved 10.11.2022).
- [18] Müller, F. (2022). Chinas Wirtschaft gerät in Not, in: SZ vom 14. Oktober 2022.
- [19] Lang, F. P./ Melnychenko, O. (2016). China for the Normalization. In: European Cooperation, Vol. 2 No. 9, p. 9 -17.
- [20] Glunz, A. (2020). Vier Fragen und Antworten zum Decoupling, <https://klardenker.kpmg.de/4-fragen-und-antworten-zum-decoupling/> (retrieved 02.07.2022).

**THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK**

# Not up for electric? Empirical study to identify barriers to acceptance of electromobility

## Ableitung eines erweiterten Kaufverhaltensmodells bei technisch komplexeren Produkten – Elektrofahrzeuge

Steffen Berg\*, Thomas Heupel\*, Mercedes Camona‡

\* FOM Hochschule, Essen, Germany

Essen, Germany, e-mail: thomas.heupel@fom.de

‡Universidad Católica Antonio de la Fuente (UCAM), Murcia, Spain

**Abstract** — Pollution and particulate matter caused by traffic are increasing year by year. This puts both people and the environment at risk. As a result, more and more people are concerned about their environment (Cf. Finger 2015: 10; Attenborough and Lagarde 2019: 5; Continental 2021: 7). In this context, the classic internal combustion engines are at the center of discussions about drive technology. Electrification of powertrains is expected to result in the use of gentler technologies. This offers the opportunity to reduce dependence on oil in the long term and to minimize emissions (Cf. Proff and Szybisty 2016: 2; Karle 2021: 2; Appel 2021, n.p.; Delhaes 2021: n.p.). As environmental friendliness has been perceived as an important purchase criterion by customers in recent years, manufacturers' portfolios have evolved and changed in the direction of electromobility. Thus, electric cars have now been available on the market as a series product for just over a decade (Cf. Karle 2021: 3; Dudenhöffer 2014: 315; Deutsches CleanTech Institut, 2010: 26). Since sales figures of electric vehicles in Germany did not account for a larger share of total vehicle sales for a long time, the market penetration potential of this innovative drive technology was accordingly critically questioned (Cf. Schmidt 2009: 27-28; Kampker et al. 2018: 13).

The reasons for the lower registration numbers were manifold. The main points of criticism of electric vehicles were and are the significantly higher purchase price, the insufficient range, a lack of comprehensive charging infrastructure, long charging times, and doubts about technical safety and reliability (Cf. Proff et al. 2022: 7; Bennet and Vijaygopal 2017: 501). Only in 2020 and 2021 did the sales figures of electric vehicles increase noticeably. When considering this changed situation, the question thus arises whether the growth in registered electric vehicles results solely from the political support measures. Or whether further/other technical, socio-economic or psychological factors have influenced consumers in their purchase decisions (Cf. Kampker et al. 2018: 14; Kraftfahrt-Bundesamt 2021: n.p.; CAM 2021: n.p.; Bandelow and Kundolf 2018: 172). Despite rising registration figures, the aforementioned criticisms of electromobility still cannot be dismissed out of hand. Accordingly, in addition to technical shortcomings, a lack of consumer acceptance for electromobility can also be assumed (Cf. Sanguesa 2021: 391; Fazel 2014: 303-306; Dudenhöffer 2015: 321). Acceptance is understood as the willingness to use a product. The formation of positive attitudes and intentions to use the product are also necessary to gain acceptance for the same (Cf. Dethloff 2004: 18).

Thus, acceptance can be understood as a central criterion for the extent to which potential consumers view electromobility as a valid alternative to conventionally powered vehicles. Since Germany has missed the target of 1 million registered electric vehicles in 2020, this raises the question, against the background of the above, of the influencing factors that inhibit the acceptance of electric vehicles and the measures that can be taken to help accelerate the spread of these innovative drive technologies (Cf. Fazel 2013: 1 ff.; BMWI 2022: n.p.; Kraftfahrt- Bundesamt 2020: p. 10). This research project is intended to provide an answer as to how consumer acceptance can be increased and through which measures the willingness of potential consumers to buy can be achieved (Cf. Lippold 2015: 3-4). The aim is to provide recommendations for the targeted marketing of electric vehicles.

Based on the current development and further expansion of electromobility, it is also important to determine the potentials and influencing factors for hydrogen-powered vehicles (Cf. Karle 2021: 211; h2.live 2021: 5; Rudschies 2019: 10-15). In the long term, hydrogen-powered vehicles offer the potential to mature as an alternative to conventional internal combustion engine vehicles. Against this background, hydrogen vehicles could be a sustainable substitute for future mobility alongside electric vehicles, as they can be moved autonomously over longer distances (e.g., vacation trips) with short refueling stops (Cf. Rosen 2018: 11; Kaindl 2019: n.p.; h2.live 2021: 18-21).

## I. TECHNOLOGY ACCEPTANCE

Three authoritative models are cited in the literature to explain technology and user acceptance. The Theory of Reasoned Action (TRA) forms the basis and has been extended by the Theory of Planned Behavior (TPB) and the Technology Acceptance Model (TAM) (Cf. Dudenhöffer 2015: 77). In the literature, the aforementioned three models are considered robust and useful models for explaining technology acceptance (Cf. Fazel 2014: 103).

In the following, the present research project focuses in particular on a modified version of the TAM. The TAM is characterized by its simplicity and multiple applications. Moreover, it is widely used and has been frequently extended by appropriate modifications (Cf. Dillon and Morris 1996: 13; Lin and Chang 2011: 425; Luarn and Lin 2005: 875; McFarland and Hamilton 2006: 429; Nysveen et al. 2005: 247; Mathieson 1991: 187).

As can be seen from the previous knowledge development, the acceptance of electromobility (BEV and FCV) is influenced by criteria such as range and charging time. For example, low maintenance costs cannot outweigh the disadvantages by rational consideration (Cf. Beggs et al. 1981: 2). The test persons compare the innovative electromobility of vehicles to which a personal experience is present, these are predominantly vehicles with internal combustion engine. Since most of the test persons have no or hardly any personal experience with electric vehicles, features that could trigger enthusiasm for electromobility - such as stepless acceleration - remain unconsidered (Cf. Dudenhöffer 2015: 45). Thus, it remains to be noted that the use of technological innovations is not a given, which is why many theoretical models in acceptance research are based on behavioral models (Cf. Dillon and Morris 1996: 8). Accordingly, in the following, various theories and studies will be presented that deal with cognitive areas of behavior on the consumer side and the acceptance of technologies on the other side. Subsequently, these will be elicited with regard to their transferability to the acceptance of electromobility (BEV and FCV). Davis, F.D. et al. (1989), for example, identified variables influencing acceptance in order to derive interventions from them. They also address the question of why people reject or accept technological innovations.

## II. RESEARCH GAP

The identified research gap can be broken down into three areas:

- First, the assumed influence of interest as an additional influencing factor in the technology acceptance model.
- Second, the influence of external factors such as trends, market and government policies, which are assumed to have an indirect influence on technology acceptance through political instruments.
- Lastly, the expected indirect influence, which is caused by cultural, social and personal factors that have an influence on technology acceptance.

A closer look reveals various points of reference between the Munich Interest Theory and the Technology Acceptance Model.

First of all, it can be seen that both theories refer to motivational aspects. Following Dewey, Krapp refers to these aspects within the interest construct: Interest can be described as a special form of motivation. A person can become completely absorbed in a thing and devote himself to it

wholeheartedly because it is personally important and meaningful to him (Cf. Krapp 2010a: 16). In the Theory of Planned Behavior, Ajzen again assumes that behavioral intention involves motivational factors that influence behavior. Accordingly, intention as an indicator can provide information about how strongly a person is determined to perform a certain behavior (Cf. Ajzen 1991: 181). This view of Ajzen is also adopted by Davis et al. 1989 in the context of his Technology Acceptance Model: it is assumed that usage intention/intent significantly influences usage (Cf. Dudenhöffer 2015: 111). However, neither the Theory of Planned Behavior nor the Technology Acceptance Model can answer where the motivation within an intention comes from.

Likewise, the aspect of competence can be identified as a point of reference to the TAM. According to the Munich Interest Theory, the need to experience competence refers to a person's feeling of being able to make a difference with one's own behavior and of being able to meet given or self-imposed requirements (Cf. Krapp 1998: 194; Krapp and Ryan 2002: 72). This, in turn, can be related to the perceived ease of using the TAM. Should a person feel that he or she can make a difference with his or her own behavior and cope with the demands that come with it, execution is perceived as easier and thus control is perceived as higher (Cf. Davis et al. 1989:). A similar relationship can be seen with the TPB construct of perceived behavioral control (Cf. Ajzen 2005: 111).

Also between the need for social inclusion, which goes back to the Munich Interest Theory, a connection can be made to the Technology Acceptance Model, in this case "TAM 2" by Venkatesh and Davis from the year 2000. This is because the TAM 2 includes the Subjective Norm, which has already been recognized by Ajzen and Fishbein in the context of the TRA as an influencing factor of behavioral intention. The Subjective Norm is based on the perceived social pressure of a person to perform or refrain from performing a certain behavior, depending on the perception of whether relevant reference persons approve or disapprove of the performance of a certain behavior (Cf. Ajzen and Fishbein 1980: 7). This subjective norm can also be explained by the need for social inclusion, in which a person strives to be connected with other important (reference) persons and to be accepted and recognized by them (Cf. Krapp 1998: 195; Krapp and Ryan 2002: 72).

Another point of contact between the Technology Acceptance Model and the Munich Interest Theory can be identified within the aspect of identity (Cf. Krapp 2010a: 16; Krapp 1999: 399). Thus, a relationship was identified between the acceptance of hydrogen-powered vehicles and its perception of use (Perceived Usefulness). Perception in this case means the holistic perception of an object (Cf. Dinse 2001: 165 ff.). This perception can be regarded as a person's central interest in an object. The interest in turn produces an individual personality structure and can be called an individualself, which has a unique structure of attitudes (Cf. Krapp 2010a: 16; Krapp 1999: 399).

In summary, between the Munich Interest Theory reference points to different aspects of the Technology Acceptance Model can be identified and both theories partly include or consider similar constructs (motivation, autonomy, social connection and identity).

Two conclusions can be drawn from this:

Interests are related to intentions and these influence a person's behavior. This could be explained by the assumption that the intention as well as the interest has a motivational character. Accordingly, the intrinsic motivation contained in the interest construct reinforces the motivation underlying the intention to actually perform a certain behavior.

The value-related component should also play a central role, because according to Krapp, the object of interest should be temporarily or permanently integrated into the central regions of a person's self-concept. The related goals of action are compatible with individual attitudes, expectations, and values and are called self-intentionality (Cf. Krapp 1999: 400).

Second, it can be concluded that although interest has points of contact with various aspects of TAM and thus plays a role in this theory, it is an extension of TAM due to various construct features that are not addressed in TAM.

In this regard, reference should be made to research conducted by Mohiyeddini and Bauer in 2007, who extended the TPB model to include the variable emotion. However, the emotion variable was not used as a further determinant of behavioral intention, but as a mediator variable between intention and behavior. Transferred to the Technology Acceptance Model, such an extension could also be used in the TAM, so that a mediating relationship arises between behavioral intention and actual use (Cf. Mohiyeddini and Bauer 2007: 10).

Moreover, in their gender-segregated study of mobile communication service provider adoption, Nysveen et al. 2005 demonstrated a positive influence of intrinsic motivation on the construct of attitude as well as on the construct of intention to use for both men and women. Since there is an intrinsic motivational aspect to interest, it should be possible to transfer this accordingly, so that interest could have an influence on intention to use (Cf. Nysveen et al 2005: 252).

Likewise, Venkatesh and Bala 2008 found a significant influence of the construct Perceived Pleasure on Perceived Ease of Use. In doing so, the construct of intrinsic motivation was included in the construct of Perceived Pleasure, which in turn means for this research that an effect of interest on Perceived Ease of Use can be assumed (Cf. Venkatsh and Bala 2008: 291).

Based on these findings, the construct of interest is included in the research model, assuming a positive impact on the constructs of Perceived Usefulness, Subjective Norm, Perceived Ease of Use, and Behavioral Intention on the one hand, and a mediating impact on Actual Use on the other.

Thus, by adding the construct of interest to the TAM, the aspects of motivation and identity, as well as those of the emotional experiential qualities associated with the behavior, and the aspect of knowledge enhancement with respect to the subject matter domain of the behavior and the related value reference are taken into account. It is possible that it is precisely these aspects that lead people to buy an electric car instead of a conventional vehicle with an internal combustion engine. It may also be possible to explain the personal value they attach to this subject area. Possibly it is the interest that prompts people to move from a behavioral intention to an energetic behavior.

### III. THE INFLUENCE OF POLITICAL INSTRUMENTS ON THE ACCEPTANCE OF ELECTROMOBILITY

As has been made clear by the previous explanations in the previous chapters, there is currently a broad and diversified range of electric vehicles, which is continuously expanding and developing (Cf. Karle 2021: 195-210; Kraftfahrt-Bundesamt 2020: 10; shocking-solutions 2021: n.p.; Mehta and Senn-Kalb 2021: 18).

In addition to pure battery electric vehicles (BEVs), a rapidly growing range of plug-in hybrid vehicles has been particularly evident on the market since 2014. Hybrid vehicles were and are understood by industry as well as research and early consumers (innovators) as the first step towards an

electrified vehicle fleet (Cf. Faraz et al. 2020: 153-155; Kraftfahrt-Bundesamt 2020: 10; Kuhnert et al. 2021: 6-7; EV-Volumes 2022: n.p.).

In this respect, fuel cell vehicles are currently the exception rather than the rule. Despite this, their further development is being driven forward by some manufacturers, above all Hyundai and Toyota, as positive synergy effects can certainly be foreseen in connection with the use and storage of renewable energies. The research focus is currently more on long-distance freight transport than on passenger car transport. If this proves to be true, the hydrogen infrastructure would be further expanded and freight transport in particular would have a positive influence on the future development of hydrogen-powered passenger cars (Cf. Rudschies 2019: 10-15; Karle 2021: 211-212; Doppelbauer 2020: 175-177; h2.live 2021: 18-21).

Vehicle prices that rely on electromobility in the powertrain are generally significantly more expensive than conventional internal combustion engine vehicles and thus still represent a barrier to entry for a large proportion of consumers. Increasingly diversified and constantly evolving battery technologies are expected to drive prices down in the future as competition strengthens (Cf. Doppelbauer 2020: 144-159; Larminie and Lowry 2012: 36-53; Kampker et al 2018: 48-50). From the international comparison, it is also possible to derive the hypothesis that direct government support for vehicle purchase has a positive effect on registration figures. In this regard, our European neighbors Norway and the Netherlands can be cited as positive examples. In an international comparison, such as with the USA or Japan, direct subsidies were also introduced comparatively late in Germany. The initial introduction of direct subsidies in 2016 did not bring the hoped-for consumer response. This was only achieved by a significant increase in the subsidy in 2020. Thereafter, registration figures developed slightly positively, but recognizably in the direction of increased sales of electrified vehicles (Cf. BMWI 2016: n.p.; BMWI 2022: n.p.; Karle 2021: 214-215; Mehta and Senn-Kalb 2021: 182-184, 186, 202 ff.). In contrast to Germany, the charging infrastructure in our European neighbors was already much better developed when the first electric vehicles came onto the market. It is assumed here that this additionally contributed to increased sales. The fact that our neighboring countries invested more in the charging infrastructure and in direct purchase premiums subsidies ultimately paid off, whereas Germany's initial subsidy measures mainly went into electromobility research (Cf. BMWI 2022: n.p.; Karle 2021: 213-214; Virta 2022: n.p.; Kuhnert et al. 2021: 6-7).

Germany has also provided an additional incentive for consumers to invest in an electrified vehicle with the increased purchase premium in 2020. The initial question here is whether this is the decisive factor in the purchase of an electrified vehicle. Or are other, also politically initiated influences such as the expansion in the charging infrastructure or tax benefits responsible for an improved acceptance and ultimately for the willingness to buy electric vehicles (Cf. BMWI 2022: n.p.; EV-Volumes 2022: n.p.; Kuhnert et al. 2021: 12).

However, it should also be noted that the expansion of the charging infrastructure, the expansion of which is also being pushed by the German government, is only being advanced at a slow pace. In addition to the basic expansion, further sub-goals are also planned, such as adequate coverage in the various regions of Germany with charging options and a uniform system. A uniform system can be seen in terms of the different charging plugs used or in terms of the respective preferred payment options of the various charging point operators, which the federal government is striving to standardize (Cf.

Doppelbauer 2020: 295; Sanguesa et al. 2021: 373-374; Silberg et al. 2021: 5; BMWI 2022: n.p.; Amendment Ordinance to the Charging Point Ordinance II 2017: n.p.).

Lastly, it should be noted that a large part of the value creation is related to the accumulators or the vehicle batteries. In addition to this aspect and against the backdrop of current supply chain problems, especially with regard to the significantly increased prices and limited availability of freight space on container ships, a localization/regionalization of a cell production is seen as an important aspect by both the automotive industry and research funding. This regionalization would create jobs in Europe in the medium to long term. In addition to an assured availability of batteries for the expected demand from the automotive market, the domestic economy also benefits from this new technology sector (Cf. Karle 2021: 97-105 & 216; Silberg et al. 2021: 21-23; Kampker et al. 2018: 27; Cf. BMWI 2022: n.p.; Mehta and Senn-Kalb 2021: 41).

By extending the TAM to include the indirect influence of political instruments on the acceptance of electromobility, both direct and indirect promotion are thus examined. Here, it is important to consider that the political instruments emerge from (mega-) trends, which have been recognized by the industry as new/additional revenue opportunities and develop these products for the market. A mega-trend such as electromobility can also be brought about favorably by political decisions (e.g., achieving CO<sub>2</sub> targets). Initially, indirect political instruments were used in Germany to promote research and development. However, the use of these instruments changed, so that today a mix of indirect and direct support measures has been adopted by the German government to counter the stagnating or slowly rising sales figures for electrified vehicles. In the meantime, the increase in sales figures mentioned above suggests that the measures are supporting the desired shift to an electrified vehicle fleet. Accordingly, this use of policy instruments is assumed to induce consumers to purchase an electric car instead of a conventional internal combustion engine vehicle. More generally, it will be investigated whether the use of policy instruments has an impact on the acceptance of electromobility. Furthermore, it will be investigated whether direct political measures are understood differently by the population or consumers than indirect measures to promote electromobility.

#### IV. THE INFLUENCE OF CULTURAL, SOCIAL AND PERSONAL FACTORS ON THE ACCEPTANCE OF ELECTROMOBILITY

This chapter will first show that consumers from different countries prefer vehicles with different drive systems for individual transportation. It will also be determined whether there are similarities and differences in the main selection criteria and considered whether these can be explained by cultural, social or personal factors. For the country comparisons, China, the USA and Germany will be used in the following, as these show the greatest differences in terms of their purchasing preferences according to the literature (Cf. Dudenhöffer 2015: 236 ff.).

Figure 2 below, which refers to a study by Deloitte, shows that consumer preferences of passenger cars from different countries differ with regard to the drive type of their purchased vehicle. First, it can be seen that conventional vehicles with an internal combustion engine still account for the largest share in the three regions of comparison. For example, vehicles with an internal combustion engine accounted for 69% of the preferred drive systems in the U.S., 58% in China and 49% in Germany. If the various drive systems of hybrid vehicles, i.e. PHEV + HEV, are considered as a whole, hybrid vehicles would

account for 30% of new registrations in Germany, 23% in China and 22% in the USA. Only a 5% share of consumers in the U.S. preferred pure battery electric drive for their next vehicle, compared to 17% and 15% in China and Germany, respectively. In conclusion, it can be said that consumers are following the market offer, so that in Germany just under 50% of respondents would opt for at least a partially electrified vehicle drive. In China, this is still around 40% and in the USA, reservations regarding electromobility are apparently still greatest, as only just under 1/3 of respondents here would opt for a (partially) electrified vehicle (Cf. Proff et al. 2022: 7).

Figure 1: Consumers' powertrain preferences for their next vehicle as of October 2021, by key country

If consumer preferences are compared with those of 10 years ago, the picture is clearly different. One of the reasons for this is that electromobility was only just gaining in importance as a future vehicle drive system, or consumers were beginning to gain an understanding of this "innovative" technology. Furthermore, the 3rd wave of electromobility has just been heralded as a green alternative to conventional combustion engines (Cf. Deutsches CleanTech Institut 2010: 17; Schwedes 2018: 205-206). Accordingly, consumers of vehicles with (partially) electric drive can be described as (Cf. Rogers 2003: 281; Chapter 2.2; Chapter 2.3 Karnowski 2017: 21). It should be emphasized at this point that the study deals with the consumer perspective and not the company perspective (Cf. Dudenhöffer 2015: 96 ff.).

Figure 3 below shows that Deloitte already conducted a study on the adaptation of electromobility in various countries in 2011. However, a completely different picture of the expected diffusion of electromobility emerged in the country comparison. It can be seen, for example, that consumers in the U.S. and Germany, as domesticated automotive nations, are rather skeptical about this innovative drive technology, whereas consumers in China were much more open to it (Cf. Giffi et al. 2011: 1-3). One possible explanation for this high level of approval may be that many Chinese consumers have never owned a vehicle of their own and therefore have no or only limited experience and thus no preferences regarding the drive system (Cf. Dudenhöffer 2015: 60-62, 296-298).

In addition to the consumer declarations of intent regarding the adaptation of electromobility in 2011 and 2021 examined above, the main requirements for electric vehicles were examined through further surveys of various institutions. It became apparent that lower emissions/environmental friendliness, subsidies or tax breaks for electromobility, lower costs by means of TCO consideration over the vehicle life cycle, and the need to keep up with technological progress can be the influencing factors that lead to purchase. However, the studies/surveys differ from each other, so it is not possible to compare and evaluate these three countries in a comparable way (Cf. BDEW 2020: n.p.; Deloitte 2018: 12; Rakuten Insight 2019: n.p.).

By extending the TAM to include indirect factors based on cultural, social and personal characteristics, the aim is to investigate whether this can explain the acceptance of a technology in an improved way. It is worth mentioning here that it is assumed that personal factors in particular play a significant role in the acceptance and purchase decision of the individual (Cf. Cf. Dudenhöffer 2015: 321). Furthermore, a connection is seen between the study results, which are mainly based on the personal factors of an individual, and a local study area (e.g. Germany). The latter should thus allow conclusions to be drawn about social and/or cultural characteristics of the local study area and allow consumers to be clustered. In particular, the country-specific comparison of purchase intentions between

2011 and 2021 suggests that the framework conditions for electromobility have changed significantly, making the need to identify findings for TAM research only logical (Cf. Dudenhöffer 2015: 322).

## V. RESEARCH FOCUS AND RESEARCH QUESTIONS

For a heterogeneous product, a correspondingly versatile theoretical model must be used so that the complexity can be captured and resolved in the best possible way. Since a number of recent studies have shown that the Technology Acceptance Model can be used not only to explain the acceptance of information systems, but can also be applied to other areas of technology through appropriate adaptation and adjustment, the TAM provides the theoretical basis for this investigation (Cf. Fazel 2014: 103).

The actual usage behavior of the subjects will not be investigated here. A relationship between intention and behavior is assumed (Cf. Dudenhöffer 2015: 111). Therefore, intention is used as dependent variable instead of actual usage (Cf. Ajzen and Fishbein 1980: 41 and 90). Moreover, it has already been confirmed that intention to use almost fully mediates the influence of the other TAM variables. It remains to be noted that intentions do not necessarily result in behavior (Cf. Ajzen and Fishbein 1980: 188 f.).

As can be seen from Dudenhöffer's work and the current diffusion level of electric vehicles with 1.42% (Cf. Appendix 1), so far no multiplier effect of the sales volume of electric vehicles could be caused due to a lack of acceptance among consumers (Cf. Dudenhöffer 2015: 318). However, the consumers' declarations of intent as well as the increased market supply suggest that a trend reversal in the field of electromobility can be expected in the medium term (Cf. Proff et al. 2022: 7; Mehta and Senn-Kalb 2021: 18).

Based on these considerations, we will use the example of electromobility to investigate whether the construct of interest as an independent variable increases the proportion of variance in technology acceptance that has been elucidated and can thus function as a determinant of intention to use.

**Research Question 1:** Does extending the TAM with the addition of the variable interest better predict intention than the non-extended model?

**Hypothesis 1:** Adding the variable interest as a determinant of intention to use can significantly increase the predictive power of the TAM.

Furthermore, we want to examine whether political and personal factors have an indirect influence on the intention to use and the associated variance of technology acceptance and can thus serve as an extension of the TAM model.

**Research Question 2:** Does adding indirectly influencing political variables to the TAM better predict intention than the non-extended model?

**Hypothesis 2:** Adding indirectly influencing political variables will better predict technology acceptance usage intention.

**Research Question 3:** Does adding indirectly influencing personal factors to the TAM better predict intention to use than the non-extended model?

**Hypothesis 3:** Adding indirectly influencing personal variables will better predict technology acceptance usage intention.

Other questions to be answered in this research are:

- Why do many consumers in established markets persist in their views and are slow to adopt new technologies?
- What barriers prevent a higher acceptance rate of electric vehicles?
- Does the acceptance of electric mobility correlate with the willingness to take risks and try something new?
- Are cultural differences responsible for varying levels of interest and thus acceptance?
- Do political systems influence the adaptation of electromobility?
- Do age differences / generational differences have an influence on the acceptance of electromobility?
- Are there gender-specific adaptation differences related to electromobility?
- Does income have an influence on the acceptance of electromobility?

A further research direction, which is also not considered in Fazel's model, could investigate the inertia of different societies towards the socialized standard of locomotion. In this regard, the acceptance of electric vehicles / hydrogen vehicles in the USA, Germany and China could be investigated. Furthermore, implications for the further diffusion or serial introduction of vehicles with new propulsion technologies (BEV's, FCV's) in different markets could be derived from the findings of this investigation (Cf. Continental AG 2021: p. 4; Dudenhöffer 2015; Meffert et al. 2019: 214 ff.).

An alternative research direction would be to investigate whether different levels of acceptance of electric vehicles / hydrogen vehicles exist within a country depending on cluster affiliation. GfK panels could be used for this purpose, for example. Furthermore, implications for segmentation, targeting and positioning as well as different advertising measures for different consumer types could be determined (Cf. Aral 2020: 20; Kothe 2002: 738; Böhler 1977: 10 ff.).

## VI. RESEARCH MODEL AND METHODOLOGY

The empirical investigation will be conducted within the framework of a sample study (Cf. Kromrey et al. 2016: 47). The questionnaire to be developed with associated data collection as well as the modified TAM will result in an original empirical study (Cf. Schnapp et al. 2006: 21). Since an online survey using an online questionnaire is planned, complete randomization cannot be guaranteed and possible confounding factors<sup>1</sup> cannot be controlled (Cf. Aronson et al. 2004: 43; Stein 2014: 141). For this reason, the planned study can be described as an experimental field study (Cf. Tausendpfund, 2017: 195; Taffertshofer et al. 2009: 13 ff.). Since the present study is a cross-sectional study, measurement repetition should be avoided (Cf. Stein 2014: 142).

The idea is that, in addition to scientific relevance, a statement for practice can also be derived. In contrast to the TRA, the assumption is pursued that the inclusion of further influencing factors increases the explanatory power of the acceptance.<sup>2</sup> Voluntary use is assumed, so that a distinction

---

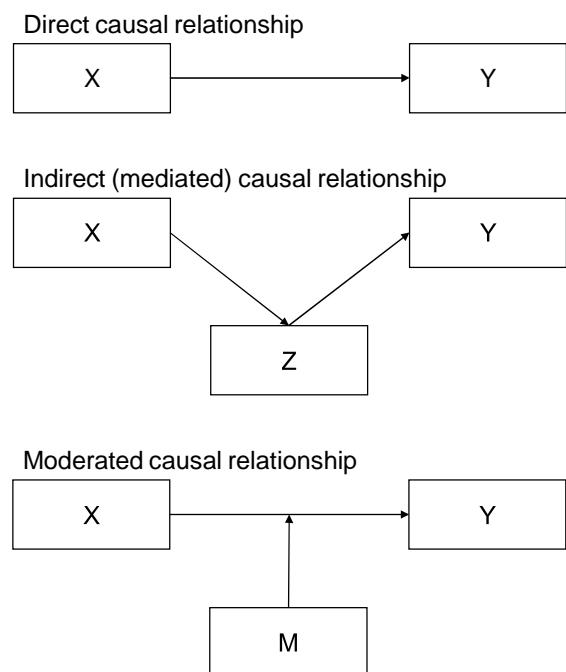
<sup>1</sup> During the survey, already known confounding factors cannot be eliminated. However, these can be taken into account and worked out during the interpretation of the results.

<sup>2</sup> The TRA assumes that all external variables are already included in the "Attitudes".

between voluntary and obstructed use can be dispensed with (Cf. Dudenhöffer 2015: 109).

Three main relationships can be identified in the relations of the constructs (see the following Figure 4): direct effects, indirect effects (mediators), and moderators (influences on the relationship between two variables) (Cf. Henseler and Fassot 2010: 715):

Figure 1 Relationships between the variables



Source: Own illustration based on Henseler and Fassot 2010: 715

This model is based in part on Fazel's research model. However, it was supplemented by the construct interest. Furthermore, it differs in the derived extension of intention and its influence on the behavioral intention to purchase a BEV/HPEV, the behavioral intention to purchase an FCV or the behavioral intention to use car sharing offers. In addition, based on Kotler and Keller 2016, a clustering of the influencing factors of the TAM into motivation, perception, learning, and memory was performed (Kotler and Keller 2016:187-194). In addition, above the center of the model, the influence from trends, the market supply, and governmental requirements is examined (Kotler and Keller 2016: 31-32, 95, 105 ff.). Below the center of the model, the investigation into the influence of culture, the social environment and personal factors takes place (Kotler and Keller 2016: 179-187).

The constructs and determinants, which have not been mentioned and explained in detail so far, are taken from Fazel's research. The constructs and determinants are based on either the Theory of Reasoned Action, the Theory of Planned Behavior, or the Technology Acceptance Model, as well as Fazel's definitions (Cf. Blatter et al. 2018: 34 ff.).

As can be seen from the research model, it is assumed that ultimately all constructs have an influence on the intention to use. Constructs with a direct influence are indicated by a solid line. Whereas constructs with an indirect influence are shown with a dashed line. In addition, the variables in the oval orange-

shaded boxes in the center of the model are assumed to have a moderating influence.

It can be seen that the construct of interest has a direct as well as moderating influence within the model. Furthermore, in the dark gray rectangular boxes, the basis functions of the TAM can be seen (Cf. Schnell et al. 2013: 146; Fazel 2014: 178).

For the investigation of the presented research model, the procedure of causal analysis, or structural equation modeling, will be used. Structural equation modeling provides empirical verification and validation of empirical data. For this purpose, a statement about the presumed effect relationships between several variables is derived in advance. Structural equation models belong to the multivariate analysis methods and can examine several statistical variables in parallel and structural equation models have a theory-testing (confirmatory) character (Cf. Hair 2006: 711; Backhaus et al. 2008: 334; Chin 1998: 297; Kornmeier 2009: 167). The developed model and the data to be collected can be analyzed, for example, with the statistical programs SPSS or Smart PLS (Cf. Dudenhöffer 2015: 212 ff.; Fazel 2014: 282-283).

The data basis should be an online questionnaire. This can be constructed, for example, using the program SoSci Survey and sent via a link (Cf. Schnell et al. 2013: 314). The SoSci Survey program is specifically designed for scientific surveys (Cf. Leiner 2019: n.p.). To ensure the comprehensibility of the questionnaire, a pretest with different test persons should be conducted in advance of the actual data collection and then possible improvements should be incorporated into the questionnaire (Cf. Weichbold 2014: 299 ff.). In order to achieve a high reach, the internet link should be disseminated via various social media channels such as Facebook, Twitter, Instagram, Xing, LinkedIn, as well as via e-mail and various online forums. This provides a non-probabilistic opportunity sample (Cf. Döring and Bortz 2016: 465-469). The relevant groups of people are reached by this distribution. The irrelevant usually do not use the media through which the questionnaire is to be distributed. In order to ensure that the questions are answered with a certain basic level of experience, only returns from persons aged 18 or older are to be considered for the survey. Accordingly, the sample composition in the survey period to be defined can be defined as follows (Cf. Lamnek 2010: 80):

- Survey area: Federal Republic of Germany
- Citizens
- Voluntary use
- From the age of 18
- The minimum sample size should be  $n > 250$  to achieve sufficient testing of the population (Cf. Przyborski and Wohlrab-Sahr 2014: 127).

## REFERENCES

- [1] Aaker, Jennifer (1997), Journal of Marketing Research, Vol. 34, August, pp. 347-356
- [2] Adelle, Camilla; Jordan Andrew (2014), Policy coherence for development in the European Union: do new producers unblock or simply reproduce old disagreements?, in: Journal of European Integration, Vol. 36, No. 4, pp. 375-391
- [3] Ajzen, Icek (1985), Theory of Planned Behavior, in: Beckhausen, Jürgen, Kuhl Julius (Eds.), Action control, From competition to behaviour, 1985, pp. 11-39
- [4] Ajzen, Icek (1991), The theory of planned behavior, in: Organizational Behavior and Human Decision Processes, 1991, Vol. 50, No. 2, pp. 179-211
- [5] Ajzen, Icek (2005), Attitudes, personality and behavior, 2. Edition, Maidenhead
- [6] Ajzen, Icek; Fishbein, Martin (1980), Understanding Attitudes and Predicting Social Behavior, 3. Edition, Englewood Cliffs
- [7] Ajzen, Icek; Madden, Thomas J. (1986), Prediction of Goal-Directed Behavior: Attitudes, Intentions, and Perceived Behavioral Control, in: Journal of Experimental Social Psychology, 1986, Vol. 22, pp. 453-474
- [8] Anderson, James C.; Wouters, Marc (2013), What You Can Learn from Your Customer's Customer, in: MIT Sloan Management Review, Vol. Winter 2013, pp. 75-82
- [9] Aronson, Elliot; Wilson, Timothy D.; Akert, Robin M. (2004), Sozialpsychologie, 1. Edition, Munich
- [10] Attenborough, David; Lagarde, Christine (2019), Nature and the Global Economy, in: Finance and Development, Vol. 12, No. 56, p. 5
- [11] Backhaus, Klaus; Erichson, Bernd; Plinke, Wulff; Weiber, Rolf (2008), Multivariate Analysemethoden – Eine anwendungsorientierte Einführung, 12. Edition, Berlin
- [12] Bandelow, Nils C.; Kundolf, Stefan (2018), Verkehrspolitische Entscheidungen, in: Schwedes, Oliver (Ed.), Verkehrspolitik, 2. Edition, Wiesbaden, pp. 169-180
- [13] Barret, Victoria (2012), SAP gets a Pit Bull, in: Forbes, Vol. February 13, pp. 38-40
- [14] Barth, Bertram; Flraig, Berthold Bodo; Schäuble, Norbert; Tautscher, Manfred (Eds.) (2018), Praxis der Sinus-Milieus, Gegenwart und Zukunft eines modernen Gesellschafts- und Zielgruppenmodells, 1. Edition, Wiesbaden
- [15] Beggs, Steven; Cardell, Scott; Hausman, Jerry (1981), Assessing the Potential Demand for Electric Cars, in: Journal of Econometrics, 1981, Vol. 16, pp. 1-19
- [16] Bemelmans-Videc, Marie-Louise; Rist, Ray C.; Vedung, Evert (1998), Carrots, sticks & sermons, policy instruments and their evaluation, 1. Edition, New Brunswick
- [17] Bennet, Roger; Vijaygopal, Rohini (2018), Consumer attitudes towards electric vehicles, Effects of product user stereotypes and self-image congruence, in: European Journal of Marketing, 2018, Vol. 52, No. 3/4, pp. 499-527
- [18] Berg, Steffen (2021), Elektroautos – Innovativ und absatzschwach?!, Empirische Analyse zur Identifikation von Kaufbereitschaftskriterien von Elektroautos, 1. Edition, Düren
- [19] Blatter, Joachim; Langer, Phil C.; Wagemann, Claudius (2018), Qualitative Methoden in der Politikwissenschaft, Eine Einführung, 1. Edition, Wiesbaden
- [20] Bouwma, Irene; Gerritsen, Alwin; Kamphorst, Dana; Kistenkas, Fred (2015), Policy instruments and modes of governance in environmental policies of the European Union, Past, present and future, 1. Edition, Wageningen
- [21] Böcher, Michael (2012), A theoretical framework for explaining the choice of instruments in environmental policy, in: Forest Policy and Economics, Vol. 16, pp. 14-22
- [22] Böhler, Heymo (1977), Methoden und Modelle der Marktsegmentierung, 1. Edition, Stuttgart
- [23] Brockhoff, Klaus (1999), Produktpolitik, 4. Edition, Stuttgart
- [24] Büning, Herbert; Trenkler, Götz (1994): Nichtparametrische statistische Methoden, 2. Edition, Berlin
- [25] Burmester, Ralf; Vahs, Dietmar (2005), Innovationsmanagement: Von der Produktidee zur erfolgreichen Vermarktung, 3. Edition, Stuttgart
- [26] Chin, Wynne W. (1998), The Partial Least Squares Approach to Structural Equation Modeling, in: Marcoulides, George A. (Ed.) (1998): Modern Methods for Business Research, Mahwah, 1. Edition, pp. 295- 336
- [27] Coleman, Richard P. (1983), The Continuing Significance of Social Class to Marketing, in: Journal of Consumer Research, Vol. 10, Issue 3, pp. 265-280
- [28] Davis, Fred D. (1985), A Technology Acceptance Model for Empirically Testing New End-User Information Systems, 1. Edition, Cambridge
- [29] Davis, Fred D. (1989), Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology, in: Management Information Systems Quarterly, 1989, Vol. 13, No. 3, pp. 319-340
- [30] Davis, Fred D.; Bagozzi, Richard P.; Warshaw, Paul R. (1989), User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models, in: Management Science, 1989, Vol. 35, No. 8, pp. 982-1003
- [31] Deci, Edward L.; Ryan, Richard M. (1990), A motivational approach to self: integration in personality, in: Nebraska Symposium on Motivation (Ed.), Perspectives on Motivation, Vol. 38, Lincoln, pp. 237-288
- [32] Deutsches CleanTech Institut (2010), eMobilität, Vol. 4, 1. Edition, Bonn
- [33] Dethloff, Claus (2004), Akzeptanz und Nicht-Akzeptanz von technischen Produktinnovationen, 1. Edition, Lengerich
- [34] Dillon, Andrew; Morris, Michael G. (1996), User acceptance of new information technology: theories and models, in: Annual Review of Information Science, 1996, Vol. 31, pp. 3-32
- [35] Dinse, Gundl (2001), Akzeptanz von wasserstoffbetriebenen Fahrzeugen, Eine Studie über die Verwendung eines neuen und ungewohnten Kraftstoffs, 3. Edition, Berlin
- [36] Disselkamp, Marcus (2012), Innovationsmanagement, Instrumente und Methoden zur Umsetzung im Unternehmen, 2. Edition, Wiesbaden
- [37] Dhinakaran, Veeman; Surendran, Rajesh; Varsha Shree, Mahesh; Gupta, Parul (2021): Study on Electric Vehicle (EV) and Its Developments Based on Batteries, Drive System and Charging Methodologies in Modern World, in: Patel, Nil; Bhoi, Akash Kumar; Padmanaban, Sanjeevikumar; Holm-Nielsen, Jens Bo (Eds.), Electric Vehicles, Modern Technologies and Trends, 1. Edition, Chapter 6, pp. 103-118
- [38] Donath, Bob (2006), Emotions Play Key Role in Biz Brand Appeal, in: Marketing News, Vol. June 1, p. 7
- [39] Doppelbauer, Martin (2020), Grundlagen der Elektromobilität, Technik, Praxis, Energie und Umwelt, 1. Edition, Wiesbaden
- [40] Dosi, Giovanni (1982), Technological Paradigms and Technological Trajectories: a Suggested Interpretation of the Determinants and Directions of Technical Change, in: Research Policy, 1982, Vol. 11, pp. 147-162
- [41] Döring, Nicola; Bortz, Jürgen (2016), Forschungsmethoden und Evaluation für Human- und Sozialwissenschaftler, 5. Edition, Heidelberg
- [42] Duden Wirtschaft von A bis Z (2016), Grundlagenwissen für Schule und Studium, Beruf und Alltag, 6. Edition, Mannheim
- [43] Dudenhöffer, Kathrin (2015), Akzeptanz von Elektroautos in Deutschland und China, Eine Untersuchung von Nutzungsintentionen im Anfangsstadium der Innovationsdiffusion, 1. Edition, Wiesbaden
- [44] Egan, John (2020), Marketing Communications, 3. Edition, Los Angeles
- [45] Emadi, Ali; Lee, Young Joo; Rajashekara, Kaushik (2008), Power Electronics and Motor Drives in Electric, Hybrid Electric, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles, in: IEEE Transactions on industrial electronics, Vol. 55, No. 6, pp. 2237-2245
- [46] Faraz, Ahmad; Ambikapathy, A.; Thangavel, Saravanan; Logavani, S.; Prasad, G. Arun (2021), Battery Electric Vehicles (BEVs), in: Patel, Nil; Bhoi, Akash Kumar; Padmanaban, Sanjeevikumar; Holm-Nielsen, Jens Bo (Eds.), Electric Vehicles, Modern Technologies and Trends, 1. Edition, Chapter 8, pp. 137-160
- [47] Fazel, Ludwig (2014), Akzeptanz von Elektromobilität – Entwicklung und Validierung eines Modells unter Berücksichtigung der Nutzungsform des Carsharings, 1. Edition, Wiesbaden
- [48] Felser, Georg (2015): Werbe- und Konsumentenpsychologie, 4. Edition, Berlin/Heidelberg
- [49] Fielding, Michael (2006), Shift the Focus, in: Marketing News, Vol. September 1, pp. 18-20
- [50] Finger, Tobias (2015), Dicke Luft: Europa bekommt Feinstaubbelastung nicht in den Griff, 1. Edition, Düsseldorf
- [51] Fishbein, Martin; Ajzen, Icek (1975), Belief, Attitude, Intention and Behavior: An Introduction to Theory and Research, 1. Edition, Amherst
- [52] Foscht, Thomas; Swoboda, Bernhard; Schramm-Klein, Hanna (2017), Käuferverhalten, Grundlagen – Perspektiven – Anwendungen, 6. Edition, Wiesbaden
- [53] Frenzel, Ina; Jarass, Julia; Trommer, Stefan; Lenz, Barbara (2015), Erstnutzer von Elektrofahrzeugen in Deutschland, Nutzerprofile, Anschaffung, Fahrzeugnutzung, 2. Edition, Berlin
- [54] Gatignon, Hubert; Robertson, Thomas S. (1985), A Propositional Inventory for New Diffusion Research, in: Journal of Consumer Research, 1985, Vol. 11, No. 4, pp. 849-867
- [55] Gerpott, Torsten J. (2005), Strategisches Technologie- und

- Innovationsmanagement, 2. Edition, Stuttgart
- [56] Gerrig, Richard J. (2016), Psychologie, 20. Edition, Munich
- [57] Giffi, Craig; Vitale Jr., Joe; Drew, Michelle; Kuboshima, Yuki; Sase, Masato (2011), Unplugged: Electric Vehicle realities versus consumer expectations, Ed. 2011, London
- [58] Gordon, Gesa; Nelke, Astrid (Eds.) (2017), CSR und Nachhaltige Innovation, Zukunftsfähigkeit durch soziale ökonomische und ökologische Innovationen, 1. Edition, Wiesbaden
- [59] Gossum, Peter van; Arts, Bas; Verheyen, Kris (2010), From "smart regulation" to "regulatory arrangements", in: Policy Sciences, Vol. 43, No. 3, pp. 245-261
- [60] Gunningham, Neil; Grabowsky, Peter; Sinclair, Darren (1998), Smart regulation, Designing environmental policy, 1. Edition, Oxford
- [61] Hamm, Ingo (2019): Kauf-Instinkt – Mit einem einfachen Modell des Konsumverhaltens zu zielsicheren Marketingstrategien, 1. Edition, Stuttgart
- [62] Hair, Joseph F. (2006), Multivariate data analysis, 6. Edition, Upper Saddle River
- [63] Hauschildt, Jürgen; Salomo, Sören; Schultz, Carsten; Kock, Alexander (2016), Innovationsmanagement, 6. Edition, München
- [64] Henseler, Jörg; Fassott, Georg (2010), Testing Moderating Effects in PLS Path Models: an Illustration of Available Procedures, in: Vinzi, Vincenzo Esposito; Chin, Wynne W.; Henseler, Jörg; Wang, Huiwen (Eds.), Handbook of Partial Least Squares: Concepts, Methods and Applications, 2010, 1. Edition, Heidelberg, pp. 713-735
- [65] Howlett, Michael (1991), Policy instruments, policy styles, and policy implementation - national approaches to theories of instrument choice, in: Policy Studies Journal, Vol. 19, no.2, pp. 1-21
- [66] Howlett, Michael (2009), Governance modes, policy regimes and operational plans: A multi-level nested model of policy instrument choice and policy design, in: Policy Sciences, Vol. 42, No. 1, pp. 73-89
- [67] Jordan, Andrew; Wurzel, Rüdiger K.; Zito, Anthony (2005), The rise of 'new' policy instruments in comparative perspective: Has governance eclipsed government?, in: Political Studies, Vol. 53, no.3, pp. 477-496.
- [68] Kagan, Robert A.; Axelrad, Lee (1997), Adversarial legalism: an international perspective, in Pietro S. Nivola (Ed.), Comparative Disadvantages? Social Regulations and The Global Economy, 1. Edition, Washington, D.C.
- [69] Kahneman, Daniel; Tversky, Amos (1974), Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases, in: Science, 1974, Vol. 185, No. 4157, pp. 1124-1131
- [70] Kahneman, Daniel; Tversky, Amos (1979), Prospect theory: An analysis of decisions under risk, in: Econometrica, 1979, Vol. 47, No. 2, pp. 263-292
- [71] Kampker, Achim; Vallée, Dirk; Schnettler, Armin (2018), Elektromobilität, Grundlagen einer Zukunftstechnologie, 2. Edition, Berlin
- [72] Kaplan, David A. (2010), No. 1 in SAS, in: The 100 Best Companies to Work For, Fortune, February 8, pp. 56-64
- [73] Karle, Anton (2021), Elektromobilität, Grundlagen und Praxis, 5. Edition, München
- [74] Karnowski, Veronika (2017), Diffusionstheorien, 2. Edition, Wiesbaden
- [75] Kiley, David (2006), Small Print Jobs for Peanuts, in: BusinessWeek, July 17, 2006, p. 58
- [76] Kotler, Philip; Bliemel, Friedhelm (2006), Marketing-Management – Analyse, Planung und Verwirklichung, 10. Edition, München
- [77] Kotler, Philip; Keller, Kevin Lane (2016), Marketing-Management, 15. Edition, London
- [78] Kotler, Philip; Keller, Kevin Lane; Opresnik, Marc Oliver (2017), Marketing-Management, Konzepte – Instrumente – Unternehmensfallstudien, 14. Edition, London
- [79] Kollmann, Tobias (1998), Akzeptanz innovativer Nutzungsgüter und -systeme: Konsequenzen für die Einführung von Telekommunikations- und Multimediasystemen, 1. Edition, Wiesbaden
- [80] Kornmeier, Klaus (2009): Determinanten der Endkundenakzeptanz mobilkommunikationsbasierter Zahlungssysteme – Eine theoretische und empirische Analyse, 1. Edition, Duisburg-Essen
- [81] Kothe, Peter (2002), Von der mikrogeografischen Marktsegmentierung zum Mikromarketing, in: Dallmer, Heinz (Ed.), Das Handbuch, Direct Marketing & More, 2002, pp. 737-754
- [82] Kuß, Alfred; Tomczak, Torsten (2007), Käuferverhalten, 4. Edition, Stuttgart
- [83] Kuhnert, Felix; Arsdale, Steven van; Neuhausen, Jörn; Kliesing, Annabelle (2021): Electric Vehicle Sales Review Q3 2021, Foresight to drive the industry, July 2021, in: strategy& Part of the PwC Network, München
- [84] Krapp, Andreas (1992), Das Interessenkonstrukt, Bestimmungsmerkmale der Interessenhandlung und des individuellen Interesses aus der Sicht einer Person- Gegenstands-Konzeption, in: Krapp, Andreas; Prenzel, Manfred (Eds.), Interesse, Lernen, Leistung: neuere Ansätze der pädagogisch-psychologischen Interessenforschung, 1992, 1. Edition, Münster, pp. 297-329
- [85] Krapp, Andreas (1998), Entwicklung und Förderung von Interessen im Unterricht, in: Krapp, Andreas; Perrez, Meinrad; Rauh, Hellgard; Schmidt-Denter, Ulrich (Eds.), Psychologie in Erziehung und Unterricht, 1998, Vol. 45, Munich/Basel, pp. 185-201
- [86] Krapp, Andreas (1999), Intrinsische Lernmotivation und Interesse, Forschungsansätze und konzeptionelle Überlegungen, in: Zeitschrift für Pädagogik, 1999, Vol. 45, No. 3, pp. 387-406
- [87] Krapp, Andreas (2002), An Educational-Psychological Theory of Interest and Its Relation to SDT, in: Deci, Edward L.; Ryan, Richard M. (Eds.), Handbook of self-determination research, 2002, 1. Edition, New York, pp. 405-426
- [88] Krapp, Andreas (2010a), Die Bedeutung von Interessen für die Lernmotivation und das schulische Lernen – eine Einführung (Geographiedidaktische Forschungen), in: Hemmer, Ingrid; Hemmer, Michael (Eds.), Schülerinteresse an Themen, Regionen und Arbeitsweisen des Geographieunterrichts, Ergebnisse der empirischen Forschung und deren Konsequenzen für die Unterrichtspraxis, 2010, Vol. 46, Weingarten, pp. 9-26
- [89] Krapp, Andreas (2010b), Interesse, in: Rost, Detlef H.; Sparfeldt, Jörn R.; Buch Susanne R. (Eds.), Handwörterbuch Pädagogische Psychologie, 2010, 4. Edition, Weinheim, pp. 311-323
- [90] Krapp, Andreas; Hascher, Tina (2014), Theorien der Lern- und Leistungsmotivation, in: Ahnert, Lieselotte (Ed.), Theorien in der Entwicklungspsychologie, 2014, 1. Edition, Berlin/Heidelberg, pp. 252-281
- [91] Krapp, Andreas; Ryan, Richard M. (2002); Selbstwirksamkeit und Lernmotivation, Eine kritische Betrachtung der Theorie von Bandura aus der Sicht der Selbstbestimmungstheorie und der pädagogisch-psychologischen Interessen-theorie (Zeitschrift für Pädagogik Beiheft), in: Jerusalem, Matthias; Hopf, Diether (Eds.), Selbstwirksamkeit und Motivationsprozesse in Bildungsinstitutionen, 2002, Weinheim/Basel, pp. 54-82
- [92] Krings, Thorsten (2020), Strategische Unternehmensführung – Von der Analyse zur Implementierung, 1. Edition, Stuttgart
- [93] Kroeker-Riel, Werner; Gröppel-Klein, Andrea (Konsumentenverhalten, 2019), Konsumentenverhalten, 11. Edition, Munich
- [94] Kromrey, Helmut; Roose, Jochen; Strübing, Jörg (Empirische Sozialforschung, 2016), Empirische Sozialforschung, 1. Edition, Stuttgart
- [95] Lamnek, Siegfried (2010), Qualitative Sozialforschung, 6. Edition, Weinheim
- [96] Lamons, Bob (2005), Branding, B-to-B Style, in: Sales and Marketing Management, No. 157, pp. 46-50
- [97] Larminie, James; Lowry, John (2012), Electric Vehicle Technology Explained, 2. Edition, New Jersey
- [98] Lascombes, Pierre; Le Gales, Patrick (2007), Introduction: Understanding Public Policy through Its Instruments - From the Nature of Instruments to the Sociology of Public Policy Instrumentation, in: Governance, Vol. 20, no.1, pp. 1-21
- [99] Levy, Piet (2009), Reeling in the Hungry Fish, in: Marketing News, Vol. May 30, p. 6
- [100] Lin, Jiun-Sheng Chris; Chang, Hsing-Chi (2011), The role of technology readiness in self-service technology acceptance, in: Managing Service Quality, 2011, Vol. 21, No. 4, pp. 424-444
- [101] Lippold, Dirk (2015), Marktorientierte Unternehmensplanung – Eine Einführung, 1. Edition, Berlin
- [102] Luarn, Pin; Lin, Hsin-Hui (2005), Toward an understanding of the behavioral intention to use mobile banking, in: Computers in Human Behavior, 2005, Vol. 21, No. 6, pp. 873-891
- [103] Maslow, Abraham H. (1943), A theory of human motivation, in: Psychological Review, (1943), No. 4, pp. 370-396
- [104] Mathieson, Kieran (1991), Predicting User Intentions: Comparing the Technology Acceptance Model with the Theory of Planned Behavior, in: Information Systems Research, 1991, Vol. 2, No. 3, pp. 173-191
- [105] McFarland, Daniel J.; Hamilton, Diane (2006), Adding contextual specificity to the technology acceptance model, in: Computers in Human Behavior, 2006, Vol. 22, No. 3, pp. 427-447
- [106] Meffert, Heribert; Burmann, Christoph; Kirchgeorg, Manfred; Eisenbeiß, Maik (2019), Marketing – Grundlagen marktorientierter

- Unternehmensführung – Konzepte –Instrumente – Praxisbeispiele, 13. Edition, Wiesbaden
- [107] Melnyk, Valentin; Osselaer, Stijn M. J. van; Bijmolt, Tammo H. A. (2009), Are Women More Local Customers than Men? Gender Differences in Loyalty to Firms and Individual Service Providers, in: Journal of Marketing, Vol. 73, pp. 82-96
- [108] Mehta, Dev; Senn-Kalb, Leonie (2021), In-depth: e-Mobility 2021, in: Statista Mobility Market Outlook, May 2021
- [109] Midgley, David F.; Dowling, Grahame R. (1978), Innovativeness, The Concept and its Measurement, in: The Journal of Consumer Research, 1978, Vol. 4, No. 4, pp. 229-242
- [110] Mitchell, Mathew (1993), Situational interest: Its multifaceted structure in the secondary school mathematics classroom, in: Journal of Educational Psychology, 1993, Vol. 85, No. 3, pp. 424-436
- [111] Moore, Elizabeth S.; Wilkie, William L.; Lutz, Richard J. (2002), Passing the Torch: Intergenerational Influences as a Source of Brand Equity, in: Journal of Marketing, Vol. 66, pp. 17-37
- [112] Moser, Klaus (1990), Werbepsychologie: Eine Einführung, 1. Edition, Munich
- [113] Mowery, David; Rosenberg, Nathan (1979), The Influence of Market Demand upon Innovation: A Critical Review of some Recent Empirical Studies, in: Research Policy, 1979, Vol. 8, pp. 102-153
- [114] Nolden, Rolf-Günther; Körner, Peter; Bizer, Ernst (2010), Management im Industriebetrieb, Geschäftsprozesse, 7. Edition, Troisdorf
- [115] Nysveen, Herbjørn; Pedersen, Per E.; Thorbjørnsen, Helge (2005), Explaining intention to use mobile chat services: moderating effects of gender, in: Journal of Consumer Marketing, 2005, Vol. 22, No. 5, pp. 247-256
- [116] O'Connor, Gina Colarelli; McDermott, Christopher M. (2004), The Human Side of Radical Innovation, in: Journal of Engineering and Technology Management, 2004, Vol. 21, pp. 11-30
- [117] Ondracek, Petr (2020), Personzentriertes Arbeiten in sozialen Berufen, 1. Edition, Stuttgart
- [118] O'Shaughnessy, John (1987): Why people buy, 1. Edition, New York
- [119] Palan, Kay M.; Wilkes, Robert E (1997), Adolescent-Parent Interaction in Family Decision Making, in: Journal of Consumer Research, Vol. 24, Issue 3, pp. 159-169
- [120] Perrels, Adriaan (2001), Efficiency and effectiveness of policy instruments: concepts and practice. Government Institute of Economic Research (VATT), Copenhagen
- [121] Pleschak, Franz; Sabisch, Helmut (1996): Innovations-management, 1. Edition, Stuttgart
- [122] Pohl, Alexander (1994), Ausgewählte Theorieansätze zur Erklärung des Nachfragerverhaltens bei technologischen Innovationen, 1. Edition, Trier
- [123] Proff, Harald; Bowman, Karen; Takahashi, Hisayoshi; Zhou, Andy; Kim, Tae Kwan; Singh, Rajeev; Robinson, Ryan; Helmer, Shannon; Meng, Pua Wee (2022), 2022 Global Automotive Consumer Study, Key findings: Global focus countries, Ed. January 2022, London
- [124] Proff, Heike; Szybisty, Gregor (2018), Herausforderung für den Automobilhandel durch die Elektromobilität, 1. Edition, Wiesbaden
- [125] Przyborski, Aglaja; Wohlrab-Sahr, Monika (2014), Forschungsdesigns für die qualitative Sozialforschung, in: Baur, Nina; Blasius, Jörg (Eds.), Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, 2014, 1. Edition, Wiesbaden, pp. 117-133
- [126] Rick, Scott I.; Small, Deborah A.; Finkel, Eli J. (2011), Fatal (Fiscal) Attraction: Spendthrifts and Tightwads in Marriage, in: Journal of Marketing Research, Vol. 48, pp. 228-237
- [127] Rogers, Everett M.; Shoemaker, F. Floyd (1971), Communication of Innovations. A Cross-Cultural Approach, 1. Edition, New York
- [128] Rogers, Everett M. (2003), Diffusion of innovations, 5. Edition, New York
- [129] Rosen, Philipp Andreas (2018), Beitrag zur Optimierung von Wasserstoffdruckbehältern Thermische und geometrische Optimierung für die automobile Anwendung, 1. Edition, Wiesbaden
- [130] Rudschies, Wolfgang (2019), Elektroautos für alle, in: ADAC Motorwelt, 2019, No. 06/2019, pp. 12-16
- [131] Rutschmann, Marc (2013), Abschied vom Branding, Wie man Kunden wirklich ans Kaufen führt – mit Marketing, das sich an Kaufprozessen orientiert, 2. Edition, Wiesbaden
- [132] Sallee, James M. (2011), The Surprising Incidence of Tax Credits for the Toyota Prius, in: American Economic Journal, Economic Policy 3, pp. 189-219
- [133] Salomon, Lester M. (2002), The tools of government: A guide to the new governance, 1. Edition, Oxford
- [134] Sanguesa, Julio A.; Torres-Sanz, Vicente; Garrido, Piedad; Martinez, Francisco J.; Marquez-Barja, Johann M. (2021), A review on Electric Vehicles: Technologies and Challenges, in: Smart Cities 2021, Vol. 4, pp. 372-404
- [135] Schiefele, Hans; Prenzel, Manfred; Krapp, Andreas; Heiland, Alfred; Kasten, Hartmut (1983), Principles of an educational theory of interest, in: Paper presented at the 7th Biennial Meeting of the International Society for the Study of Behavioral development, 1983, Munich
- [136] Schiffman, Leon G.; Kanuk, Leslie Lazar (2010), Consumer Behavior, 10. Edition, New Jersey
- [137] Silberg, Gary; Shapiro, Eric; Stelk, Scott; Schalk, Peter; Oppold, Bernd (2021), Industry leaders foresee dramatic changes, Where the opportunities may lie, in: KPMG, 22nd Annual, Global Automotive Executive Survey 2021, Chicago
- [138] Schmidt, Sabine (2009), Die Diffusion komplexer Produkte und Systeme, Ein systemdynamischer Ansatz, 1. Edition, Wiesbaden
- [139] Schnapp, Kai-Uwe; Schindler, Delia; Gschwend, Thomas; Behnke, Joachim (2006): Qualitative und Quantitative Zugänge: Eine integrative Perspektive, in: Behnke, Joachim; Gschwend, Thomas; Schindler, Delia; Schnapp, Kai-Uwe (Eds.), Methoden der Politikwissenschaft, Neuere qualitative und quantitative Analyseverfahren, 1. Edition, Baden-Baden, pp. 11-26
- [140] Schnell, Rainer; Hill, Paul B.; Esser, Elke (2013), Methoden der empirischen Sozialforschung, 1. Edition, Munich
- [141] Schulé, Roland (2011), Hybrid- und Elektroantriebe im Kfz, 2. Edition, Munich
- [142] Schumpeter, Joseph A. (2010), Konjunkturzyklen, 1. Edition, Göttingen
- [143] Schwedes, Oliver (2018), Verkehrspolitik, Eine interdisziplinäre Einführung, 2. Edition, Wiesbaden
- [144] Seibert, Siegfried (1998), Technisches Management, Innovationsmanagement – Projektmanagement- Qualitätsmanagement, 1. Edition, Leipzig
- [145] Singh, Himanshu; Ambikapathy, A.; Logavani, K.; Prasad, G. Arun; Thangavel, Saravanan (2021), Plug-In-Hybrid Electric Vehicles (PHEVs), in: Patel, Nil; Bhoi, Akash Kumar; Padmanaban, Sanjeevikumar; Holm-Nielsen, Jens Bo (Eds.), Electric Vehicles, Modern Technologies and Trends, 1. Edition, Chapter 3, pp. 53-72
- [146] Solomon, Michael R. (2014), Consumer Behavior: Buying, Having, and Being, 11. Edition, New Jersey
- [147] Spindler, Gerd-Inno (2016), Basiswissen Marketing: Quick Guide für (Quer-) Einsteiger, Jobwechsler, Selbstständige, Auszubildende und Studierende, 1. Edition, Wiesbaden
- [148] Stauss, Bernd; Seidel, Wolfgang (2014), Beschwerdemanagement, 5. Edition, Munich
- [149] Stein, Petra (Forschungsdesigns, 2014), Forschungsdesigns für die quantitative Sozialforschung; in: Baur, Nina, Blasius, Jörg (Eds.), Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, 2014, 1. Edition, Wiesbaden, pp. 135-151
- [150] Sullivan, Elisabeth (2009), A Worthwhile Investment, in: Marketing News, December 30, p. 10
- [151] Summers, John O. (1971), Generalized Change Agents and Innovativeness, in: Journal of Marketing Research, 1971, Vol. 8, pp. 313-316
- [152] Taffertshofer, Andreas; Kühl, Stefan; Strodttholz, Petra (Eds.) (2009), Quantitative Methoden Der Organisationsforschung: Ein Handbuch, 1. Edition, Wiesbaden
- [153] Tausendpfund, Markus (2017), Quantitative Methoden in der Politikwissenschaft: Eine Einführung, 1. Edition, Wiesbaden
- [154] Träger, Thomas (2021), Personalmanagement – Grundlagen und Instrumente, 1. Edition, München
- [155] Tushman, Michael L.; Anderson, Philip (1986), Technological Discontinuities and Organizational Environments, in: Administrative Science Quarterly, 1986, Vol. 31, No. 3, pp. 439-465
- [156] Utterback, James M. (1971), The Process of Technological Innovation within the Firm, in: Academy of Management Journal, 1971, Vol. 14, pp. 75-88
- [157] Utterback, James M.; Suárez, Fernando F. (1993), Innovation, Competition, and Industry Structure, Research Policy, 1993, Vol. 22, pp. 1-21
- [158] Vedung, Evert (1998), Policy instruments; typologies and theories, in: Bemelmans-Videc, Marie-Louise; Rist, Ray C.; Vedung, Evert (Eds.), Carrots, stick and sermons, New Brunswick, pp. 21-59

- [159] Venkatesh, Viswanath; Bala, Hillol (2008), Technology Acceptance Model 3 and a Research Agenda on Interventions, in: Decision Sciences, 2008, Vol. 39, No. 2, pp. 273-315
- [160] Venkatesh, Viswanath; Davis, Fred D. (2000), A Theoretical Extension of the Technology Acceptance Model: Four Longitudinal Field Studies, in: Management Science, 2000, Vol. 46, No. 2, pp. 186-204
- [161] Venkatesh, Viswanath; Morris, Michael G.; Davis, Gordon B.; Davis, Fred D. (2003), User Acceptance of Information Technology, Toward a Unified View, in: Management Information Systems Quarterly, 2003, Vol. 27, No. 3, pp. 425-478
- [162] Wallentowitz, Henning; Freialdenhoven, Arndt; Olschewski, Ingo (2010), Strategien zur Elektrifizierung des Antriebstranges, Technologien, Märkte und Implikationen, 1. Edition, Wiesbaden
- [163] Wahren, Heinz-Kurt (2004), Erfolgsfaktor Innovation, Ideen systematisch generieren, bewerten und umsetzen, 1. Edition, Berlin Heidelberg
- [164] Webster Jr., Frederick E.; Keller, Kevin Lane (2004), A Roadmap of Branding, in: Industrial Markets, in: Journal of Brand Management, Vol. 11, pp.388-402
- [165] Webster Jr., Frederick E.; Ward, Scott (1991), Organizational Buying Behavior, in: Robertson, Tom; Kassarjian, Kan (Eds.), Handbook of Consumer Behavior, chapter 12, pp. 419-458
- [166] Weichbold, Martin (2014), Pretest, in: Baur, Nina, Blasius, Jörg (Eds.), Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung, 2014, 1. Edition, Wiesbaden, pp. 299-304
- [167] Weinberg, Peter (1981), Das Entscheidungsverhalten der Konsumenten, 1. Edition Paderborn
- [168] Williams, Michael D.; Dwivedi, Yogesh K.; Lal, Banita; Schwarz, Andrew (2009), Contemporary Trend and Issues in IT Adoption and Diffusion Research, in: Journal of Information Technology, 2009, Vol. 24, pp. 1-10
- [169] Wolf, Christof; Best, Henning (2010): Handbuch der sozialwissenschaftlichen Datenanalyse, 1. Edition, Wiesbaden
- [170] Zaltman, Gerald; Duncan, Robert; Holbek, Jonny (1973), Innovations and Organizations, 1. Edition, New York
- [171] Zentes, Joachim; Janz, Markus; Kabuth, Peter; Swoboda, Bernhard (2002), Best-Practice-Prozesse im Handel – Customer Relationship Management und Supply Chain Management, 1. Edition, Frankfurt am Main
- [172] Fluid internet sources
- [173] Appel, Holger (2021), Im Antriebsdilemma, URL: <https://www.faz.net/aktuell/technik-motor/elektromobilitaet/mobilitaet-und-klima-das-dilemma-mit-dem-antrieb-der-elektroautos-17163477.html>, last Access: 25.02.2021
- [174] Aral AG (Kaufkriterien, 2019), Trends beim Autokauf 2019, URL: <https://www.aral.de/content/dam/aral/business-sites/de/global/retail/presse/broschueren/aral-studie-trends-beim-autokauf-2019.pdf>, last Access: 04.01.2021
- [175] ARD and ZDF (2020), ARD/ZDF-Onlinestudie 2020, URL: <https://www.ard-zdf-onlinestudie.de/social-mediawatsapp/>; last Access 23.02.2021
- [176] Autobild (2018), Alles zum Brennstoffzellen-SUV, URL: <https://www.autobild.de/artikel/hyundai-nexo-2018-12870837.html>, last Access: 08.03.2019
- [177] Auto-Motor-Sport (2018), Alltagstauglicher Brennstoffzellen-Antrieb, URL: <https://www.auto-motor-und-sport.de/fahrbericht/hyundai-nexo-fahrbericht-preis-marktstart-brennstoffzelle-wasserstoff/#4>, last Access: 08.03.2019
- [178] BDEW (2020), Jeder zehnte Deutsche plant die Anschaffung eines Elektrofahrzeugs, URL: <https://www.bdew.de/presse/presseinformationen/zdw-jeder-zehnte-deutsche/>; last Access: 17.02.2022
- [179] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) (2017), Fahrzeugkonzepte für Elektroautos, URL: <https://www.bmu.de/themen/luft-laerm-verkehr/verkehr/elektromobilitaet/allgemeine-informationen/fahrzeugkonzepte-fuer-elektroautos/>, last Access: 03.03.2019
- [180] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWI) (2016), Kabinett beschließt Förderung von Elektroautos; URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2016/20160518-kabinett-beschliesst-foerderung-von-elektroautos.html>, last Access: 30.01.2022
- [181] Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWI) (2022), Rahmenbedingungen und Anreize für Elektrofahrzeuge und Ladeinfrastruktur, URL: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/rahmenbedingung-en-und-anreize-fuer-elektrofahrzeuge.html>, last Access: 30.01.2022
- [182] Bundesregierung (2022), Vorteile für Elektroautos, URL: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/suche/vorteile-fuer-elektroautos-336442>, last Access: 30.01.2022
- [183] CAM (Center of Automotive Management) (2021), E-Mobilität in Deutschland 2021, URL: <https://auto-institut.de/automotiveinnovations/emobility/e-mobilitaet-in-deutschland-2021/>, last Access: 22.02.2022
- [184] Calmbach, Marc, Hecht, Jan (2018), Sinus-Milieus Deutschland, URL: <http://www.sinus-institut.de/sinus-loesungen/sinus-milieusdeutschland/>, last Access: 24.03.2019
- [185] Continental AG (2021), (Elektro-) Mobilität in Zeiten der Covid-19-Pandemie, Die Continental Mobilitätsstudie, URL: <https://www.continental.com/resource/blob/240098/b49689e01c6d73ccda664593139c504/elektro-mobilitaet-in-zeiten-der-covid-19-pandemie-data.pdf>, last Access: 25.02.2021
- [186] DEW21 (2019), Arten von Elektroautos – Technische Grundlagen, URL: <https://elektromobilitaet.dew21.de/arten-von-elektroautos>, last Access: 03.03.2019
- [187] Delhaes, Daniel (2021), Eine Million E-Autos: Deutschland erreicht Elektro-Ziel dieses Jahr, Beim Autogipfel werden Merkel und die Autobosse einen Erfolg feiern: Die Zulassungen von E-Autos steigen stark. Doch es gibt Kritik an den Subventionen, vor allem an einer, URL: <https://www.handelsblatt.com/politik/deutschland/elektromobilitaet-eine-million-e-autos-deutschland-erreicht-elektro-ziel-dieses-jahr/26940120.html?ticket=ST-6505449-G3LvWJqqNLnt5pTWQ3T1-ap6>, last Access: 26.02.2021
- [188] Deloitte (2018), 2018 Deloitte Global Automotive Consumer Study Module 2: Advanced Technology Update & Customer Experience, Primary Insights: Germany, March 2018, URL: <https://www.statista.com/statistics/915113/consumer-incentives-to-use-a-battery-powered-electric-vehicles-germany/>, last Access: 17.02.2022
- [189] EV-Volumes (2022): Global EV Sales for 2021, URL: <https://www.ev-volumes.com/>, last Access: 15.02.2022
- [190] Held, Michael (2019), Arten von Elektrofahrzeugen, URL: <https://e-auto-journal.de/arten-von-elektrofahrzeugen/>, last Access: 03.03.2019
- [191] h2.live (2021), H2Mobility, Jahresbericht 2021, URL: [https://h2.live/wp-content/uploads/2022/01/H2M\\_IAC-AnnualReport-2021\\_2022-01-27\\_DE.pdf](https://h2.live/wp-content/uploads/2022/01/H2M_IAC-AnnualReport-2021_2022-01-27_DE.pdf), last Access: 20.02.2022
- [192] Kaindl, Franziska (2019), Wasserstoffautos: Ist Elektro gar nicht die Zukunft?, URL: <https://www.tz.de/auto/wasserstoffautos-elektro-nicht-zukunft-zr-9426483.html>, last Access: 02.10.2019
- [193] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) (2020), Personenkraftwagen am 1. Januar 2020 nach ausgewählten Merkmalen, URL: [https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2020/fz13\\_2020\\_pdf.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=6](https://www.kba.de/SharedDocs/Publikationen/DE/Statistik/Fahrzeuge/FZ/2020/fz13_2020_pdf.pdf?__blob=publicationFile&v=6), last Access: 24.02.2021
- [194] Kraftfahrt-Bundesamt (KBA) (2021), Anteil ausgewählter Kraftstoffarten an den Neuzulassungen von Personenkraftwagen in Deutschland von 2010 bis 2020, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/699301/umfrage/anteil-von-kraftstoffarten-an-neuzulassungen-von-pkw-in-deutschland/>, last Access: 15.02.2021
- [195] Leiner, Dominic J. (2019), SoSci Survey, Version 3.1.06, URL: <https://www.soscisurvey.de>, last Access: 22.02.2021
- [196] MarketingSherpa (2010), 2009-10 B2B Marketing Benchmark Report, URL: <https://content.marketingsherpa.com/heap/B2BMarketingExcerpt2010.pdf>, last access: 09.01.2022
- [197] Rakuten Insight (2019), Main reasons to choose an electric car over a conventional car in China as of June 2019, URL: <https://www.statista.com/statistics/1028621/china-main-reasons-for-favoring-an-electric-car/>, Last Access: 17.02.2022
- [198] Rattay, Uwe (2020), Tesla Model 3: Setzt Maßstäbe, trotz Schwächen, URL: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/autokatalog/markenmodelle/tesla/tesla-model-3/>, last Access: 24.01.2021
- [199] Ritchie Bros Auctioneers (2022), Discover Ritchie Bros., Solutions for buying, selling, and managing equipment, URL: <https://www.ritchiebros.com/>, last access: 09.01.2022
- [200] SAP (2010), Best practice of Best-Run Sales Organizations: Sales Opportunity Blueprinting, URL: <https://archive.sap.com/documents/docs/DOC-5195>, last access: 09.01.2021

- [201] Shocking Solutions (2009), Hybrid, PHEV, HEV, BEV What does it all mean? URL: <https://shockingsolutions.wordpress.com/2009/05/28/hybrid-phev-hev-bev-what-does-it-all-mean/>, last access: 10.01.2021
- [202] Statista (2018), Welche sind aus Ihrer Sicht die drei entscheidenden Treiber für eine Steigerung des Marktanteils von Elektroautos in Deutschland?, URL: <https://de.statista.com/prognosen/916647/expertenbefragung-zu-den-wichtigsten-treibern-der-elektroautobranche>, Letzter Abruf: 04.01.2021
- [203] Steinberg, Sebastian, Brauner, Caren, Ament, Helena, Rose, Jens (2016), Management im Wandel, Produktmanagement Innovation, URL: [https://www4.fh-swf.de/media/downloads/fbma/download\\_7/professorinnen/kern/publikationen\\_\\_downloads/grundsatzpapiere\\_\\_praesentationen/management\\_ss2016/Projektdokumentation\\_-\\_Ament-Brauner-Rose-Steinberg.pdf](https://www4.fh-swf.de/media/downloads/fbma/download_7/professorinnen/kern/publikationen__downloads/grundsatzpapiere__praesentationen/management_ss2016/Projektdokumentation_-_Ament-Brauner-Rose-Steinberg.pdf), Letzter Abruf: 05.05.2019
- [204] Virta (2022), Das Morgen in die Hand nehmen, URL: <https://www.virta.global/de/wer-wir-sind-2>, last Access: 15.02.2022
- [205] VuMA (2021), Umfrage zur Wichtigkeit der Umweltfreundlichkeit beim Autokauf bis 2020, URL: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/181045/umfrage/wichtigkeit-der-umweltfreundlichkeit-beim-autokauf/>, last Access: 22.02.2022
- [206] G. Eason, B. Noble, and I.N. Sneddon, “On certain integrals of Lipschitz-Hankel type involving products of Bessel functions,” *Phil. Trans. Roy. Soc. London*, vol. A247, pp. 529-551, April 1955. (references)
- [207] J. Clerk Maxwell, *A Treatise on Electricity and Magnetism*, 3rd ed., vol. 2. Oxford: Clarendon, 1892, pp.68-73.
- [208] I.S. Jacobs and C.P. Bean, “Fine particles, thin films and exchange anisotropy,” in *Magnetism*, vol. III, G.T. Rado and H. Suhl, Eds. New York: Academic, 1963, pp. 271-350.
- [209] K. Elissa, “Title of paper if known,” unpublished.
- [210] R. Nicole, “Title of paper with only first word capitalized,” *J. Name Stand. Abbrev.*, in press.
- [211] Y. Yorozu, M. Hirano, K. Oka, and Y. Tagawa, “Electron spectroscopy studies on magneto-optical media and plastic substrate interface,” *IEEE Transl. J. Magn. Japan*, vol. 2, pp. 740-741, August 1987 [Digests 9th Annual Conf. Magnetics Japan, p. 301, 1982].
- [212] M. Young, *The Technical Writer’s Handbook*. Mill Valley, CA: University Science, 1989.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

# Evaluation of economic efficiency in renewable energetics

## Bewertung der wirtschaftlichen Effizienz in der erneuerbaren Energetik

Zwetelina Gankova - Ivanova

Faculty of Economics, Technical University of Gabrovo

Gabrovo, Bulgaria, e-mail: zwetelina\_gankova\_7@yahoo.de

**Abstract** — The aim of this paper is to present some theoretical aspects of the economic efficiency of investments in electrical energy objects from renewable energy sources. Worldwide, and especially in Bulgaria, the problem of diversification of fuel resources towards the use of renewable energy sources is relevant and acute. As practice shows, without external financing it is very difficult to find funds for the implementation of energy projects. In this context, this paper discusses in detail the components of assessing the feasibility and attractiveness of investment projects for investors.

**Zusammenfassung** — Ziel des vorliegenden Beitrags ist es, einige theoretische Aspekte der wirtschaftlichen Effizienz von Investitionen in Objekte der Elektroenergetik aus erneuerbaren Energiequellen darzustellen. Weltweit und insbesondere in Bulgarien ist das Problem der Diversifizierung der Brennstoffressourcen hin zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen relevant und akut. Wie die Praxis zeigt, ist es ohne externe Finanzierung sehr schwierig, Mittel für die Umsetzung von Energieprojekten zu finden. In diesem Zusammenhang werden in diesem Beitrag die Bestandteile der Bewertung der Durchführbarkeit und Attraktivität von Investitionsprojekten für Investoren ausführlich erörtert.

### I. EINFÜHRUNG

Die Lösung des globalen Energieproblems hängt mit der Nachfrage nach neuen Energieformen zusammen. Gleichzeitig braucht die Nutzung traditioneller Quellen eine gut durchdachte Energiesparpolitik.

Die Geschichte der Menschheit zeigt, dass jede neue Etappe in der Entwicklung der Zivilisation dank der Anwendung einer neuen Art von Energie geprägt wird, was die Entwicklung der Gesellschaft und deren Produktivkräfte vorantreibt. Die Notwendigkeit, erneuerbare Energiequellen zu verwenden, und die Entwicklung der Energetik in diesem Bereich wird in Bezug auf den erhöhten Bedarf an Brennstoffen, insbesondere Öl und Gas, immer deutlicher.

Zur praktischen Nutzung erneuerbarer Energiequellen wird daher nicht bloß eine genaue Bestimmung der thermischen und physikalischen Eigenschaften technischer Mittel erforderlich, die dafür geeignet sind, sondern auch eine Bewertung ihrer Energieeffizienz. Dies ist besonders wichtig bei der Verwendung neuer Brennstoffe (Biogas, Kraftstoff aus pflanzlichen Rohstoffen usw.).

In diesem Zusammenhang ist es zweckmäßig, dass die Energieanalyse für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen in der Bauphase durchgeführt wird, um die Parameter der Strukturen der Anlagen sowie der Entwicklung von Entwurfslösungen für die Anwendung erneuerbarer Energiequellen in technologischen Prozessen zu bestimmen.

Diese Analyse ist auch bei der Lösung von Optimierungsaufgaben und bei der Entwicklung ressourcen- und energieparender Technologien etc. von großer Bedeutung.

Weltweit und insbesondere in Bulgarien ist das Problem der Diversifizierung der Brennstoffressourcen hin zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen relevant und akut. Basierend auf der Analyse dieses Problems wurden die strategischen Ziele der Energiepolitik festgelegt [1], [2], [3]. Um die geplanten

Aktivitäten umzusetzen, sind erhebliche finanzielle Ressourcen, d.h. relevante Investitionen erforderlich.

Wie die Praxis bereits zeigt, ist es ohne externe Finanzierung sehr schwierig, Mittel für die Umsetzung von Energiesparprojekten zu finden. In diesem Zusammenhang werden in diesem Beitrag die Bestandteile der Bewertung der Durchführbarkeit und Attraktivität von Investitionsenergieprojekten für Investoren ausführlich erörtert.

### II. VERGLEICHBARKEIT DER BEDINGUNGEN FÜR DEN VERGLEICH VON INVESTITIONSVORHABEN IM ENERGIEBEREICH

Die Gewährleistung der Vergleichbarkeit der Bedingungen für den Vergleich verschiedener Projekte oder Optionen für die Durchführung eines bestimmten Projekts hängt von den Merkmalen des Projekts selbst und der Art des Investors ab. [5], [6], [10]. Die in Betracht gezogenen Optionen sollten bestimmte Bedingungen der Vergleichbarkeit erfüllen, oder, wenn diese Bedingungen nicht dem technischen Charakter der Projekte entsprechen, sollten die Investitionsoptionen in vergleichbarer Form angegeben werden. Im Energiesektor gibt es einige solche Bedingungen.

#### 1) Gleicher Produktionseffekt (bei Verbrauchern)

Bei jeder Variante der Designlösung muss der Verbraucher die gleiche Menge an Produkten erhalten. Manchmal wird diese Bedingung als eine Anforderung für die gleiche Produktionskapazität definiert, was nicht ganz wahr ist. Manchmal ist die Notwendigkeit, die verglichenen Optionen durch den gleichen Produktionseffekt auszugleichen, nicht so offensichtlich.

In der Energiewirtschaft gibt es ein klassisches Beispiel dafür, vergleichbare Optionen, d.h. eine vergleichende Bewertung der Wirksamkeit verschiedener Energiesparsysteme

in eine vergleichbare Form zu bringen, und diese Bedingung der Vergleichbarkeit wird als derselbe Energieeffekt für den Verbraucher angesehen.

Wenn man z.B. die Effizienz der Kapitalinvestition in ein Wärmekraftwerk bewerten soll, das gleichzeitig Wärme und Strom erzeugt, sollten Generatoren der gleichen Energieformen als Alternativen in Betracht gezogen werden. So wird z.B. in einem alternativen Vergleich für die Wärmeversorgung der Stadt durch den Bau eines Wärmekraftwerks oder Kondensationskraftwerks das sogenannte „austauschbare“ Kondensationskraftwerk in die technische und wirtschaftliche Berechnung eingeführt, um die Optionen für die Stromerzeugung auszugleichen. Das gleiche Prinzip gilt, wenn die Wirtschaftlichkeit einer Windkraftanlage oder einer Photovoltaikanlage bewertet werden sollte.

In einem Kondensationskraftwerk, das näher an den Verbrauchern als ein Wärmekraftwerk liegt, kann die Heizleistung um den Wert der Verluste  $\Delta Q$  in den Hauptwärmennetzen (von der Station bis zu den Lastzentren, wo der Standort des Kondensationskraftwerks entworfen ist) geringer sein. Die elektrische Leistung des Kondensationskraftwerks, die von der Stadt, in der das Wärmekraftwerk ausgelegt ist, entfernt ist, sollte im Gegenteil größer sein als beim Wärmekraftwerk, und zwar um den Wert des Stromausfalls  $\Delta N$  in den Stromleitungen.

Um die Optionen in eine vergleichbare Form zu bringen, ist es daher notwendig, bei Erfüllung von Bedingung 1 Folgendes zu vergleichen:

- Option der kombinierten Wärmeversorgung: Wärmekraftwerk mit elektrischer Leistung  $N$  (kW) und thermischer Leistung  $Q$  (Gcal);
- Möglichkeit der getrennten Wärmeversorgung: ein Kondensationskraftwerk mit thermischer Leistung ( $Q - \Delta Q$ ) plus ein Ersatz-Kondensationskraftwerk mit elektrischer Leistung ( $N + \Delta N$ ).

### 2) Optimalität vergleichbarer Optionen

Die vergleichbaren Projektoptionen sollten etwa das gleiche moderne technische Niveau haben.

In der Praxis sind technische und wirtschaftliche Berechnungen der Wirksamkeit des Wiederaufbaus der Produktion mit veralteten Geräten weit verbreitet. In diesem Fall werden die folgenden Optionen berechnet:

- alte Produktion, die keine neuen Investitionen erfordert und hohe laufende Kosten (Produktionskosten) festgestellt hat;
- Renovierte, rekonstruierte Produktion, deren Modernisierung einige Investitionen erfordert, die jedoch zu deutlich niedrigeren jährlichen Kosten führen wird.

Ein solcher Vergleich ist nicht korrekt, da technische Ausrüstung verschiedener Qualität verglichen ist, und Option 1 keine Kapitalinvestitionen vorsieht. Um solche Optionen in eine vergleichbare Form zu bringen, ist es unter der Bedingung der Optimalität notwendig, für die alte Produktion einmalige Kosten für größere Reparaturen mit Elementen der Modernisierung der Ausrüstung vorzusehen, die teuer sein können als der Neubau.

Wenn die Entscheidung zur Rekonstruktion aus Gründen einer erheblichen Abnutzung der alten Ausrüstung getroffen wird, ist es richtiger, verschiedene Optionen für einen solchen Wiederaufbau unter Verwendung verschiedener Arten neuer Geräte in Betracht zu ziehen.

### 3) Gleiche Umweltwirkung

Keine der verglichenen Anlagemöglichkeiten sollte der anderen in Bezug auf schädliche Emissionen und andere negative Auswirkungen auf die Umwelt überlegen sein.

Unter der aktuellen Umweltsituation ist die Erfüllung der Bedingung der Nichtüberschreitung der maximal zulässigen Konzentrationen schädlicher Emissionen für die bewerteten Optionen eindeutig unzureichend. Um dieser Bedingung der Vergleichbarkeit Rechnung zu tragen, ist es nun notwendig, in die technischen und wirtschaftlichen Berechnungen für die verglichenen Optionen die Höhe der Geldbußen für alle Arten von schädlichen Emissionen in die Atmosphäre, das Wasser, den Boden sowie die Kosten für die Gewährleistung eines sicheren Lebens einzubeziehen.

### 4) Die gleiche Qualität der Produkte (Arbeiten, Dienstleistungen)

Bei jeder Variante von Designlösungen und Projektalternativen muss der Verbraucher die notwendigen Produkte nicht nur in der gleichen Menge, sondern auch in der gleichen Qualität beziehen können. Wenn Produkte unterschiedlicher Qualität verglichen werden, ist es notwendig, in den Berechnungen alle möglichen Entschädigungen für eine solche Nichtkonformität vorzusehen.

In der Energiewirtschaft ist beim Vergleich verschiedener Optionen für Designlösungen als Bedingung für die Vergleichbarkeit der Qualität von Optionen folgendes zu beachten:

- gleiche Qualität der an den Verbraucher gelieferten Energie;
- Abdeckung (Zufriedenheit) der gleichen täglichen, wöchentlichen, monatlichen, saisonalen und jährlichen Ladepläne;
- Gewährleistung der gleichen Zuverlässigkeit der Stromversorgung und der Zuverlässigkeit des Betriebs von Energieanlagen.

Unter solchen Bedingungen der Vergleichbarkeit ist die Anzahl der in Betracht gezogenen Optionen streng auf diejenigen zu beschränken, die das Erreichen des gestellten Ziels gewährleisten. Beim Vergleich der Investitionsmöglichkeiten muss auch sichergestellt werden, dass die Projekte über die Länge des Abrechnungszeitraums und die zur Bestimmung der Kasseneinnahmen und -auszahlungen zugrunde gelegten Preise vergleichbar sind.

## III. BEWERTUNG DER INVESTITIONSEFFIZIENZ UNTER MARKTWIRTSCHAFTLICHEN BEDINGUNGEN

Die Marktbedingungen erfordern eine radikale Überarbeitung der methodischen Grundlagen für die Bewertung der Investitionseffizienz und vor allem eine Verringerung des Anwendungsbereichs von Kostenkriterien bei ihrer Bewertung. So wurde früher das "Minimum der angegebenen Kosten" verwendet, um die volkswirtschaftlichen Auswirkungen von Kapitalinvestitionen zu bewerten, die zentral vom Staat zugewiesen wurden. Der Staatsinvestor bestimmte den Grad der Effizienz von Investitionen in der Größe des regulatorischen Koeffizienten der Effizienz von Kapitalinvestitionen.

Unter Marktbedingungen bestimmt der Investor mit seinem eigenen, angezogenen und geliehenen Kapital selbständig die erforderliche Kapitalrendite. Er interessiert sich in erster Linie für die Einnahmen aus der Umsetzung des Projekts und die Höhe des Überschusses dieser Einnahmen über die Kosten. Der

Indikator „Minimum der angegebenen Kosten“ gibt keine Antwort auf diese Frage.

Unter Konkurrenzbedingungen verändern sich die Bedingungen dramatisch, unter denen Investitionsberechnungen durchgeführt werden, insbesondere nimmt der Anwendungsbereich der nationalen Wirtschafts- und Industriestandards für die Wirksamkeit von Kapitalinvestitionen ab. Sie können als obligatorisch nur für Objekte beibehalten werden, die sich in Staatsbesitz befinden.

Die Bewertung der Effizienz von Investitionsprojekten kann auf Grundlage verschiedener theoretischer Ansätze verwirklicht werden. [4], [7], [8]. In der weiteren Ausführung wird nicht detailliert darauf eingegangen, da es den Rahmen dieses Beitrags sprengen würde. Daher sei folgende Vorgehensweise hier vorgeschlagen:

- 1) Bewertung der Rendite des investierten Kapitals auf der Grundlage des Cashflow-Indikators, der auf Kosten des Nettogewinns und der Abschreibungen im Rahmen der Durchführung des Investitionsprojekts gebildet wird. Gleichzeitig kann die Cashflow-Kennzahl differenziert nach einzelnen Jahren oder als Jahresdurchschnitt betrachtet werden.
- 2) Obligatorische Anpassung an den Zeitwert sowohl des investierten Kapitals als auch der Höhe des Cashflows.
- 3) Auswahl eines differenzierten Zinssatzes (Diskontsatz) im Prozess der Diskontierung des Cashflows für verschiedene Investitionsprojekte. Die Höhe der Erträge aus Kapitalanlagen wird unter Berücksichtigung folgender Faktoren gebildet: der durchschnittliche reale Einlagensatz, Inflation, Risikoprämie, Prämie für eine niedrige Liquidität.

Daher sollten beim Vergleich zweier Investitionsprojekte mit unterschiedlichen Risikoniveaus und unterschiedlichen Zinssätzen bei der Abzinsung (Diskontierung) angewendet werden. Ein höherer Zinssatz sollte für ein Projekt mit einem höheren Risiko verwendet werden. Ebenso sollte ein höherer Zinssatz für ein Projekt mit einer längeren Investitionsliquiditätsperiode verwendet werden.

- 4) Variation der Formen der Verwendung des Zinssatzes für die Abzinsung (Diskontierung) in Abhängigkeit vom Zweck der Bewertung: der durchschnittliche Einlagen- oder Kreditsatz; individuelle Kapitalrendite unter Berücksichtigung der Inflationshöhe, des Risikoniveaus oder der Höhe der Liquidität von Anlagen; Alternative Renditen für andere mögliche Anlageformen usw.

#### IV. BEWERTUNG DER FINANZIELLEN DURCHFÜHRBARKEIT VON INVESTITIONSPROJEKTEN

Die finanzielle Machbarkeit eines Investitionsprojekts stellt die Bereitstellung einer solchen Cashflow-Struktur bei jedem Schritt der Berechnung dar, bei der genügend Geld vorhanden ist, um das Projekt fortzusetzen.

Wenn die Unsicherheit und das Risiko vernachlässigt werden, kann die Bedingung der Nichtnegation des kumulierten Saldos des realen Geldflusses bei jedem Schritt der Abwicklung als ausreichende Bedingung für die finanzielle Durchführbarkeit des Projekts angesehen werden. Der Berechnungsschritt kann ein Vierteljahr, ein halbes Jahr, ein Jahr oder einen beliebigen Zeitraum umfassen, dessen Wahl der Dauer durch die Besonderheiten des Projekts selbst und seines wirtschaftlichen Umfelds bestimmt wird.

Der positive Saldo des angesammelten realen Geldes in einem beliebigen Zeitraum, in dem der Projektteilnehmer Kosten verursacht und Einnahmen erhält, zeugt von der

Liquidität des Projekts und dient als notwendiges Kriterium für die Entscheidung über seine Durchführung.

Wenn es nicht möglich ist, innerhalb des Abrechnungszeitraums eine finanzielle Stabilisierungsbedingung zu erreichen, ist es notwendig, zusätzliche externe Quellen heranzuziehen, um den negativen kumulierten Saldo, der sich aus einem oder mehreren Berechnungsschritten ergibt, auszugleichen.

Infolgedessen ist es notwendig, auf die Korrelation der Konzepte der "finanziellen Machbarkeit" und der "wirtschaftlichen Effizienz" des Projekts zu achten.

Insbesondere ist es zu berücksichtigen, dass die Effizienzberechnungen für finanziell nicht realisierbare Projekte bedeutungslos sind. Auf der anderen Seite kann ein finanziell machbares Projekt auch für seine Teilnehmer unwirksam und ineffizient sein.

#### V. METHODEN ZUR BEWERTUNG VON INVESTITIONSPROJEKTEN

Nach der Entscheidung über die Erfordernisse für die finanzielle Durchführbarkeit von Projekten ist es notwendig, die Methoden zur Bewertung ihrer Effizienz näher zu analysieren. Dazu gehören öffentliche, kommerzielle und budgetäre Effizienzen.

Die Indikatoren der gesellschaftlichen (sozialen) Effizienz spiegeln die Effizienz des Projekts unter der Berücksichtigung der Interessen der konstituierenden Einheit des jeweiligen nationalen Subjekts. Bei der Berechnung dieser Indikatoren auf regionaler Ebene umfassen die Ergebnisse des Projekts:

- regionale Produktionsergebnisse - Umsatz aus dem Verkauf von Produkten (Dienstleistungen), die von Projektteilnehmern produziert werden - Unternehmen aus der Region, abzüglich der Produkte, die von denselben oder anderen Projektteilnehmern (Unternehmen aus der Region) konsumiert werden;
- in der Region erzielte soziale und ökologische Ergebnisse, insbesondere die Zahl der neu geschaffenen Arbeitsplätze, Reduzierung der Arbeitslosigkeit, Minderung schädlicher Emissionen und Einleitungen usw.;
- indirekte finanzielle Ergebnisse, die von den Unternehmen und der Bevölkerung der Region erzielt werden.

Die kommerzielle Effizienz des Projekts charakterisiert die Wirksamkeit seiner Umsetzung für den Investor und das Unternehmen, worin investiert wird. Zu deren Beurteilung werden Cashflows aus Investitionen, Betriebs- und Finanzaktivitäten sowie der sogenannte Saldo des akkumulierten realen Geldes (freier Cashflow) berechnet.

Die kommerzielle Effizienz von Projekten zeichnet sich durch ein System von Indikatoren aus, die das Kosten-Nutzen-Verhältnis in Bezug auf die Interessen der Teilnehmer innerhalb des Abrechnungszeitraums widerspiegeln. Die kommerzielle Effizienz sollte sowohl für das Projekt als Ganzes als auch für seine einzelnen Teilnehmer unter Berücksichtigung ihrer Beiträge berechnet werden.

Die wichtigsten methodischen Grundsätze und Phasen der Bewertung der Effizienz von Investitionen gemäß einiger methodischen Empfehlungen sind:

1. Berücksichtigung des Projekts während seines gesamten Lebenszyklus (Abrechnungszeitraum) - von der Durchführung von Studien vor der Investition an bis hin zur Beendigung des Projekts.

2. Berücksichtigung des Zeitfaktors. Bei der Bewertung der Effizienz des Projekts sollten verschiedene Aspekte des Zeitfaktors berücksichtigt werden, einschließlich der Dynamik der Projektparameter und ihres wirtschaftlichen Umfelds; zeitliche Lücken zwischen der Produktfertigung oder dem Zufluss von Ressourcen und ihrer Bezahlung; Ungleichmäßigkeit der unterschiedlichen Kosten und Outputs (Präferenz für frühere Ergebnisse und spätere Kosten).

3. Berücksichtigung der Auswirkungen der Inflation (unter Berücksichtigung von Preisänderungen für verschiedene Arten von Produkten und Ressourcen während der Laufzeit des Projekts).

4. Berücksichtigung der Auswirkungen von Risiken, die mit der Durchführung des Projekts einhergehen.

5. Vergleichbarkeit der Bedingungen bei der Kompatibilität verschiedener Projekte.

6. Bilanzierung anstehender Kasseneinnahmen und Zahlungen.

7. Die Bewertung der Effizienz des Investitionsprojekts sollte durchgeführt werden, indem die Situationen nicht "vor dem Projekt" und "nach dem Projekt", sondern "ohne das Projekt" und "mit dem Projekt" verglichen werden.

8. Berücksichtigung aller wichtigsten Auswirkungen des Projekts in verwandten Bereichen der Wirtschaft.

Die größte Schwierigkeit besteht darin, den Diskontsatz zu bestimmen. Derzeit werden zwei Hauptkonzepte zur Lösung des eigentlichen Problems bei der Bestimmung des Abzinsungssatzes (Diskontsatzes) in Betracht gezogen - das Konzept der "alternativen Rendite" und das Konzept der "gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten". Für die Zwecke der Investitionsanalyse von Projekten zur Diversifizierung der Brennstoffressourcen erscheint die Verwendung des Konzepts der "gewichteten durchschnittlichen Kapitalkosten" angemessen.

Die Behandlung nur kommerzieller Effizienz bei Berechnungen reduziert den Umfang der Analyse erheblich. Die Auswirkungen auf die Budgets der verschiedenen Ebenen, die Umweltsituation sowie die sozialen Aspekte des Projekts, werden bei der Berechnung der Indikatoren für die kommerzielle Effizienz nicht berücksichtigt.

In diesem Zusammenhang ist es zweckmäßig, bei der Bewertung der Effizienz von Investitionsenergieprojekten Budgeteffizienzindikatoren anzuwenden.

Der Hauptindikator für die Haushaltseffizienz ist der Budgeteffekt. Der Budgeteffekt ( $B$ ) für den  $t$ -Schritt des Projekts ist als der Überschuss der Einnahmen des jeweiligen Budgets ( $D$ ) über die Kosten ( $P$ ) des Projekts definiert:

$$B_t = D_t - P_t \quad (1)$$

Der integrale Budgeteffekt ( $B_{int}$ ) wird als Summe der diskontierten jährlichen Budgeteffekte oder als Überschuss der integralen Haushaltseinnahmen ( $D_{int}$ ) über die integralen Haushaltsausgaben ( $R_{int}$ ) berechnet.

Zu den Haushaltseinnahmen gehören:

- Mehrwertsteuer, Grundsteuer, Einkommensteuer und alle sonstigen Steuereinnahmen des Budgets von einheimischen und ausländischen Unternehmen und von teilnehmenden Unternehmen in dem Teil, der mit der Durchführung des Projekts zusammenhängt;

- eine Erhöhung der Steuereinnahmen von Drittunternehmen aufgrund der Auswirkungen des Projekts auf ihre finanzielle Situation;
- Einnahmen aus der Einkommensteuer aus Löhnen, die für die Ausführung von Arbeiten anfallen, die im Projekt vorgesehen sind;
- Einnahmen zum Budget der Nutzungsgebühr für Land, Wasser und andere natürliche Ressourcen, soweit dies von der Durchführung des Projekts abhängt;
- Einnahmen aus der Lizenzierung von Werken und Dienstleistungen;
- Einkünfte aus außereratmäßigen Kassen (Renten-, Kranken- und Sozialversicherung) und sonstige Einkünfte.

Zu den Haushaltsausgaben gehören:

- Mittel, die für die direkte Haushaltsfinanzierung des Investitionsvorhabens bereitgestellt werden;
- Darlehen von zentralen, regionalen und autorisierten Banken an einzelne Projektteilnehmer, die als Fremdmittel zugewiesen werden, die aus dem Haushalt ausgeglichen werden;
- staatliche, regionale Garantien für Investitionsrisiken für Projektbeteiligte.

TABELLE 1: INDIKATORENSYSTEM ZUR BEWERTUNG DER EFFIZIENZ VON INVESTITIONSPROJEKTEN

Indikatoren in absteigender Reihenfolge ihrer Wichtigkeit	Voraussetzung für die Annahme eines Beschlusses über die Angemessenheit der Durchführung des Projekts	Charakteristik des Indikators	Anwendungsbereich des Indikators
1. Diskontierter Nettoertrag	$NPV > 0$	Schlüsselbewertungskennzahl	Zur Entscheidung über die Angemessenheit der Projektdurchführung und als Kriterium ( $NPV \rightarrow \max$ ) beim Vergleich von Projektentscheidungsoptionen
2. Rückgabedauer	$T < Tr$	Wichtige Bewertungskennzahl	Zur Charakterisierung der Sicherheitsmarge des Projekts, der Auswahl der Richtlinien für die Suche nach Reserven zur Verbesserung der Effizienz und der Entscheidung über die Durchführbarkeit ihrer Umsetzung
3. Interne Rendite	$Eir > E$	Wichtige Bewertungskennzahl	Zur Unterscheidung zwischen Real- und Finanzinvestitionen und Merkmalen der "Sicherheitsmarge" des Projekts
4. Kapitalrendite-index	$PI > I$	Sekundärer Bewertungs-indikator	Zur Charakterisierung der "Sicherheitsmarge" des Projekts"
5. Index des diskontierten Nettoertrags	<i>Undefiniert</i>	Sekundärer Bewertungs-indikator	Es hat eine illustrative Bedeutung
6. Bilanzielle Rentabilität der Investitionen	<i>Undefiniert</i>	Sekundärer Bewertungs-indikator	Es hat eine illustrative Bedeutung

Die Haushaltseffizienz wird auf Antrag von staatlichen oder regionalen Regierungsstellen bewertet. In Übereinstimmung mit diesen Anforderungen kann die Budgeteffizienz für Budgets verschiedener Ebenen oder des konsolidierten Budgets bestimmt werden. Indikatoren für die Haushaltseffizienz werden auf der Grundlage der Bestimmung des Flusses der Haushaltsmittel berechnet.

Wenn der Staat kein Geld in das Projekt investiert und nicht als Garant für herangezogene private Investitionen auftritt, besteht keine Notwendigkeit, die Haushaltseffizienz zu bestimmen, da sie offensichtlich positiv ist und auf Kosten der Steuereinnahmen geht.

## VI. RANGFOLGE DER INDIKATOREN FÜR DIE BEWERTUNG DER EFFIZIENZ VON INVESTITIONSVORHABEN

Bei einer endgültigen Entscheidung über die Durchführbarkeit (Zweckmäßigkeit) der Finanzierung des Projekts sollte der Investor nicht nur die Indikatoren für die Effizienz seiner Durchführung berücksichtigen, die nach den in Betracht gezogenen Methoden berechnet werden.

Von grundlegender Bedeutung ist ebenfalls die Berücksichtigung von solchen Faktoren, wie dem Grad der Übereinstimmung des Entwurfs mit der Gesamtentwicklungsstrategie des Unternehmens, den Auswirkungen der Projektumsetzung auf die Bildung eines günstigen Bildes des Unternehmens bei der Regionalverwaltung und der Bevölkerung, der Möglichkeit, den kontrollierten Marktanteil zu erhöhen usw.

Alle Indikatoren für die Bewertung der Effizienz von Investitionsprojekten können bis zu einem gewissen Grad in absteigender Reihenfolge ihrer Signifikanz unter Berücksichtigung der festgestellten Umstände eingestuft werden (Tabelle 1).

## VII. SCHLUSSFOLGERUNG

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die Durchführbarkeit und die Attraktivität von Investitionsenergieprojekten in der erneuerbaren Energetik auf die Vergleichbarkeit der Bedingungen für die Kompatibilität der Investitionsenergieprojekte zurückzuführen ist. Außerdem sind die Bewertung der Effizienz von Investitionen unter Marktbedingungen, die Bewertung der finanziellen Durchführbarkeit von Investitionsprojekten sowie die Methoden zur Bewertung von Investitionsprojekten, unter Berücksichtigung der Rangfolge der Indikatoren für die Bewertung der Wirksamkeit von Investitionsprojekten in Betracht zu ziehen, damit sich ein Projekt lohnt und seine Effizienz gewinnbringend wird.

## REFERENCES

- [1] Gankova-Ivanova, Zwetelina, Einige ökonomische Aspekte der Digitalisierung der Energetik, FDIBA Conference Proceedings, Vol.5, 2021, S.3-6, ISSN 2535-132X (Gedruckt), ISSN 2535-1338 (Online)
- [2] Gankova-Ivanova, Zwetelina, Renewable Energy Sources and Employment (Erneuerbare Energiequellen und Beschäftigung), Plenary talk, FDIBA Conference Proceedings, vol.2, 2018, S.1-2, ISSN 2535-132X (Gedruckt), ISSN 2535-1338 (Online), Technologies and Education for a Smart World, Proceedings of the 8th FDIBA Conference, Sofia, Bulgaria, 30 November 2018 (Technologie und Ausbildung für Smart World, Tagungsband der 8. FDIBA Konferenz, Sofia, Bulgarien, 30. November, 2018)
- [3] Gankova-Ivanova, Zwetelina, Wirtschaftliche Herausforderungen der Digitalisierung der Energetik, 30 Jahre FDIBA, FDIBA Conference Proceedings, Vol.4, 2020, S.51-54, ISSN 2535-132X (Gedruckt), ISSN 2535-1338 (Online)
- [4] García, Fernando, González-Bueno, J., Guijarro, F., & Oliver, J. (2020a). A multiobjective credibilistic portfolio selection model. Empirical study in the Latin American integrated market. *Entrepreneurship and Sustainability Issues*, 8(2), 1027–1046. [https://doi.org/10.9770/JESI.2020.8.2\(62\)](https://doi.org/10.9770/JESI.2020.8.2(62))
- [5] Ivanov, Krassimir Marinov, Dieter Metz, "The libertarianization of the energy market in Bulgaria and the place of SCADA systems for training the grid modes of the electricity system, International Scientific Conference "UNITECH'04" 18-19 November, Gabrovo, 2004. Proceedings, Band 1, S. 1. I-66 - I-72.
- [6] Kr. Ivanov, Ch. Christov, N. Kozarev, "Effizienz einer Kleinwindkraftanlage", *Nauka*, No.2, 2001 S. 46-49.
- [7] Mikhno, Inesa; Koval, Viktor; Shvets, Galyna; Garmatiuk, Oksana; Tamošiūnienė, Rima. Green economy in sustainable development and improvement of resource efficiency: discussion // Central European Business Review (CEBR). Prague Prague University of Economics and Business. ISSN 1805-4854. eISSN 1805-4862. 2021, vol. 10, iss. 1, p. 99-113. DOI: 10.18267/j.cebr.252. [RePec; Business Source Corporate Plus; Emerging Sources Citation Index (Web of Science); Scopus; CEEOL – Central and Eastern European Online Library; OpenAcademic Journals Index] [M.kr.: S 004] [Aut. ind.: 0,200]
- [8] Papazov, E., Miyaylova, L. Approaches to Strategy-Driven Sectoral Competition Analysis of Business Organizations// Perspectives of Business and Entrepreneurship Development (Selected Papers), Brno University of Technology, 2015, No 1, pp. 80-89, ISSN 978-80-214-5227-5.
- [9] Tamošiūnienė, Rima, Anna Kislovská, Egle Kazlauskienė, Tsvetelina Gankova, Economic Aspects of Increasing Value and Scope of Shared Services Centres, 9th International Scientific Conference "Business and Management 2016", May 12–13, 2016, Vilnius, LITHUANIA, <http://www.bm.vgtu.lt>, eISSN 2029-929X, eISBN 978-609-457-921-9, Article ID: bm.2016.75, <http://dx.doi.org/10.3846/bm.2016.75>
- [10] Varbov, Z., Kr. Marinov Ivanov, Kp. Маринов Иванов, "Technische Methode zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit von Photovoltaikanlagen, die an das Niederspannungs-Stromverteilungsnetz angeschlossen sind", Wissenschaftliche Konferenz mit internationaler Beteiligung "Stara Zagora 2004" 3. – 4. Juni 2004

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

# Innovative business models to deliver critical system services through battery-based energy storage

## Innovative Geschäftsmodelle zur Bereitstellung kritischer Systemdienstleistungen durch batteriegestützte Energiespeicherung

Irena Beloreshka

PhD applicant at the Faculty of Management at Technical University Sofia  
Sofia, Bulgaria, e-mail: irena.beloreshka@gmail.com

**Abstract** — The paper describes the multiple values of battery-based energy storage systems to deliver critical services to all the market players along the electricity system value chain. After the rapid scaling of batteries in consumer electronics battery-based energy storage systems have become the dominant energy storage technology, which: 1) serves as an alternative to traditional generation – replaces gas fired peaker power plants and smooths power output from renewable energy sources, provides fast frequency response and voltage control; 2) eases transmission and distribution constraints subject to the limitations provided in European law; and 3) provides critical power, multiple balancing and energy management services as well as demand response for end customers. The latter is accompanied by innovative models for assessment of the costs and benefits and the overall value storage brings.

(*Abstract*)

**Zusammenfassung** — Der Beitrag beschreibt die vielfältigen Vorteile batteriegestützter Energiespeichersysteme, die allen Marktteilnehmern entlang der Wertschöpfungskette des Elektrizitätssystems wichtige Dienste leisten. Nach der raschen Verbreitung von Batterien in der Unterhaltungselektronik haben sich batteriegestützte Energiespeichersysteme zur dominierenden Energiespeichertechnologie entwickelt, die: 1) als Alternative zur herkömmlichen Stromerzeugung dienen, d. h. gasbefeuerte Spitzenkraftwerke ersetzen und die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen glätten sowie eine schnelle Frequenz- und Spannungsregelung ermöglichen; 2) die Übertragungs- und Verteilungsbeschränkungen vorbehaltlich der in der europäischen Gesetzgebung vorgesehenen Beschränkungen abmildern; und 3) kritische Energie, mehrere Ausgleichs- und Energiemanagementdienste sowie eine Nachfrageregelung für Endkunden bereitstellen. Letzteres wird von innovativen Modellen zur Bewertung der Kosten und Vorteile und des Gesamtwerts der Speicherung begleitet.

### I. INTRODUCTION

Accelerated deployment of new and larger capacities for electricity generation from renewable energy sources (RES), associated with an increase in their share in final energy consumption, is one of the foundations for the implementation of the Energy Transition from traditional fossil fuel energy production to a low-emission and carbon-neutral economy. Alongside it, technologies for electricity storage and for the management of electricity systems are coming to the fore in the context of decentralised electricity production and consumption and the intermittent nature of RES generation.

The technologies driving the unprecedented energy revolution have in turn undergone unprecedented transformation and evolution in terms of maturity, performance, efficiency, safety and, above all, the economic viability of investment and operating costs. The evolution of technology is closely linked to the evolution of socio-economic relations and strategic business and investment models in the “new electricity system”, requiring an innovative approach in every aspect of project development.

### II. STUDY OF BUSINESS CASES FOR THE APPLICATION OF ENERGY STORAGE SOLUTIONS

This paper explores the technological capability of electricity storage solutions to provide critical services to specific elements along the value chain of the electricity system.

Leading experts are coalescing around the classification proposed by the experts from the International Renewable Energy Agency (IRENA), based on the classifications used by the US Department of Energy State Department, which define the following categories of services provided by electricity storage installations:

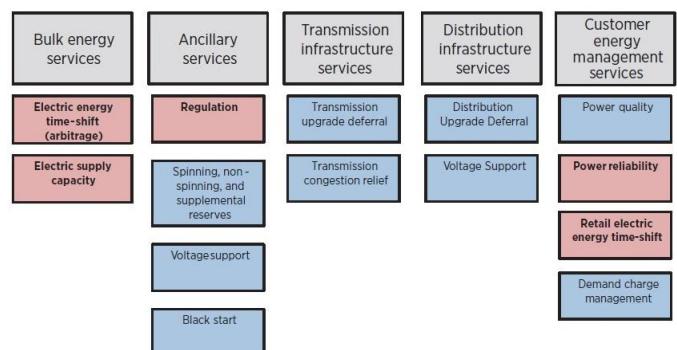


Fig.1: Scope and definition of services provided by electricity storage installations (IRENA, 2015, p.11) [1]

This paper is exploring the first three sets of services and the basics of the associated business models.

#### A. Provision of electricity system balancing services, including availability, and balancing energy

Balancing is a key service for maintaining the balance between generation and consumption in the electricity system.

According to the generally accepted definition in the regulations of the European institutions, "balancing" means "all actions and processes, in all timelines, through which transmission system operators ensure, in an ongoing manner, maintenance of the system frequency within a predefined stability range and compliance with the amount of reserves needed with respect to the required quality" (Article 2(10) of Regulation (EU) 2019/943 of the European parliament and of the Council of 5 June 2019 on the internal market for electricity (recast); Article 2(1) of Commission Regulation (EU) 2017/2195 of 23 November 2017 establishing a guideline on electricity balancing). In the balancing process, the relevant service provider gives or receives (consumes) "balancing energy", which is broadly defined as "energy used by transmission system operators to carry out balancing" (Art.2(11) of Regulation (EU) 2019/943). The definition in Article 2(4) of Regulation (EU) 2017/2195 also adds that this energy is "supplied by a balancing service provider" - "a market participant providing either or both balancing energy and balancing capacity to transmission system operators" (Article 2(12) of Regulation (EU) 2019/943). In turn, "balancing capacity" means "a volume of capacity that a balancing service provider has agreed to hold and in respect to which the balancing service provider has agreed to submit bids for a corresponding volume of balancing energy to the transmission system operator for the duration of the contract" (Art.2, Paragraph 13 of Regulation (EU) 2019 / 943).

In view of their importance, balancing services and related transactions are normally transacted in a separate market called the "balancing market". According to the definition set out in Regulation (EU) 2017/2195, a "balancing market" is " the entirety of institutional, commercial and operational arrangements that establish market-based management of balancing" (Article 2(2)). The person responsible for the balancing of the electricity system is the relevant independent transmission system operator and this is normally the person who organizes the balancing market.

The balancing market operates by activating balancing bids (or requests), which are provided by balancing service providers – the entities that have made part of their available capacity available to the relevant independent transmission operator, normally against payment of a price for doing so (typically in MWh). When an event occurs in the electricity system that disrupts the balance between consumption and generation – for example, the system runs into a power shortage due to a sudden and unpredicted increase in consumption, the independent transmission operator activates a balancing service provider which, within a short operating time, supplies the necessary balancing electricity and thus restores the balance between consumption and generation of electricity so that the system can meet the higher electricity demand and produce the required balancing power. In the opposite case, when an event occurs in the system that again disturbs the balance between consumption and production of electricity, for example - an accident at a large industrial consumer, due to which it temporarily suspends operations, the system receives an excess of electricity, which can lead to disruption and damage to equipment and even create a danger to life and health of people, if not contained. Then, the independent transmission operator reactivates the bid from a balancing energy supplier that has the technical capability to reduce its generation to the amount necessary to ensure balance in the electricity system and/or to increase its consumption to such levels.

Generally, the providers of balancing services – balancing energy and available capacity for participation in the balancing market are conventional power plants (condensing and

hydroelectric power plants, including pumped storage hydroelectric power plants – PSHPPs) and sufficiently large industrial consumers (users) of electricity that meet certain technical requirements for demand response upon receipt of a dispatch order to activate them as a balancing energy provider. The participation of industrial energy consumers is foreseen in the framework of the so-called demand response service. According to the definition of "demand response" provided by the European legislator in Article 2(20) of Directive (EU) 2019/944 of the European parliament and of the Council of 5 June 2019 on common rules for the internal market for electricity and amending Directive 2012/27/EU (recast), the latter means "change of electricity load by final customers from their normal or current consumption patterns in response to market signals, including in response to time-variable electricity prices or incentive payments, or in response to the acceptance of the final customer's bid to sell demand reduction or increase at a price in an organised market as defined in point (4) of Article 2 of Commission Implementing Regulation (EU) No 1348/2014 (17), whether alone or through aggregation". Regulation (EU) 2019/943 refers to precisely this definition (Article 2(44)).

The European electricity market acts adopted in 2019 strengthen the regulatory and legal framework for the so-called aggregation and aggregators as participants and providers of balancing services. Thus, in practice, a number of smaller end-customer sites and/or generators can participate together (i.e. their dispatchable capacities are "aggregated") to provide dispatchable power and balancing energy. According to the adopted definition, "aggregation" means "a function performed by a natural or legal person who combines multiple customer loads or generated electricity for sale, purchase or auction in any electricity market" (as per Article 2(18) of Directive (EU) 2019/944). Regulation (EU) 2019/943 refers precisely to this definition (Art.2, (43)). The European legislator has also created a definition in Article 2(19) of Directive (EU) 2019/944 for "independent aggregator": "a market participant engaged in aggregation who is not affiliated to the customer's supplier". In practice, this creates the legal possibility for the aggregation service to be provided to the Independent Transmission Operator by a third party other than the current electricity supplier for that customer and eliminates a potential limitation for this function to be performed solely by the supplier, as well as resulting in the customer being unable to provide its dispatchable loads to the electricity system if its electricity supplier is unable to perform the aggregator function.

The "price arbitrage" formulated by the experts of IRENA refers to the specific situation of balancing energy price formation. Typically, electricity markets set extremely high prices for balancing energy in times of shortage and extremely low, even negative, prices for balancing energy in times of surplus. Under these circumstances, a balancing energy supplier, such as an energy storage facility, could use "cheap" energy at the balancing market surplus price and sell it back into the system at the balancing energy deficit price. The difference that results between the price at which it received the energy at the surplus price and fed it back into the system at the balancing energy deficit price is called "price arbitrage".

This category also includes atypical balancing services - the installation of an energy storage facility at the site of a renewable electricity generator and the use of the energy storage facility as a peaking power plant. In the former case, the facility has a common grid interconnection with the renewable energy generation facility (wind and/or solar), supporting the predictability of generation and providing some degree of independence from the fluctuation and intermittency

of the primary energy source, wind and/or solar. In effect, the energy storage facility 'balances' the renewable generator -when there are fluctuations in generation, for example when a cloud passes over the solar installation for a short period of time, then the energy storage facility can inject energy to compensate for the lack or reduced generation at that time. In this way, the renewable energy generator will meet the generation forecast to the Independent Transmission Operator and will not put the Independent Transmission Operator in the position of having to activate a balancing energy provider and/or ancillary services to compensate for a shortfall in energy on the grid.

In the second case, the energy storage facility is a "peaking" (peak) power plant. Generally, these are to be the last plants activated to provide generation balance in the power system to meet so-called "peak" load - the hourly ranges of increased demand (consumption) for electricity. The specificity of this type of plants is that they do not operate as base plants - 24/7 - twenty-four hours, seven days a week at the same constant load (usually maximum - i.e. full power), but only during the specific hours when the peak demand needs to be covered. The latter raises the question of what would be the most economical and energy-efficient mode of operation, with the least greenhouse gas emissions, to be able to provide the balance of generation in the power system, given that their usability is reduced, and they need to be available to the operator - i.e. to be on standby and in parallel to the power system quickly enough. Typically, these are 'gas plants' - power plants whose primary energy source is natural gas that have the technological capability to start up quickly and reach maximum output in less than ten (10) minutes. The current gas crisis necessitates reassessment of the use of gas-fired power plants.

In view of the above, the necessary statutory and regulatory prerequisites are in place for such an energy storage facility to perform the function of a balancing energy provider by providing dispatchable power and balancing energy, fully replacing conventional electricity generators. For this purpose, it shall fulfil the requirements to be approved and registered as a balancing energy supplier by the relevant independent transmission operator in accordance with the rules for the organisation and administration of the relevant balancing market or market association.

#### B. Ancillary services

These are all services required for the reliable and safe operation of the power system. They are closely related to balancing and can be defined as balancing services. Considering the existence of a large number of separate services and the different structures of electricity sectors around the world, IRENA experts have separated them into a separate group for the purpose of studying applications for energy storage systems and facilities within the electricity sector.

According to Article 2(48) of Directive (EU) 2019/944, "ancillary service" means "a service necessary for the operation of a transmission or distribution system, including balancing and non-frequency ancillary services, but not including congestion management". The following paragraph 49 of the same Directive complements the concepts with a definition of "non-frequency ancillary service" which means "a service used by a transmission system operator or distribution system operator for steady state voltage control, fast reactive current injections, inertia for local grid stability, short-circuit current, black start capability and island operation capability".

The above two definitions serve to distinguish between the two main groups of ancillary services - those for frequency control (regulation) and those for voltage regulation. The main

ancillary services for frequency regulation are: primary frequency regulation, secondary frequency regulation (automatic and manual) and back-up, "black start" (the ability to start the power output without the aid of an external source). The main ancillary voltage regulation services are related to the supply ('injection') of reactive power. Typically, the ancillary services are provided by conventional energy sources, i.e. thermal (condensing) and hydroelectric power plants, and the independent transmission operator determines the technical parameters of these services and their type, and "obliges" the operators of the respective plants to "reserve" a certain available capacity of the total installed capacity of the respective plant (generating facility) to be available when the system needs to activate it. Thus, in practice, certain power plants using conventional energy sources are not allowed to realise all their available electricity capacity on the electricity market (i.e. to sell all the electricity they can produce) because the operator has "blocked" a certain, albeit seemingly small, amount of capacity for the system's needs - so that the ancillary services can be provided (activated) at the right time. An important aspect is that, in order to be able to provide the ancillary services in question, the relevant generation sites must be "in operation" and, above all, should be in parallel with the electricity system, not exceeding their specified load level. This raises another issue in the context of the Energy Transition - that of managing the electricity system efficiently while emitting the lowest level of greenhouse gas emissions. When ancillary services are provided by conventional condensing power plants whose primary fuel is coal (or natural gas to a lesser extent), this does not result in greenhouse gas (GHG) emission reductions, while it is questionable whether they operate at their best level of efficiency and effectiveness (with the highest efficiency - coefficient of performance), provided that they do not operate entirely in base load (plant) mode.

A "spinning reserve", according to the Energy Storage Association (USA) blog, now part of the American CleanPower Association, is "Generation capacity that is on-line but unloaded and that can respond within 10 minutes to compensate for generation or transmission outages. "Frequency-responsive" spinning reserve responds within 10 seconds to maintain system frequency. Spinning reserves are the first type used when shortfalls occur." [2] (Source: Energy Storage Association, now American Clean Power Association). In Europe, the new regulatory framework on balancing refines the services and their definitions, with the consequence that 'spinning reserve' is dropped as a stand-alone service for the reason that it effectively covers all generating capacities that are in parallel to the power system at any given time and have the technical capability to support the balancing of the power system - these are 'the adjustable active power ranges of all synchronous generating capacities that can be used. "Spinning reserve" is part of the definition of ancillary services under the Bulgarian Energy Act - item 14 of §1 of the Additional Provisions until the 2021 version of this provision - by the amendments to the Energy Act promulgated in Official Gazette no. 9 of 2021, in force since 2.02.2021, "spinning reserve" is removed from the definition of ancillary services.

In view of the above, the necessary statutory and regulatory prerequisites are in place for such an energy storage facility to act as a provider of ancillary services for balancing the electricity system by providing available power and regulation range to the transmission system operator and/or the distribution system operators (in case the statutory and regulatory framework allows such services to also be provided to the distribution system operators). "Green policies", as an umbrella term for all policies to reduce greenhouse gas emissions, highlight a certain advantage for balancing the

electricity system, including the provision of additional services precisely through energy storage facilities, in view of the fact that they are almost always in "standby" mode and in parallel to the electricity system, and this does not involve the release of GHG emissions, nor in cases where they are activated to balance the system, as is the case for system balancing.

### C. Electricity transmission services

"Transmission" of electricity means, as defined in Article 2(34) of Directive (EU) 2019/944, "the transport of electricity on the extra high-voltage and high-voltage interconnected system with a view to its delivery to final customers or to distributors, but does not include supply". In turn, this interconnected system of ultra-high and high voltage consists of substations, transmission lines, installations and other facilities in a complex configuration to carry out the transmission of electricity. Transmission activities also include the reliable, safe operation of this system, in compliance with all applicable safety and environmental regulations and standards, and the forward-looking planning of the necessary investments to ensure the long-term capacity of the network to meet the forecast development of electricity consumption ('demand', which is the term for the specific commodity of electricity) and security of supply within it.

In view of this, whenever the need arises (e.g. in the case of investment in new industrial plants and factories, which is associated with an increase in electricity consumption, a corresponding increase in the transmission capacity of the grid arises), the respective owner and/or operator of this system shall build new power lines and/or substations and associated installations and facilities. Depending on the specific case, instead of building a new substation, for example, the respective owner and/or operator of the transmission assets may build an energy storage facility and use it to ensure the secure supply of energy within the electricity system. Another example where an energy storage facility facilitates the deferral and even full replacement of investment in traditional electricity transmission infrastructure is for the construction of a new interconnector (interconnection between neighbouring electricity systems) and/or the increase of the transmission capacity of an existing such interconnector.

The energy storage facility can also assist the grid operator in managing grid congestion for the purpose of avoiding and/or alleviating so-called bottlenecks in the grid. Grid bottlenecks are the result of grid congestion. The European legislator has defined "congestion" in Article 2(4) of Regulation (EU) 2019/943 as "a situation in which all requests from market participants to trade between network areas cannot be accommodated because they would significantly affect the physical flows on network elements which cannot accommodate those flows". I.e. in a particular section of the grid, the transmission capacity turns out to be lower than the electrical power that needs to be transmitted through that section – despite the full compliance with all criteria, rules and security standards. Such sections create so-called "bottlenecks" which may lead to the need to limit the generation and/or consumption of electricity by certain electricity users if not "overcome".

In establishing an economic and business model for the construction of an energy storage facility, the ownership of the asset and its operating regime should take into account the restriction for independent transmission operators to "own, develop, manage or operate energy storage facilities" - Article 54 of Directive (EU) 2019/944, unless it has the status of "fully integrated network components". The energy storage facility is then considered as an integral part of the assets of the transmission system and is only used for the purpose of ensuring the secure and reliable operation of the transmission system. In this case, where the owner of the asset is the Independent Transmission Operator, the Independent Transmission Operator may not use the energy storage facility for balancing or congestion management on the electricity system. In order to be used for congestion management and the elimination and/or alleviation of bottlenecks in the network, the owner and operator of the asset should be a third party, distinct and independent from the relevant independent transmission operator.

In view of the above, the necessary legal and regulatory prerequisites are in place for such an energy storage facility to fully replace the construction of a new transmission line, substation and other assets, or where it is necessary to carry out the modernisation, rehabilitation, expansion, renewal of individual elements and sections of the electricity grid, subject to the ownership restrictions introduced in European legislation and the purpose of the so-called "fully integrated network components". There are no legal and regulatory obstacles to storage facilities helping to manage congestion and overcome bottlenecks in the network - again in strict compliance with the European legislator's requirements for ownership of the facility and the restriction that "fully integrated network components" cannot be used to manage congestion. In the United States of America (USA), it is precisely such energy storage facilities that are often used to limit and/or completely eliminate cases where renewable energy (RE) generators need to be curtailed and/or redispatched in order to avoid congestion on the electricity system or when redispatching capacity in so-called "bottlenecks".

## III. CONCLUSION

The dynamics of the development of renewable energy technologies and electrochemical energy storage present challenges and opportunities along the electricity value chain. The technological capability to provide the most critical services for the entirety of the electricity system [3], provides electricity storage solutions with a leading role in the Energy Transition and gives rise to new and innovative business models.

## REFERENCES

- [1] International Renewable Energy Agency (IRENA): BATTERY STORAGE FOR RENEWABLES: MARKET STATUS AND TECHNOLOGY OUTLOOK, p.11, January 2015
- [2] Energy Storage Association, now American Clean Power Association, the ESA Blog, March 2013
- [3] Brooks C. Holton, Prof., Georgetown University McDonough, School of Business, "AES Energy Storage: An Innovation Journey", August 2015

# Natural Gas – Trends of Business Model Changes

## Erdgas – Trends der Geschäftsmodelländerungen

Nikolay Kambosev

FDIBA, Technical University of Sofia

Sofia, Bulgaria, e-mail: kambosev@gmail.com

**Abstract** — This article intends to illustrate the current trend of change in the model of distribution and delivery of natural gas. It analyses the natural gas consumption and the market response in the changed environment of demand and supply of natural gas. It summarizes the forthcoming large projects in this business niche that include the construction of new Liquefied natural gas (LNG) terminals and their auxiliary infrastructure. It also outlines the European union efforts to make Europe a climate neutral continent.

**Zusammenfassung** — Dieser Artikel beschreibt den aktuellen Trend der Veränderung des Verteilungs- und Lieferungsmodells von Erdgas. Dieser Artikel analysiert auch den Erdgasverbrauch und die Marktreaktion im veränderten Umfeld von Nachfrage und Angebot von Erdgas. Er informiert über die bevorstehenden Großprojekte in dieser Geschäftsnische, die den Bau neuer LNG-Terminals und der dazugehörigen Infrastruktur umfassen. Dieser Artikel beschreibt auch die Bemühungen der Europäischen Union, Europa zu einem klimaneutralen Kontinent zu machen.

### I. INTRODUCTION

Within the European geopolitical situation, the need of rapid change of the business model for natural gas supply is one of the “hot” topics globally. The secure and resilient supply of natural gas is becoming a crucial for many countries. Nowadays, the natural gas demand is not only economical factor but also political and social because it has a significant influence on the daily life. This article illustrates the current trend of change in the model of distribution and delivery of natural gas; summarizes forthcoming large LNG projects and outlines the alternatives.

### II. CHANGING BUSINESS MODEL OF NATURAL GAS MARKET OF USE

The European Union (EU) sanctions against Russian Federation and its response decreasing the quantity of natural gas supply lead to an unstable market and a rapid change in the business model of natural gas supply. This situation in Europe has a tremendous impact on the global natural gas market.

The anticipated growth in demand for natural gas worldwide is driving the process of changing the existing market model. Up to now the supply model through long-term supply contracts with monopoly enterprises to secure the country natural gas demand is obsolete.

Figure 1 illustrates the global natural gas demand and production by region and key countries. As per the forecast shown in the same figure, the global demand and production will be increased in next two years.

According to EU Communication as of 2016 related to liquefied natural gas and gas storage - the diversification of the EU's natural gas supply remains a key objective, particularly as domestic production in the EU will continue to decline in coming decades. Vulnerability due to increasing import dependency can be mitigated if the gas system remains flexible and able to respond to fluctuations in supply. The exploitation

of the potential of liquefied natural gas (LNG) and gas storage will make the EU gas system more diverse and flexible, thus contributing to the key Energy Union objective of a secure, resilient and competitive gas supply [1].

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Africa	164	161	169	172	177	183
Asia Pacific	835	841	895	907	935	962
of which China	306	325	364	377	395	416
Central and South America	155	142	153	147	148	150
Eurasia	608	584	634	619	614	624
of which Russia	482	460	501	484	479	487
Europe	586	573	604	549	556	545
Middle East	545	548	564	582	596	609
North America	1 106	1 080	1 084	1 108	1 101	1 105
of which United States	888	869	867	887	878	880
World	3 999	3 930	4 103	4 083	4 127	4 178

World natural gas demand by region and key country (bcm)

	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Africa	252	241	262	267	275	283
Asia Pacific	637	630	651	670	674	676
of which China	174	189	205	214	220	225
Central and South America	167	150	147	150	152	156
Eurasia	921	866	955	858	859	883
of which Russia	738	692	762	668	665	684
Europe	249	230	223	227	218	217
Middle East	671	674	694	712	729	739
North America	1 174	1 154	1 178	1 208	1 223	1 241
of which United States	968	954	973	1 006	1 028	1 042
World	4 071	3 945	4 110	4 092	4 132	4 195

World natural gas production by region and key country (bcm)

Fig. 1. Summary tables of world natural gas demand and production [1]

However, currently only a limited number of EU Member States (Spain, France, Italy, the Netherlands, Belgium) have effective liquid markets. In other parts of Europe, gas markets are far less developed [1].

As shown on Figure 2, EU remains dependent on Russian natural gas which has been increasing, reaching its peak of nearly 50% by 2019.

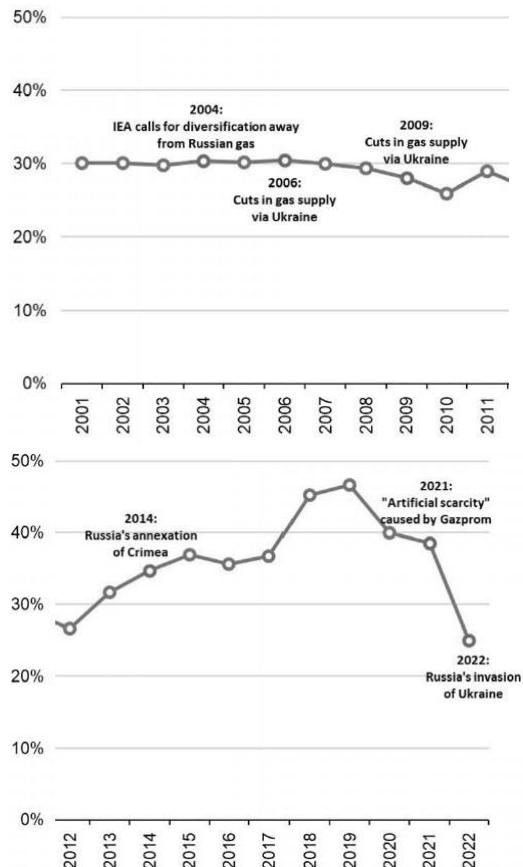


Fig. 2 Share of EU gas demand met by Russian supply, 2001-2022 [2]

The EU delayed with the diversification of natural gas supplies because of the lower prices of gas delivered through pipelines or the close political relations of some of EU member states with Russia. In the context of the changed geopolitical situation in Europe in the early 2022, the LNG terminals in the EU member states are urgently required leading to expedited performance of the delayed LNG projects.

For example, the first LNG terminal “Wilhelmshaven” in Germany, being the Europe’s largest national economy, is expected to be launched before this Christmas, 2022. The type of the LNG terminal is Floating Storage and Regasification Units (FSRU) which relatively new type of business model of natural gas supply.

In the global context, as of 2021 Russia is the world’s leading exporter of gas, exporting 201.7 billion cubic meters of gas via pipelines, and 39.6 billion cubic meters of liquefied natural gas (LNG). The United States is the second-largest natural gas exporter, followed by Qatar and Norway. Japan, China, and South Korea make up more than half of the LNG import market share worldwide. Australia is the country with the largest operating LNG export capacity worldwide [3].

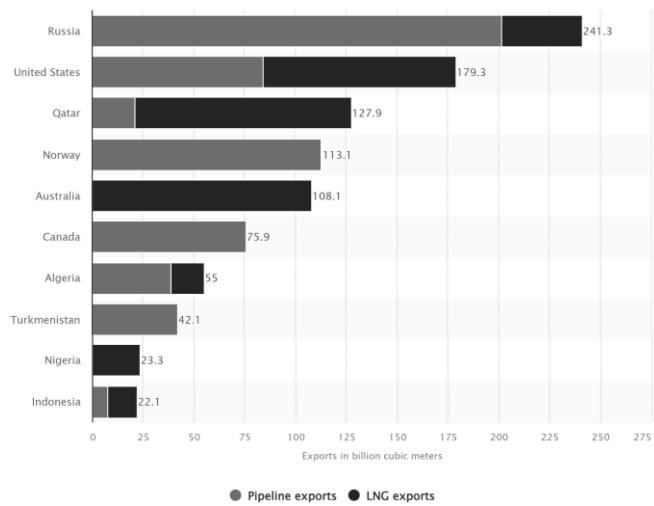


Fig. 3. Leading gas exporting countries in 2021, by export type [3]

### III. LARGE LNG PROJECTS

Several major LNG projects are underway globally, however five major of them deserve to keep an eye on in 2022:

#### 1. North Field Expansion LNG Project – Qatar

The North Field Expansion Project is the world’s largest LNG project. When it comes operational in 2025 (asscheduled), it will make Qatar the largest LNG exporter globally, with a LNG production capacity of 110 million tons per year (tpy). Additionally, this LNG project will also use renewable energy and carbon capture to limit emissions [4].

#### 2. Jafrabad Floating Storage and Re-gasification Unit – India

It will process and ship 47.5 million tonnes per annum across the region. This makes it one of the boldest LNG projects on the market in 2022 [4].

#### 3. Rio Grande LNG Plant – United States

Rio Grande LNG in Brownsville, Texas, represents the next step in LNG infrastructure in the USA. It will produce 27 million tpy, and the LNG plant is said to reduce emissions by over 90% with carbon capture storage which makes it the “greenest” LNG in the world. The LNG project is expected to be operational in 2023 [4].

#### 4. Arctic LNG 2 – Russia

Arctic LNG 2 is projected to produce 19.8 million tpy by 2025, Novatek’s Utrenneye onshore field is expected to be operational in 2023, however the international sanctions against Russia will probably impact the project closure (the main EPC Technip Energies expects to fully exit the project). This LNG project is part of a more extensive trans-arctic LNG shipping development by Novatek. Additionally, it will employ new technologies to make the natural gas liquefaction process more efficient [5].

#### 5. Brunsbüttel LNG Terminal – Germany

Heavily reliant on imports for over 90% of its domestic natural gas consumption, Germany is seeking to become more self-reliant with the construction of its Brunsbüttel LNG Terminal in 2023. As a result, the terminal will have an operational capacity of 5.1 million tpy and be one of many LNG projects to come [4].

#### IV. MEASURES TO REDUCE THE EU'S RELIANCE ON RUSSIAN NATURAL GAS SUPPLY

International Energy Agency published in March 2022 a 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas. The plan provides recommendations how to secure Europe's gas balance for next winter, showing the concrete policy actions needed to ensure storage sites are filled to 95% capacity by the beginning of the 2023-24 heating season and to structurally reduce gas consumption during the winter [6].

##### Action 1 - No new gas supply contracts with Russia

**Impact:** Taking advantage of expiring long-term contracts with Russia will reduce the contractual minimum take-or-pay levels for Russian imports and enable greater diversity of supply. Measures implemented this year could bring down gas imports from Russia by over one-third, with additional temporary options to deepen these cuts to well over half while still lowering emissions.

##### Action 2 - Replace Russian supplies with gas from alternative sources

**Impact:** Around 30 bcm in additional gas supply from non-Russian sources

##### Action 3 - Introduce minimum gas storage obligations to enhance market resilience

**Impact:** Enhances the resilience of the gas system, although higher injection requirements to refill storage in 2022 will add to gas demand and prop up gas prices

##### Action 4 - Accelerate the deployment of new wind and solar projects

**Impact:** An additional 35 TWh of generation from new renewable projects over the next year, over and above the already anticipated growth from these sources, bringing down gas use by 6 bcm

##### Action 5 - Maximise generation from existing dispatchable low-emissions sources: bioenergy and nuclear

**Impact:** An additional 70 TWh of power generation from existing dispatchable low emissions sources, reducing gas use for electricity by 13 bcm.

##### Action 6 - Enact short-term measures to shelter vulnerable electricity consumers from high prices

**Impact:** Brings down energy bills for consumers even when natural gas prices remain high, making available up to EUR 200 billion to cushion impacts on vulnerable groups.

##### Action 7 - Speed up the replacement of gas boilers with heat pumps

**Impact:** Reduces gas use for heating by an additional 2 bcm in one year.

##### Action 8 - Accelerate energy efficiency improvements in buildings and industry

**Impact:** Reduces gas consumption for heat by close to an additional 2 bcm within a year, lowering energy bills, enhancing comfort and boosting industrial competitiveness.

##### Action 9 - Encourage a temporary thermostat adjustment by consumers

**Impact:** Turning down the thermostat for buildings' heating by 1°C would reduce gas demand by some 10 bcm a year.

##### Action 10 - Step up efforts to diversify and decarbonise sources of power system flexibility

**Impact:** A major near-term push on innovation can, over time, loosen the strong links between natural gas supply and Europe's electricity security. Real-time electricity price signals can unlock more flexible demand, in turn reducing expensive and gas-intensive peak supply needs [6].

#### V. LIFE NEUTRAL FROM FOSSIL ENERGY

Many major LNG projects are currently underway globally as the world looks for a temporary fuel to transition to a low-carbon renewable future. Countries worldwide hope that new infrastructure will help meet growing demands and shift their energy solutions. While incumbents in the sector have robust advantages in light of the changes, incumbency alone is likely not sufficient to assure success. New businesses may well find fertile ground for innovation in LNG in the short- to medium-term. Production, transport and reprocessing of LNG are high energy-consuming and technically demanding due to the storage temperature, which leads to increasing CO<sub>2</sub> emission. In long term perspective, this conflicts with the European climate and environmental regulations aiming "Life Neutral from Fossil Energy".

To tackle climate change and build a strong green economy and society, the European Green Deal and the NextGeneration EU Recovery Plan aim to make Europe a climate-neutral continent by 2050.

The European Commission is proposing to cut net greenhouse gas emissions by at least 55% by 2030, compared to 1990 levels, up from our current target for 2030 of at least 40% [7].

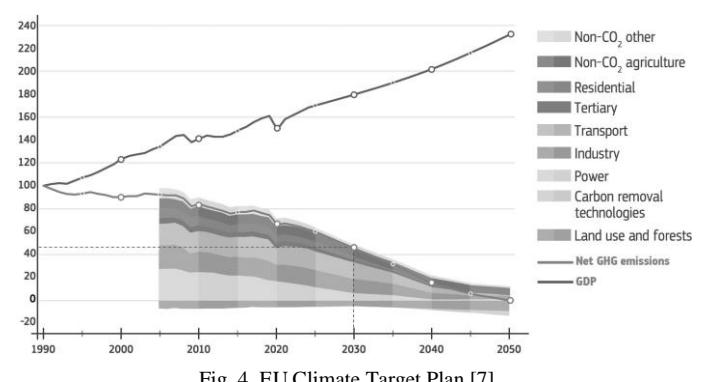


Fig. 4. EU Climate Target Plan [7]

According to the EU Climate Target Plan 2030:

- Energy sector causes 75% of CO<sub>2</sub> emissions:
  - Burning fossil fuels is the largest source of greenhouse gas emissions in the EU;
  - The energy system plays a central role in the transition to a climate-neutral economy

- Buildings sector:
  - The building sector is responsible for 40% of final energy use
  - This sector has a large and cost-effective potential to become more energy-efficient and reduce emissions
- Transport sector:
  - The transport sector has the lowest share of renewable energy use
  - It will need to increase its renewable energy share to around 24% by 2030
- Land Use Sector
  - Nature absorbs CO<sub>2</sub> and is vital to the fight against climate change
  - To achieve climate neutrality by 2050, it is needed to grow the carbon sink to reach 300 million tons CO<sub>2</sub> by 2030 [7].

The figure 5 shows the greenhouse gas emission targets, historical and future trends for the EU Member States.

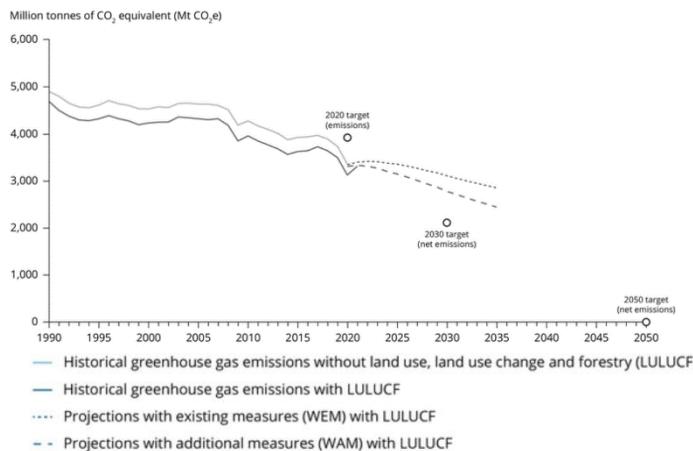


Fig. 5. Greenhouse gas emission targets, historical and future trends for the EU Member States [8]

## VI. CONCLUSION

Increasing attention to LNG terminals with the existing technologies is a mid-term global solution. That may not necessarily comply with the long-term vision of the European Union to be a climate-neutral continent by 2050. Therefore, use of LNG in lorries and shipping reducing the emissions of various pollutants and, in the case of shipping, decreasing the sulphur and nitrogen content in marine fuels used in the Emission Control Areas, and/or new technologies in LNG sector should be considered to in place to balance the most cost efficient and, at the same time, environment friendly way to do business in this sector.

## REFERENCES

- [1] COMMUNICATION FROM THE COMMISSION TO THE EUROPEAN PARLIAMENT, THE COUNCIL, THE EUROPEAN ECONOMIC AND SOCIAL COMMITTEE AND THE COMMITTEE OF THE REGIONS on an EU strategy for liquefied natural gas and gas storage, SWD(2016)23, [Online]. Available at: [https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM\(2016\)49&lang=en](https://ec.europa.eu/transparency/documents-register/detail?ref=COM(2016)49&lang=en)
- [2] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, "Gas Market Report, Q3-2022" (2022), [Online]. Available at: <https://iea.blob.core.windows.net/assets/c7e74868-30fd-440c-a616-488215894356/GasMarketReport%2CQ3-2022.pdf>
- [3] Leading gas exporting countries in 2021 (2022), [Online]. Available at: <https://www.statista.com/statistics/217856/leading-gas-exporters-worldwide/>
- [4] 5 Major LNG Projects to Keep an Eye on in 2022 (2022), [Online]. Available at: <https://energytracker.asia/5-major-lng-projects-to-keep-an-eye-on-in-2022/>
- [5] Technip Energies signs deal to leave Arctic LNG 2 project in H1 2023 (2022), [Online]. Available at: <https://www.reuters.com/business/energy/technip-energies-eyes-exit-arctic-lng-2-project-h1-2023-2022-10-20/>
- [6] Europe needs to take immediate action to avoid risk of natural gasshortage next year (2022), [Online]. Available at: <https://www.iea.org/news/europe-needs-to-take-immediate-action-to-avoid-risk-of-natural-gas-shortage-next-year>
- [7] EU Climate Target Plan 2030 (2020), [Online]. Available at: [https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs\\_20\\_1610](https://ec.europa.eu/commission/presscorner/detail/en/fs_20_1610)
- [8] Historical trends and future projections of EU greenhouse gas emissions (2022), <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/figure-1-historical-trends-and-1>

# Concepts of Regional Skilled Worker Development in STEM

## Konzepte der regionalen Fachkräfteentwicklung in Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik

Christoph Hohoff

Institute of Automation & Industrial Management, FOM Hochschule für Oekonomie & Management gGmbH,  
Essen, Germany, e-mail: christoph.hohoff@fom.de

**Abstract** — The article deals with the emergence and current development of STEM networks in Germany. It is based on a publication by Christoph Hohoff and Anja Krumme from 2020 "MINT-LINK - Projektbericht zum Ausbau der Vernetzung des zdi-Zentrums MINT-Netzwerk Essen mit der regionalen Wirtschaft". This article updates this analysis and opens up new opportunities for European collaboration. The paper focuses on the thematic area of concepts of labor force, employment, competencies and labor force strategies.

**Zusammenfassung** — Der Beitrag befasst sich mit der Entstehung und aktuellen Entwicklung von MINT-Netzwerken in Deutschland. Er basiert auf einer Veröffentlichung von Christoph Hohoff und Anja Krumme aus dem Jahr 2020 "MINT-LINK - Projektbericht zum Ausbau der Vernetzung des zdi-Zentrums MINT-Netzwerk Essen mit der regionalen Wirtschaft". Der vorliegende Beitrag aktualisiert diese Analyse und eröffnet neue Möglichkeiten der europäischen Zusammenarbeit. Der Beitrag konzentriert sich auf den Themenkomplex Arbeitskräftekonzepte, Beschäftigung, Kompetenzen und Arbeitskräftestrategien.

### I. EINLEITUNG

Bildung in den Bereichen Mathematik, Informatik, Naturwissenschaften und Technik (MINT) ist sowohl für die Leistungs- und Wettbewerbsfähigkeit als auch für die Innovationskraft der deutschen und europäischen Wirtschaft im internationalen Wettbewerb von großer Bedeutung. Im Zuge der Digitalen Transformation und zusätzlich getrieben von der COVID19-Pandemie haben Technik, Informatik sowie digitale Anwendungen und Dienstleistungen auch Einzug in die Aktivitäten von Unternehmen, Organisationen, Verwaltungen und Individuen gehalten, die nicht im engeren Sinne dem professionellen MINT-Bereich zuzurechnen sind. Grade die durch die Pandemie geprägten vergangenen Jahre haben gezeigt, dass MINT-Bildung eine Voraussetzung dafür ist, verantwortungsvoll und selbstbestimmt zu leben und, in Kenntnis der Risiken und Herausforderungen, die Chancen der Digitalen Transformation nutzen zu können. Zur Förderung des Fachkräftenachwuchses im MINT-Bereich sowie der MINT-Bildung sind in den vergangenen Jahren zahlreiche Projekte und Initiativen mit regionalem Bezug entstanden, die im Folgenden dargestellt werden.

### II. BEDEUTUNG DER MINT-BILDUNG

Der OECD-Report Bildung auf einen Blick 2021<sup>[1]</sup> weist darauf hin, dass MINT-Fächer besonders politisch relevant sind. Die Länder versuchen die Kompetenzen für technologische Innovation zu stärken. Gleichzeitig werden die entsprechenden Fächergruppen weiterhin selten belegt. 2019 belegten 24 % der Anfänger im Tertiärbereich Bildungsgänge der Fächergruppe Wirtschaft, Verwaltung und Recht, 6 % Bildungsgänge der Fächergruppe Naturwissenschaften, Mathematik und Statistik, 6 % Bildungsgänge der Fächergruppe Informatik und Kommunikationstechnologie und 15 % Bildungsgänge der Fächergruppe Ingenieurwesen, verarbeitendes Gewerbe und Baugewerbe. Der Anteil der Frauen, die MINT-Fächergruppen

belegen, ist zwischen 2013 und 2019 im Allgemeinen stabil geblieben, es gibt jedoch große Unterschiede zwischen den Ländern. In keinem anderen OECD-Land ist ein MINT-Studium so beliebt wie in Deutschland, gut 38% aller Anfängerinnen und Anfänger, die im Jahr 2020 ein Hochschulstudium oder ein berufsorientiertes tertiäres Bildungsprogramm (berufliche Fortbildungsabschlüsse z.B. zum Meister, Techniker oder gleichwertige Ausbildung) beginnen, entschieden sich für ein MINT-Fach. Damit nimmt Deutschland im internationalen Vergleich den Spitzensplatz ein, vor Israel mit 33% sowie Österreich, Estland und Finnland mit 32%. Der OECD-Durchschnittswert liegt bei 27%.

Das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) sieht dennoch auch weiterhin große Herausforderungen und veröffentlichte im Februar 2019 einen ersten MINT-Aktionsplan. Ziel dieses Plans war es, Kinder, Jugendliche und Erwachsene von der Kita über die Schule, die außerschulischen Aktivitäten, die Berufsberatung, die Ausbildung bzw. das Studium bis hin zum Berufseinstieg und der Weiterbildung für MINT-Fächer zu interessieren. Für die mit dem Aktionsplan vorgesehenen Aktivitäten waren bis 2022 rund 55 Millionen Euro an Fördergeldern vorgesehen. Mit dem MINT-Aktionsplan 2.0<sup>[2]</sup>, der im Juni 2022 veröffentlicht wurde, will das BMBF seinen vernetzten und ganzheitlichen Ansatz in der MINT-Bildungsförderung fortführen. Mit zusätzlichen 45 Millionen Euro soll der neue Aktionsplan weitere Impulse zur Stärkung der MINT-Bildung entlang der gesamten Bildungskette setzen. Vor allem die MINT-Bildungsangebote in der Primar- und Sekundarstufe sollen noch weiter ausgebaut werden. Dies soll insbesondere über die sogenannten MINT-Cluster und die Professionalisierung der außerschulischen MINT-Bildungsakteure erfolgen, die dazu beitragen sollen berufliche Neigungen auszuprägen. Im Rahmen

von zwei MINT-Cluster Wettbewerben verfolgte das BMBF das Ziel außerschulische MINT-Angebote in der Fläche auszubauen und zu verstetigen. Aktuell sind die Projekte der zweiten Wettbewerbsrunde gestartet, damit sind deutschlandweit insgesamt 53 MINT-Cluster gefördert aktiv. Das BMBF finanziert das Förderprogramm mit rund 30 Millionen Euro.

Bildungsinitiativen, die sich auf Bundesebene mit MINT-Förderung befassen, verfügen über eine längere Historie. Aktuell sind in diesem Zusammenhang z.B. die Initiative MINT Zukunft schaffen! (IMZs), das nationale MINT-Forum (NMF) oder auch die Initiative MINT-Regionen (IMR) der Körber-Stiftung zu nennen. Die IMZs will Beiträge zu einer positiven Einstellung von jungen Menschen, Eltern, Lehrenden und einer breiten Öffentlichkeit zu MINT stiften. Dabei fokussiert sie alle Bildungsbereiche und verfolgt einen Bildungsbiografiebegleitenden Ansatz. Die Hauptzielgruppen für MZs sind damit sowohl Schülerinnen und Schüler (SuS) der Sekundarstufe I und II als auch Studienanfängerinnen und Studienanfänger sowie Studierende. Mit der Auszeichnung

„MINT-freundliche Schule“ werden als Zielgruppe auch Grundschulen angesprochen. Als bundesweit agierendes MINT-Netzwerk formuliert die IMZs den Anspruch, zukunftsorientierte und wegweisende Zeichen für positive Veränderungen zu setzen und den zahlreichen MINT-Einzelinitiativen eine breite Multiplikator-Plattform zu bieten. Ziel ist es, durch ein gemeinsames Auftreten eine kritische Masse zu erreichen, um politischen Forderungen Nachdruck verleihen zu können<sup>[3]</sup>.

Der MINT-Frühjahrsreport 2022 „Demografie, Dekarbonisierung und Digitalisierung erhöhen MINT-Bedarf – Zuwanderung stärkt MINT-Fachkräfteangebot und Innovationskraft“, der vom Institut der deutschen Wirtschaft als Gutachten im Auftrag des BDA, Gesamtmetall und IMZs erstellt wurde, fordert unter anderem die Stärkung der MINT-Bildung durch entsprechende Angebote entlang der gesamten Bildungskette. MINT solle bereits in der fröhkindlichen Bildung eine größere Bedeutung bekommen, dementsprechend solle es auch mehr MINT-Fortbildungsangebote für Fachkräfte in der fröhkindlichen Bildung und an Grundschulen geben. Hochschulen sollen Anreize und Kapazitäten schaffen, um den durch die Dekarbonisierung und die Digitalisierung deutlich veränderten Kompetenzanforderungen der erwerbstätigen MINT-Kräfte Rechnung zu tragen. Die entsprechenden Kompetenzen sollten berufserfahrene MINT-Akademiker durch akademische Weiterbildung an den Hochschulen erwerben können<sup>[4]</sup>.

Das NMF<sup>[5]</sup> hat sich zum Ziel gesetzt, MINT-Bildung entlang der gesamten Bildungskette zu fördern und das Bewusstsein für die Bedeutung dieser Kompetenzen in allen gesellschaftlichen Bereichen zu stärken. Seit 2012 haben sich auf Initiative der Deutschen Akademie der Technikwissenschaften, und IMZs über 30 in der MINT-Bildung engagierte Institutionen wie Stiftungen, Wirtschaftsverbände, Wissenschaftseinrichtungen und weitere zivilgesellschaftliche Akteure im NMF zusammengeschlossen. Die IMR<sup>[6]</sup> der Körber-Stiftung unterstützt den Aufbau und den Austausch regionaler Netzwerke zur Förderung der MINT-Bildung. Unterschiedliche Akteure, von Kitas über Hochschulen bis zu Unternehmen und Verbänden, arbeiten zur Nachwuchsförderung und Fachkräftesicherung zusammen. Ziel ist eine konsistente Förderung entlang der Bildungskette und in der Fläche, die optimal auf die regionalen Bedarfe zugeschnitten ist.

### III. MINT-BILDUNG IN REGIONEN

Als Reaktion auf die einsetzende Debatte über einen drohenden Fachkräftemangel sind in Deutschland seit Mitte der 1990er Jahre zahlreiche regionale MINT-Initiativen entstanden. Diese haben seit ihrer Gründung eine nahezu unüberschaubare Fülle von Angeboten entwickelt. Grund dafür ist, dass sich neben den staatlichen Akteurinnen und Akteuren auch zahlreiche Unternehmen, Stiftungen, Verbände und weitere Organisationen für die MINT-Bildung engagieren. Weiterhin beruhen viele der regionalen MINT-Angebote auf ehrenamtlichem Engagement. Die Ziele sind in der Regel vergleichbar, sie wollen für MINT begeistern, die MINT-Bildung stärken und den Fachkräftenachwuchs sichern. In ihren Maßnahmen setzen sie allerdings unterschiedliche Schwerpunkte, das Spektrum reicht von Projekten für die fröhkindliche MINT-Bildung über Anstrengungen, Lehrinhalte in Schule und Hochschule praxisnäher zu gestalten und die Berufsorientierung zu stärken, bis hin zu zielgruppenspezifischen Angeboten beispielsweise für Mädchen oder auch Jugendliche mit Migrationshintergrund. Die Bezeichnung „MINT-Region“ hat sich als Kurzformel für regionale Netzwerke für die MINT-Bildung eingebürgert. Die regionalen Initiativen, die dem Begriff zugeordnet werden, sind ebenso vielfältig wie deren geografischer Zuschnitt. Dennoch lassen sich eine Reihe von Merkmalen beschreiben, die eine MINT-Region im Kern ausmachen. Im Wesentlichen sind dies tragfähige Netzwerkstrukturen, ein räumlich klar definierter Aktionsradius und von den beteiligten Akteuren gemeinsam entwickelte, verbindliche Zielsetzungen für die regionale MINT-Bildung. Konkret bedeutet dies, dass sich möglichst alle relevanten Institutionen und Akteure (Kitas, Schulen, Hochschulen, Berufsakademien, Unternehmen, Verbände, Kommunen, Behörden, Arbeitsagenturen, Stiftungen, Vereine sowie weitere Partner) in einem Netzwerk zusammenschließen, um gemeinsam daran zu arbeiten, die vorhandenen MINT-Aktivitäten zu koordinieren, zu verbessern, auszubauen und bekannt zu machen. Ein Überblick über bestehende MINT-Regionen sowie deren Ausgestaltung bietet die von der Körber-Stiftung verantwortete Website „MINT-Regionen in Deutschland“<sup>[11]</sup>. Betrachtet man die bundesweite Verteilung, so fällt auf, dass die Mehrheit der Netzwerke in Nordrhein-Westfalen (45) und Niedersachsen (14) zu finden sind. Diese hohe Dichte ist darauf zurückzuführen, dass in beiden Bundesländern systematische MINT-Förderstrukturen seitens der Landesregierung bzw. der jeweiligen Landesministerien etabliert wurden. In Nordrhein-Westfalen wurde 2006 die Gemeinschaftsoffensive zur Förderung des naturwissenschaftlich-technischen Nachwuchses in NRW „Zukunft durch Innovation.NRW“ (zdi) gestartet, das von drei Ministerien (Schule, Wirtschaft und federführend Wissenschaft) mitgetragen wird. In sogenannten zdi-Zentren schließen sich regionale Akteure aus Bildung, Wirtschaft und Verwaltung zusammen, um gemeinsam eine systematische MINT-Bildung in der Region aufzubauen.

### IV. ZDI-ZENTRUM MINT-NETZWERK ESSEN

Das zdi-Zentrum MINT-Netzwerk Essen (zMNE)<sup>[7]</sup> ist ein regionales Netzwerk für die MINT-Bildung, welches im Dezember 2010 in Trägerschaft der gemeinnützigen BildungsCentrum der Wirtschaft gGmbH gegründet wurde. Es verfügt über eine ausgeprägte, den Bezirk der Agentur für Arbeit Essen, umspannende und darüberhinausgehende Partnerstruktur. Das zMNE ist Teil der Gemeinschaftsoffensive zdi und blickt auf eine regional wie überregional beachtete, langjährige Tätigkeit zurück. Die FOM ist eine der Gründungsinitiatorinnen des zMNE. Mit über 200 Partnern aus Bildung, Wirtschaft und

Verwaltung erreicht das zMNE die gesamte Bildungskette, von der Kita über die Schule bis zur Hochschule in Essen. Konsens der Partner und damit Strategie des zMNE ist es, naturwissenschaftlich-technische Bildung gemeinsam zu verantworten und entlang der Bildungskette junge Menschen dafür zu begeistern und gezielt zu fördern. Durch berufs- bzw. techniknahe Aktivitäten bei allen SuS, wie auch Lehrerinnen und Lehrer, soll ein verstärktes Interesse für MINT-Themen geweckt werden. Darüber hinaus soll eine Kommunikationsplattform ins Leben gerufen und ein Netzwerk aller Beteiligten der Bildungskette aufgebaut werden, um Projekte zu initiieren, zu planen, zu finanzieren, durchzuführen und der Öffentlichkeit zu präsentieren. Der Konsens wurde im Rahmen einer gemeinsamen Erklärung verschriftlicht und von allen Gründungspartnern des Netzwerks unterzeichnet. Erklärte Strategie des zMNE ist die konsequente Umsetzung des Biografie-begleitenden Ansatzes von der Kita bis zum Beruf bzw. Studium. Das zMNE nimmt seit vielen Jahren am Projekt zur vertieften MINT-Berufs- und Studienorientierung (BSO) teil. Das Projekt wird von der Regionaldirektion NRW der Bundesagentur für Arbeit und dem Ministerium für Kultur und Wissenschaft NRW gemeinsam jeweils hälftig getragen. Im Rahmen von BSO erhalten SuS ab der Klasse 7 allgemeinbildender Schulen in NRW einen fundierten Einblick in die MINT-Fächer, womit die Studierneigung gefördert werden soll. Neben Studiengängen können dabei auch Berufe mit akademischer Bildung sowie MINT-Ausbildungsberufe, die mit einem ausbildungsbegleitenden Studium verbunden sind oder die zu einem anschließenden MINT-Studium führen können, vorgestellt werden. Das zMNE und seine Partner haben Drittmittel in Höhe von mehr als einer Million Euro aus der Wirtschaft, dem Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE) des Landes NRW, des BMBF und der Bundesagentur für Arbeit für die Umsetzung dieser Strategie

eingeworben. Der größte Teil der EFRE-Projekte wurde und wird unter der Federführung der FOM durchgeführt, die zu diesem Zweck ihre Ressourcen und Kompetenzen im Bereich der Projektkoordination zur Verfügung stellt. Seit Anfang 2019 ist die Geschäftsstelle des zMNE Teil des Institute of Automation & Industrial Management der FOM. Gemeinsam mit dem zdi-Zentrum DU.MINT Duisburg Niederrhein an der Fakultät für Ingenieurwissenschaften und Fakultät für Physik der Universität Duisburg-Essen beteiligte es sich erfolgreich am MINT-Cluster Wettbewerb des BMBF und führt seit Februar 2022 das mit rund einer Millionen Euro geförderte Projekt „Wir in Essen und Duisburg machen MINT“ durch. Die Projekttidee „Digitalisierung, Additive Fertigung & Nachhaltigkeit“ fokussiert die Zielgruppen der Studierenden, die Ausbilder und Lehrer im Bereich "Technik" in der beruflichen Bildung werden wollen. Sie befasst sich mit der Frage, wie die die Ausbildungsfelder "Digitalisierung" und "(Additive) Manufacturing" mit dem Thema "Nachhaltigkeit" durch den Einsatz bionischer Konstruktionsmethoden verbunden werden können und wie Unterricht in synchronen und asynchronen digitalen Formaten umgesetzt werden kann.

#### REFERENCES

- [1] <https://www.oecd.org/berlin/publikationen/bildung-auf-einen-blick.htm>, Zugriff 10.11.22.
- [2] [https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/digitalisierung-und-mint-bildung/mint-bildung/mint-aktionsplan\\_node.html](https://www.bmbf.de/bmbf/de/bildung/digitalisierung-und-mint-bildung/mint-bildung/mint-aktionsplan_node.html), Zugriff 09.11.22.
- [3] <https://mintzukunftschaffen.de> Zugriff 10.11.22.
- [4] <https://www.iwkoeln.de/studien/christina-anger-ennio-kohlisch-oliver-koppel-axel-pluennecke-demografie-dekarbonisierung-und-digitalisierung-erhoehen-mint-bedarf.html>, Zugriff 08.11.22.
- [5] <https://www.nationalemintforum.de>, Zugriff 09.11.22.
- [6] <https://www.mint-regionen.de>, Zugriff 10.11.22.
- [7] <https://zdi-essen.de>, Zugriff 10.11.22.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

# Verbesserung der Eigenmotivation von den Teammitgliedern an dem Arbeitsplatz

Atanas Bonchev, Vesselin Kantschev

FDIBA, Technical University of Sofia

Sofia, Bulgaria, e-mail: atanass.bontschev@gmail.com. vesselin.kantchev@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** — Das Ziel von diesem Referat ist eine spezialisierte Analyse durchzuführen, deren Ziel die möglichen Gründe zur Verbesserung der eigenen Motivation von den Mitarbeitern am Arbeitsplatz ist. Hintergrund dafür ist der Mangel an praktischen Fähigkeiten (Soft-skills u.a.), die in der heutigen Universitätsausbildung selten zu finden sind, speziell in den Ingenieurbereichen. Diese wissenschaftliche Arbeit soll die Führungskräfte unterstützen, die aus unterschiedlichen Gründen die direkte Meinung ihren Angestellten nicht direkt mit den periodischen Ergebnissen im Unternehmen assoziieren können.

**Zusammenfassung** — Dieser Referat will möglichst einfach die Basis von der erfolgreichen Team-Zusammensetzung vorzustellen, mit Fokus auf der Effektivität. Die unterschiedlichen Teammitglieder haben verschiedene Personalitäten, die zusammen in einem dynamischen Umfeld funktionieren sollen. Ohne der Fokus auf der Teamarbeit werden die einzelnen Mitglieder nicht effektiv genug, um ihre Aufgaben erledigen zu können. Dafür wurde umfangreiche Literatur verwendet, die auch mit persönlichen Erfahrungen und Beobachtungen aus der industriellen Welt unterstützt ist.

## I. EINFÜHRUNG

In der heutigen Welt existieren Kooperationen unter unterschiedlichen Formen. Die modernen Organisationen funktionieren aufgrund der Teamarbeit und ihre Optimierung spielt eine besondere Rolle für die Wirtschaftlichkeit der Operationen im Alltag.

Die effektive Wechselwirkung von Menschen in einem Team kann der Unterschied zwischen einem erfolgreichen Unternehmen und einem professionalen Misserfolg sein. Die Fähigkeiten, um in einem Team arbeiten zu können, sind heutzutage geschätzt und sind ein Muss für jeden Bewerber, der Zukunft in einer Korporation haben will.

Die Diversifikation von notwendiger Arbeitskraft verdeutlicht die entstandene Lücke zwischen Kenntnissen aus der klassischen Universitätsausbildung und erforderlichen Befähigungen am Arbeitsplatz, die erst da gelernt werden müssen. Die heutigen Unternehmen liegen besonderer Wert auf Mitarbeiter, die effektiv in einem dynamischen Umfeld arbeiten können, was leider bei Schülern und Studenten selten zu finden ist.

Das Ausbildungssystem fördert die fachliche Kompetenz in dem ausgewählten Feld und es bleibt wenig Zeit für die Grundlagen der Teamarbeit. Noch dazu werden Mitarbeiter in der Industrie oft aufgrund ihrer Erfahrung promoviert und hier entsteht eine besondere Problematik – z.B. ein erfahrener Ingenieur kann mühelos neue Produkte erfinden, aber das bedeutet nicht, dass er gute Führungskraft im Sinne von Team- oder Abteilungsleiter sein kann. Seine Fähigkeiten in einem bestimmten Bereich übertragen sich nicht, wenn eine leitende Position gemeint wird.

## II. PROBLEMATIK

Die soziale Kompetenz ist ein kritischer Faktor bei der Zusammenarbeit in einem Team. Ähnlich wie bei den Maschinen - ein Motor kann perfekt berechnet werden, mit allen notwendigen Komponenten und Toleranzen, allerdings würde er sehr kurz ohne Schmierstoff funktionieren - in diesem Fall das sind die Soft-Skills.

Heutzutage ist die Abwesenheit von dieser Kompetenz leider extrem sichtbar [1]. Ein Grund dafür ist das Streben nur nach Kenntnissen und nicht auch an Kommunikationsfähigkeiten. In der Schule wird das Wissen bewertet, nicht die Zusammenarbeit. In den Universitäten fördern die Dozenten selten eine positive Mitarbeit zwischen den Kommilitonen - im Endeffekt werden nur die gezeigten Leistungen bewertet.

Erst am Arbeitsplatz trifft man eine langfristige professionelle Beziehung zwischen Leuten, die keine (gute) Bekannte waren und keine solche in der Zukunft werden müssen. Da muss man mit den anderen passend umgehen können, somit er die festgestellten Ziele weiterverfolgen kann - allein kann keiner ein großes Projekt schaffen. Viele Unternehmen funktionieren nur dank guter Beziehung zwischen den Kollegen. Dort kann man auch ganz genau behaupten, dass viele von den Mitarbeitern eigentlich außer der Arbeit gute Bekannte sind und ein Teil ihres Lebens zusammen überlebt haben.

Eine schlechte Kooperation zwischen den Teammitgliedern (und auch ihre Vorgesetzte) wird eine sinkende Motivation und Zufriedenheit am Arbeitsplatz im Laufe der Zeit bedeuten.

Kein Manager würde absichtlich ein schlechtes Team aufbauen, und es kann selten passieren, dass ein Teamabsichtlich unpassend aufgebaut wird. Wenn der Manager aber die Merkmale von so einem erfolgreichen Team kennt, werden die schlechten Erfahrungen gespart. Der gut vorbereitete Projektleiter wird diese Team-Charakterzüge analysieren, damit er weiß, was zu vermeiden ist.

Die wichtige Frage aber bleibt noch offen: Warum sind manche Teams nicht effektiv, kann es an die „Chemie“, an die Atmosphäre, und die Stimmung im Team liegen? Prof. Meredith Belbin hat umfangreiche Untersuchungen bei verschiedenen echten Teams weltweit durchgeführt und die Ergebnisse dokumentiert. Sein Ziel bestand darin, ein universelles Rezept für die erfolgreiche Teambildung zu erstellen. Ob Gewinner oder Verlierer – bei allen befragten Teams herrschte eine mehr oder weniger positive Stimmung. Somit eine erste Schlussfolgerung: Die schlechte Stimmung ist Folge der negativen Teamarbeit und kein Grund dafür.

### III. BEFRAGUNG EINER ZIELGRUPPE ALS BASIS FÜR DIE ANALYSE [2].

Zur empirischen Auseinandersetzung mit dem Thema der erfolgreichen Teamzusammensetzung wurde eine online Befragung im Zeitraum vom 18.05.2022 bis 10.06.2022 durchgeführt. Mit dem dazu entwickelten Fragebogen sollte erfasst werden, inwieweit Teilnehmer in unterschiedlichen Teams theoriegerechte Vorstellungen über die Teamarbeit allgemein haben.

Der Grund für diese Ausrichtung besteht darin, dass es anscheinend eine große Anzahl von Mitarbeiter gibt, welche schon eine Ahnung von Teamarbeit haben, da sie mit anderen Mitarbeitern zusammenarbeiten sollen und in manchen Fällen auch müssen, aber nicht obligatorisch dafür theoretisch vorbereitet sind. Bei der Konstruktion des Fragebogens wurde darauf geachtet, dass die Fragen dazu veranlassen sollten, dass die Befragten ihre Meinung frei und ehrlich äußern sollten, und daher enthalten die Fragen keine theoretischen Begriffe. Besonderer Wert wurde auf die offenen Fragen gelegt, bei welchen man mit seinen eigenen Worten die Antwort formulieren konnte.

Das Ziel besteht nicht darin Test zu entwickeln, der beweisen soll, ob man genügende theoretische Vorbereitung hat, sondern ob man ein passendes Gefühl für die Vor- und Nachteile bei der Zusammenarbeit hat.

Zur Vereinfachung wird mehr auf den Fragen zur Verbesserung der Teamarbeit konzentriert, da man erst dort die wichtigen Schlussfolgerungen ausleiten kann.

- Was würden Sie in Ihrem Team verbessern?

Diese Frage wurde absichtlich als offene Frage konzipiert, damit jeder Befragte die Möglichkeit hat, die eigene Meinung frei äußern zu können. Bevor man zu den Ergebnissen im Einzelnen kommt, soll man einem weiteren Befund nachgehen, und nämlich, dass fast alle Befragten diese offene Frage beantwortet haben. Wir können annehmen, dass dies klarstellen soll, dass es in allen Teams, woher die Befragten kommen, es Problemfelder gibt, die Verbesserungsbedürftig sind. Nur 11.7% von den Befragten geben an, dass nichts zu verbessern ist, da ihr Team effektiv genug sein soll.

Die Antworten können zu drei Themenbereichen systematisiert werden – Kommunikation, Motivation und Belastung. 1/3 von allen Befragten wünschen direkt potenzielle Verbesserungen bei dem Informationsaustausch unter verschiedenen Formen – mehr Zeit für offene Diskussionen, interne Besprechungen, bessere Präsentation von Informationen, mehr konkrete Rückmeldungen, Informationsaustausch u.a. Diese Ergebnisse unterstützen die Annahme, dass während der Universitätsausbildung die Kommunikationsfähigkeiten eher chaotisch verbessert werden, was bedeutet, dass man dieses Spektrum, das Teil der kompletten Lebenserfahrung von den Einzelpersonen ist, soll im Laufe der Arbeitserfahrung mittels gezielter Maßnahmen verbessert werden.

Als Nächstes wird die Rolle der Eigenmotivation der Teammitglieder erwähnt. Man kann annehmen, dass niedrige Eigenmotivation mit den bereits erwähnten Kommunikationsmängeln in Beziehung stehen darf.

Wenn ein Mitarbeiter nicht gut genug motiviert zu leisten ist, dann existieren keine konkreten Ziele, an die er streben soll. Zugleich kommt es, dass man an Motivation verlieren kann, wenn die individuellen Erwartungen nicht erfüllt werden. Beide Tendenzen kann durch verbesserte Kommunikation entgegenwirken.

Die dritte Gruppe von Antworten, welche die Belastung am Arbeitsplatz betreffen, soll die Notwendigkeit von Planung hervorheben, im Sinne, dass die Kapazitäten der Teammitglieder gut genug analysiert werden sollen, damit man realistisch planen kann. Wenn ein Teammitglied, oder ein Team immer mehr belastet wird als andere, kann das eine Indiz dafür sein, dass es im Arbeitsprozess Engpässe existieren. Das dürfte ein Planungsrisiko sein, und somit können unnötige Kosten und auch Verspätungen entstehen.

- Welche externen Faktoren können die Atmosphäre im Team negativ beeinflussen?

Bei dieser Frage ist die Zielgruppe einig – mehr als 85% geben an, dass schlechte externe Planung der Arbeitskapazität eine negative Rolle im Team spielt. Das kann man mit der langfristigen Planungsphase während der Projektarbeit verbinden, da an dieser Stelle ohne falsche Erwartungen entstehen und versteckten Risiken bis zur Realisierungsphase nicht entdeckt werden können.

Die Befragten finden auch die Inkonsistenz des Vorgehens als kritisch für die gute Zusammenarbeit, da man auf eine unregelmäßige Art und Weise die zukünftige Arbeitsbelastung schwer geplant werden kann. Beispiel dafür ist die Situation, wo man im Frühling und Herbst mehr zu tun hat als im Sommer, da mehrere Mitarbeiter genau dann im Urlaub sind. Wenn Entscheidungen über die Planung der Kapazitäten, Anzahl der Mitarbeiter inklusive, getroffen werden sollen, dann sollte man nicht nur die Zeitkomponente einschätzen, sondern auch die genaue Periode, die in der Planperiode vorkommt. Eine Aufgabe, die z.B. 6 Wochen für ihre Realisierung braucht, könnte 8 Wochen im Sommer dauern, da ein Teil von den Mitarbeitern abwesend ist.

An dritter Stelle wird von den Befragten die Bürokratie ausgewählt, die sich negativ auf das Teamgeschehen auswirken kann. Das soll damit verbunden sein, dass die Mitarbeiter für andere sinnvolle Zwecke eingestellt sind, als für das bürokratische Apparat des Unternehmens zu arbeiten.

### IV. INTERPRETATION VON DEN ERGEBNISSEN.

Die dargestellten Ergebnisse aus der Befragung zum heutigen Stand der Teamarbeit in einem Konzern oder Großunternehmen beinhalten die Stellungnahmen von Befragten, die Lebens- und Arbeitserfahrung haben, sodass man annehmen kann, die Befunde widerspiegeln die Realität.

Die Tendenzen, die abzuzeichnen sind, stimmen mit den in der Theorie von Prof. Belbin ziemlich gut überein. Befunde zu den erkannten und genannten Problembereichen sind auch in der Literatur zum Thema Teamarbeit zu finden, ein Thema mit mittlerweile Jahrzehnten langen Geschichte. Wie es scheint, es werden momentan kaum Neuerungen aufgedeckt, bzw. erfunden – die Ergebnisse aus der Befragung widerspiegeln aus der Theorie bekannte Faktoren zur Effektivität der Arbeit im Team, wie Kommunikation, Motivation, Rollenverteilung. Die Befragung macht deutlich, wie wichtig für die Mitarbeiter der effektive Informationsaustausch ist. Generell kann angenommen werden, dass die Ergebnisse der Befragung erneut die Rolle von Soft-Skills im Arbeitsalltag hervorheben.

Die Abwesenheit von Soft-Skills am Arbeitsplatz ist der kritische Punkt, um den ein Großteil von den Kommunikationsproblemen kehren; Schwierigkeiten in diesem Bereich führen zu weiteren Hindernissen in der langen Kette von Menschen und Entscheidungen in einem Unternehmen.

## V. MÖGLICHKEITEN ZUR VERBESSERUNG DER EIGENMOTIVATION AM ARBEITSPLATZ.

Die Teamrollentheorie vom Prof. Belbin zeigt abstrakt, was für Aufgaben die unterschiedliche Personalitätstypen besser oder schlechter erledigen können. Dort wird nicht gemeint, wie ein Ingenieur oder Rechtsanwalt sich im Team verhalten soll, sondern wird auf der notwendigen Kreativität und Präzision gerichtet – im Team braucht man eine kreative Person, der Aufgaben X und Y übernehmen soll, danach kommt die präzise Person für Aufgaben A und B, wieder abstrakt abgebildet usw. Das ist kein Kochrezept, sondern Know-How für die zukünftige Teamleiter, auf was sie achten sollen, wenn sie ein Team führen wollen.

Es gibt laut der Theorie mehrere Lösungen und Ideen, wie man die Eigenmotivation während der Arbeit erhöhen kann. Das ist aber keine eindeutige Lösung, sondern eine Zusammenfassung, die alle oben in der Befragung erwähnte Problematiken ins Auge nimmt – Kapazitätsplanung und Kommunikation, deren Ergebnis direkt zu der Selbstmotivation verbunden werden kann.

Die Theorie von Belbin [3] erläutert gut die unterschiedlichen Rollen im Team. Die Möglichkeiten zur Kombination von unterschiedlichen Teammitglieder-Rollen können genau das Unterschied zwischen ausgezeichnetem und mittlerem Team machen.

- Der erste Schritt für die gute Teambildung besteht darin den Teamleiter sorgfältig auszuwählen. Der Teamleiter soll genug Geduldig sein, aber muss wissen, wann er die Probleme persönlich im Griff nehmen soll, falls eine wichtige Entscheidung zu treffen ist. Der Teamleiter wird immer zusammen mit seinen talentierten Kollegen arbeiten, nicht gegen. Er soll Vertrauen generieren und soll klar zeigen, dass es ihm bekannt ist, wann er eingreift. Somit kann der Teamleiter ein Mangel an Eigenmotivation rechtzeitig erkennen und die notwendigen Schritte zur Verbesserung zu unternehmen.
- Erfolgreiche Teams zeigen, dass es passend ist, wenn die Teammitglieder den Job bekommen, das sie wollen. Unangemessene Arbeitsverteilung aufgrund vorheriger Erfahrung kann und spielt immer noch eine negative Rolle bei der Eigenmotivation für die Zusammenarbeit in einem Team. Erfolgreiche Teams verteilen die Aufgaben aufgrund personaler Exzellenz und somit liegt die allgemeine Verantwortung nicht nur auf einer Person. Kritische Aufgaben werden auf dieser Art und Weise auf dem Team verteilt und „langweilige“ Aufträge werden mit maximaler Effizienz mithilfe des ganzen Teams erledigt. Die Praxis zeigt, dass bei Nebenaufgaben, die keiner machen einzeln machen kann, eine Kombination zwischen Teammitglieder mit Erfahrung und Teammitglied mit Verlangen bessere Ergebnisse liefert, als wenn nur der Mitarbeiter mit Erfahrung die Aufgabe löst [4]. Informale Anpassung ist der empfohlene Weg. Somit werden Nichtübereinstimmungen am besten vermieden werden.

- Kontinuierliche Anpassung gemäß den Schwächen im Team. Schwachheiten sind am besten mit Selbstbewusstsein gekämpft und das gilt nicht nur für das Individuum. Das konstante Lernen und die regelmäßige Beobachtung ermöglichen die Erkennung von den existierenden Schwächen. Diese Aufgabe ist eine gemeinsame Verantwortung und liegt nicht immer beim Teamleiter. Die einzelne Teammitglieder sollen im besten Fall ihre Umgebung beobachten und rechtzeitige Meldungen geben, falls sie Unklarheiten oder Tendenzenmerken. Es ist eine Aufgabe vom Teamleiter die Vor- und Nachteile seines Mitarbeiter festzustellen und korrekte Anpassungen zu machen. Wie er die Information bekommt, hängt von der Mannschaft ab. Eine gute Rollenverteilung würde passende Rückmeldungen bezüglich der Qualität der Arbeit liefern und somit können passende Organisationsentscheidungen getroffen werden.

## VI. WICHTIGKEIT DES GUTEN TEAMLEITERS FÜR DIE EIGENMOTIVATION

Der effektive Teamleiter wird die Emotionen rechtzeitig erkennen und bei einer Abweichung wird er Maßnahmen treffen, so dass die Atmosphäre am Arbeitsplatz angenehm für alle Mitarbeiter bleiben kann. Wenn ein Mitarbeiter negativ auf eine Nachricht reagiert, bedeutet das, dass es irgendwo ungelöstes Problem existiert. Die rechtzeitige Lösung von solchen Problemen bringt Erfahrungen für die Zukunft, die eine positive Wirkung auf die Qualität haben sollen.

Der leistungsfähige Teamleiter kann nicht auf Gedanken lesen, kann aber die richtigen Fragen den Mitarbeitern stellen, so dass er die Situation besser verstehen kann. Eine stark emotionell hochgeladene Antwort bedeutet, dass der Mitarbeiter sich gefährdet fühlt und es ist wichtig für den Teamleiter solche Zustände zeitig zu erfassen. In so einer Situation kann ein informelles Gespräch dazu verhelfen, aufzuklären, was überhaupt passiert ist. Die Fakten unterstützen die konstruktive Kommunikation und lassen wenig Platz für Manipulationen und falsche Interpretationen. Erst wenn die Situation geklärt ist, soll erfragt werden, warum das Geschehene für den Mitarbeiter von Bedeutung ist: Wieso spielt das eine besondere Rolle bei ihm oder ihr? Was könnte passiert sein? Was für Folgen wären möglich?

Diese Fragen sollten es ermöglichen klarzumachen, ob das Problem Auswirkung auf den Arbeitsprozess hat oder nicht. Bei solchen Gesprächen könnten auch andere problemhafte Gegebenheiten entdeckt werden, die unbemerkt geblieben sind, die aber, wenn ungelöst bleiben, negative Auswirkung haben könnten. Zu guter Letzt können beide Seiten noch klären, was man aus dem Ganzen lernen kann. Mitarbeitergespräche dieser Art sind hilfreich, da der Mitarbeiter dadurch bessere Einsicht in die Problemlage ermöglicht, und da man dadurch den Umgang mit Problemsituationen einfacher werden kann [4].

## VII. ATMOSPHÄRE IM TEAM.

Die Atmosphäre in einem Team soll nicht defensiv und nicht dominant sein - d.h. die Ambitionen der einzelnen Teammitglieder sollen nicht nur ihre personellen Bedürfnisse erfüllen, sondern ein größeres Spektrum abdecken, wo die anderen Mitarbeiter auch mitbeteiligt sein können [4]. Somit könnte jeder verstehen, dass er sich auf die anderen verlassen kann und umgekehrt - je mehr man sich um die anderen kümmert, wird man dieselbe Unterstützung von den anderen auch bekommen. Dafür können die regulären Teammeetings hilfreich sein, da dort versteckte Probleme entdeckt und auch gelöst werden können, noch bevor diese eskaliert sind.

Im Endeffekt wird das Team davon profitieren, da unterschiedliche Gesichtspunkte unterschiedliche Erfahrungen mitbringen und jeder Teammitglied dadurch bereichert werden kann. Auf dieser Art und Weise werden Vertrauen und Loyalität entstehen und das wird die

Zusammenarbeit auf höherer Ebene bringen. Diese Atmosphäre wird mehr Raum für Kreativität und Annehmen vom Risiko zulassen. Offene Diskussionen über vorherige Situationen werden vor dem Team klar machen, was für Denkweise jeder Mitarbeiter hat und somit werden die anderen mehr aufmerksam, falls sie irgendwo ein Problem sehen, das vom Team nicht beobachtet wird.

### VIII. FAZIT.

Die Eigenmotivation ist einer der wichtigsten Faktoren für die persönliche Entwicklung, unabhängig vom Bereich. Die Sportler sollen sich gut kennen, um selber wissen zu können, warum sie ihre Zeit und Gesundheit investieren. Die Wissenschaftler finden den Grund für ihre Mühen in die Zukunft – ihr Einsatz heute wird die Welt von morgen ändern. Eigenmotivation zu finden ist eine persönliche Frage, die jeder für sich selbst beantworten soll. Der Fall, dass jemand kein Zweck für seinen Einsatz findet, ist leider heutzutage oft zu finden, da das klassische Ausbildungssystem selten Platz dafür lässt. Die persönliche Motivation bleibt als Verantwortung von den Studenten, die sich aber in den Händen von den Schulen und Universitäten lassen. Die Schwierigkeiten kommen

erst später, wenn die frischen Mitarbeiter erst beobachten, was sie während ihrer Ausbildung verpasst haben – dort wurden nur Kenntnisse im Raum geworfen und die Studenten versuchen möglichst viel davon zu bekommen, ohne den Hintergrund oder das grobe Bild anzuschauen. Sie sind selber nicht schuldig – die Welt funktioniert auf dieser Art und Weise. Die Unternehmen sollen aber mit diesem Nachteil nachträglich kämpfen, erst wenn die Mitarbeiter ab und zu schlechte Ergebnisse zeigen. Die Manager, die das rechtzeitig erkennen, wissen, dass das Problem mit der Eigenmotivation vor Ort gelöst werden soll und sie eine Entscheidung treffen sollen – neue Mitarbeiter zu suchen oder mithilfe von unterschiedlichen Methoden die jetzige Situation möglichst schmerzlos zu verbessern. Das Ziel von diesem Referat ist die Führungskräfte möglichst präzis mithilfe einer zusammengefassten Theorie zu unterstützen. Je mehr Teamleiter ihre Schwächen im Team erkennen können, desto mehr Spezialisten wird die Welt von morgen verfügen.

### REFERENCES

- [1] Leganes-Lavall, E. und Perez-Aldeguer, S. (2017) - Social Competence in Higher Education Questionnaire (CCSES): Revision and Psychometric Analysis.
- [2] Bonchev A. und Dr. Kantschev - Team-Zusammensetzung und Effektivität der Teamarbeit
- [3] Belbin, R. Meredith (2010) – Management teams – Why they succeed or fail? (Third edition)
- [4] Gardenswartz L., Jorge Cherbosque, Anita Rowe (2008) - Emotional intelligence for managing results in a diverse world.

# Novelty Framework Design for Student Feedback Analyses Using SaaS and AI

Milena Krumova

FDIBA, Technical University of Sofia

Sofia, Bulgaria, e-mail: mkrumova@tu-sofia.bg

**Abstract** — Among the many trends in current teaching and learning, approaches, the ones with a higher priority are feedback analysis methods and tools used for a deeper and more accurate understanding of students' opinions about the learning journey they are involved. This research aims to propose a Novelty Framework for Student Feedback Analyses. The research is structured as follows: i) Overview of the feedback analyses and KPIs. ii) Identification of SaaS and AI tools for analyzing the students' feedback. iii) Development of a Framework for Student Feedback Analyses Using SaaS and AI. In conclusion, the next research steps in the implementation of the analyses into the real learning process in 2022/2023 school year are presented.

**Zusammenfassung** — Unter den vielen Trends in aktuellen Lehr- und Lernansätzen haben Feedback-Analysemethoden und -instrumente eine höhere Priorität, die für ein tieferes und genaueres Verständnis der Meinungen der Schüler über die Lernreise, an der sie beteiligt sind, verwendet werden. Diese Forschung zielt darauf ab, einen neuartigen Rahmen für studentische Feedback-Analysen vorzuschlagen. Die Recherche ist wie folgt aufgebaut: i) Überblick über die Feedback-Analysen und KPIs. ii) Identifizierung von SaaS- und KPI-Tools zur Analyse des Feedbacks der Studierenden. iii) Entwicklung eines Frameworks für studentische Feedbackanalysen unter Verwendung von SaaS und KI. Abschließend werden die nächsten Forschungsschritte bei der Umsetzung der Analysen in den realen Lernprozess im Schuljahr 2022/2023 vorgestellt.

## I. INTRODUCTION

Digitalization during the last years and the COVID pandemic opened more opportunities for educators to use digital tools in different settings and scenarios. The online environment for learning (formal and non-formal) become a source of innovations for educational institutions, which were ready enough and digitalized their activities to an advanced level. Currently, the trends on a global scale show that more light is given to the learning process and assessment in the digital online environment, where the process occurs within and outside the LMS of the educational institution, and along with such processes, the students' feedback analyses and assessment are aligned.

The purpose for analyzing the learners' opinions depends on the analyse's objectives. Researchers have put attention to different aspects. For example, the reason can be to improve student knowledge/competency [1], to identify which approach for feedback analyses is better, written feedback than is the case with recorded spoken feedback [2], to understand how teachers and students in English as a foreign language writing classes were influenced by teacher electronic feedback offered synchronously via online class discussion [3], to analyses the acceptance of M-Learning as a useful tool that facilitates the learning activities among the students more quickly [4], etc.

This research aims to propose a Novelty Framework for Student Feedback Analyses using Software as a Service (SaaS) and Artificial Intelligence (AI) for a deeper and more accurate understanding of students' opinions about the learning journey they are involved. The research is based on a literature review and expert interview methods. The research question this study tries to answer is "*What is the role of SaaS and AI for better understanding the students' voice?*"

## II. OVERVIEW OF THE FEEDBACK ANALYSES AND KPIs

Feedback represents learners' positive experiences, frustrations, and "pain" points. Feedback is a key element of the incremental process of ongoing learning and assessment.

Effective feedback assists the learner to reflect on their learning and their learning strategies, so they can make adjustments to make better progress in their learning. Usually, students' learning feedback analyses are a structural process. It can be conducted once, twice, or more times during the school year [5, 6]. In some scenarios, it can happen accidentally and without a planned schedule. Educational organisations worldwide apply feedback analyses depending on their strategies and educational vision. Some best practices from Germany, USA, and Australia show that among them there are some common but also different approaches.

### A. Germany – FOM University of Applied Sciences for Economics and Management

FOM University of Applied Sciences for Economics and Management is Germany's largest private university. Students acquire sound theoretical expertise that they can apply directly to business practice [7]. FOM develop a comprehensive quality management system (QMS). FOM strives to continually improve performance in teaching, research, development, student supervision and organisation. Each semester, students are asked to evaluate each course they have. On a scale from 1 to 6 (*1 being very good to 6 being very poor*) they are asked to anonymously grade in the following KPIs:

- knowledge transfer;
- documents provided (e.g. possible scripts or presentations);
- professional competence of the lecturer;
- his/her commitment and his/her support.

The lecturers can access the results via Online Campus and gets his grading in relation to the last semester and to an average of all lecturers at FOM in the semester<sup>1</sup>.

### B. USA - Harvard Extension School

Harvard Extension School (HES) is the extension school of Harvard University in Cambridge, Massachusetts.

<sup>1</sup> Expert interview conducted in 2022/2023 school year

At the end of the semester, Harvard students are asked to grade the teaching course on a 5-point scale [8]. The feedback analyse shows that there is a strong relationship between the teaching models and how the students rate the lecturers' teaching [9]. Another example is a survey, conducted by HES in 2021, to assess student satisfaction with the online learning experience [10]. The Priorities Survey for Online Learners (PSOL) provides insights into institutional strengths and challenges in five key areas – KPIs areas (Fig.1).

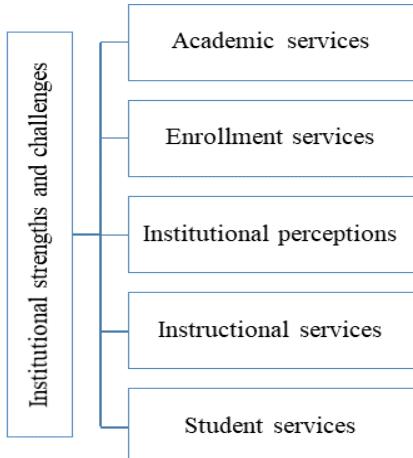


Fig. 1 HES - Priorities Survey for Online Learners

The main goal of the survey was to illuminate how HES student satisfaction compares to benchmarks of peer institutions. The PSOL was sent to 9,170 HES students. Of that number, 2,073 students completed the survey, which resulted in a 23% response rate.

#### C. Australia - Macquarie University, Sydney

Macquarie University is a public research university based in Sydney, Australia. In 2020 the total number of students counts to 44,832. Macquarie University is one of the best practices in e-Examinations. A research regarding e-Examinations underlines the importance of analyzing the students' "voice". A study is conducted in an Australian university in 2019 measures the suitability of the assessment task to computerisation, ease of use of the e-examination (e-exam) software, technical reliability, and the perceived security of the approach [11, 12].

A part of the questions included in a conducted feedback analyses<sup>2</sup> are grouped and summarized as follows:

##### *Access to:*

- ✓ a suitable space to do online exams.
- ✓ a suitable computer to do online exams.
- ✓ a suitable internet connection to do online exams.

##### *The instructions provided to:*

- ✓ get set up for Zoom online invigilation were clear
- ✓ supervisor staff did a good job of invigilating the exam.
- ✓ the methods used to conduct the online exam are robust against technical failure.

##### *The steps to:*

- ✓ get started were easy to follow.
- ✓ iLearn worked well for online exams.

##### *Ability of the students to:*

- ✓ login and get exam started in a timely manner.
- ✓ easily scan and upload my handwritten responses to iLearn<sup>3</sup>.

- ✓ focus on the exam during the session
- ✓ using Zoom for invigilation worked smoothly with computer

##### *The student "voice":*

- ✓ the student feels prepared to undertake an online Zoom invigilated exam.
- ✓ The student would recommend this method of doing online exams to others.

The feedback analyses KPIs are related to infrastructure, methodology of the analyses and how the questions are delivered, the ability of the students to interact, as well as how the students feel and if they would recommend this exam to others. The indicators used for recommendation are among the most efficient KPIs. Such an example is the Net Promoter Score (NPS) which has a huge impact on the long-term vision and strategy development of the educational institution. This is proven by much research, such as "93% of customers read online reviews before buying a product." [13].

### III. LMS FOR CONDUCTING FEEDBACK ANALYSES

The research in the field of analyzing the learning journey - experiences and opportunities are diverse. They are developing at a higher pace due to the development of the Learning Management Systems, which is one of the sources for gathering the respondents' data.

Since the invention of the Learning Management Systems (LMS) much has been done, due to the fact of learners' data's useful uses. The first LMS is developed in 1924 as the first "learning machine". It has been looked like a typewriter with a window that can administer questions. One window was used to display the question and the other to fill in the answer [14]. The LMS continued to develop:

- Problem cylinder (1929);
- Adaptive teaching system (1956);
- Desktop (1970);
- TCP/IP (1982);

But since then, currently, there are more than a thousand LMS used worldwide. For example, Capterra platform includes 1172 LMS [15]. This comes to show that the educational organization has many possibilities to improve the efficiency in the learning process design, development, and improvement, but also to analyses all characteristics of the learning journey including the feedback analyses by the student. A study shows that there will be an exponential rise in distance and blended courses offered worldwide. For example, in Germany, the predictions for the LMS market up to 2028 have a sustainable rise (Fig.2) [16].

Germany LMS Market, By Delivery Mode, 2018 - 2028  
(USD Million)

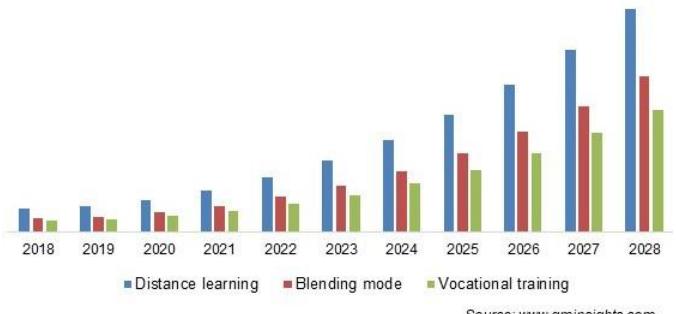


Fig. 2 Germany LMS Market 2018-2028

<sup>2</sup> Macquarie University – expert interview and talk conducted in 2022 year

<sup>3</sup> iLearn – LMS (<https://ilearn.mq.edu.au/login/index.php>)

Among the best examples of LMS having the functionality for feedback analyses is ILIAS (Fig. 3). ILIAS is an Open Source LMS. ILIAS possesses three main working areas: Personal Desktop, Repository, and Administration - depending on the role that is assigned to the user, he/she has access to different functionalities [17].

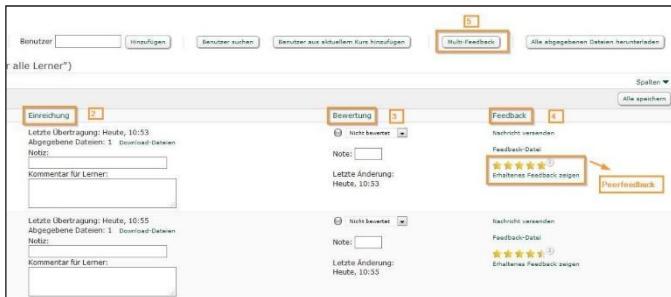


Fig. 3 ILIAS LMS – Multi-Feedback

Feedback analyses can be conducted not only using LMS, but also using external SaaS vendors and AI tools.

#### IV. SAAS AND AI TOOLS FOR ANALYZING THE STUDENTS' FEEDBACK

**Software as a Service (SaaS)** is a way of delivering applications over the Internet - as a service. Instead of installing and maintaining software, the users simply access it via the Internet, freeing from complex software and hardware management [18]. During the last several years, the SaaS vendors' growth gave to educational organisations many more opportunities for innovations within each educational domain. One of the very big advantages for educators was the use of many SaaS and AI tools for free or at a very low cost, along with advanced analytical functionalities. The benefit of SaaS is not only a result of the technology itself and the data analyses and visualisations, but also of the methodologies offered to the users. Some SaaS examples for feedback analyses are:

- Catalytics (<https://www.catalytics.com/>) - used by Harvard University
- Polleverywhere (<https://www.polleverywhere.com/>) - used by Harvard University
- Survey Planet (<https://surveyplanet.com/>) help the educators in four groups of feedback analyses:
  - ✓ Students surveys
  - ✓ Teacher surveys
  - ✓ Academic surveys
  - ✓ Dissertation surveys
- Qualtrics analytics (<https://www.qualtrics.com/>) - used by Cornell University, Mesa Public Schools, Western Sydney University. Advantage of Qualtrics is the course evaluation program by integrating with institutional systems for a seamless experience. It allows automatically creation of reminders for students who haven't filled out their course evaluations, integration with internal learning management and student information systems for a seamless student experience, view real-time course evaluation data via a role-based dashboard. It includes methodologies in the following groups:
  - ✓ Education Surveys and Academic Research
  - ✓ Student Satisfaction Survey
  - ✓ Course Evaluation Software

**Artificial Intelligence (AI)** tools can bring deeper understanding about what the students are saying and

"students' voice mining". For an open ended questions, the following tools can be applied:

- Neticle is AI tool – It allows to be performed analysis to find out any text's meaning (<https://neticle.com/textanalysisapi/en/analysis-method>). Neticle possess functionality for emotion recognition. 8 emotions are recognised automatically: fear, sadness, disgust, joy, astonishment, anger, pleasure, and longing.
- Monkeylearn is AI tool, which allows building text classifiers for detecting topic, sentiment, intent and urgency (<https://monkeylearn.com/>). The tool's features includes:
  - ✓ Net Promoter Score (NPS) Analyses - Understand the experience of your customers by analyzing open-ended NPS feedback.
  - ✓ Review analyses - reviews are an integral source of customer feedback.
  - ✓ CSAT or customer satisfaction score is a metric which represents how satisfied or dissatisfied the customers are with the products, services, and in their interactions with representatives from the organisation.
  - ✓ Sentiment analysis – it is the process of detecting positive or negative sentiment in text.
- Wordclouds (<https://www.wordclouds.com/>) is AI tool allows to be identifies the most important and reasonable words in a given text collected as a open ended questions

#### V. NOVELTY FRAMEWORK DESIGN FOR STUDENT FEEDBACK ANALYSES

Digital learners are a generation of connected and social learners that actively uses technology for a more effective learning process. They prefer interactions with knowledge content in a diversity of digital ways. The current research showed that the domains of the feedback analyses are not only the knowledge content, the infrastructure, and the academic services, but also the teaching competencies and peers' feedback. A GAP that was identified is the need for feedback assessment of non-formal learning and how it impacts the formal learning process.

Based on the analysed literature and expert interview, the following concept model (Fig.4) is proposed. It is designed based on five dimensions for feedback learning process analyses. The five dimensions for analyzing the learners' "voice" include:

- Infrastructure;
- Peers and communications;
- Teaching – teachers' performance and knowledge content;
- Learning outcome assessment;
- Non-formal learning.

Each dimension includes KPIs. In order to be identified more correlations and to gain deeper insight into the students' "voice," specific SaaS and AI tools are going to be used.

The process is going to starts with gathering data, based on the designed learning analysis methodology and KPIs, implementation of analysis tools, and identification of the trends and results (Fig. 5).

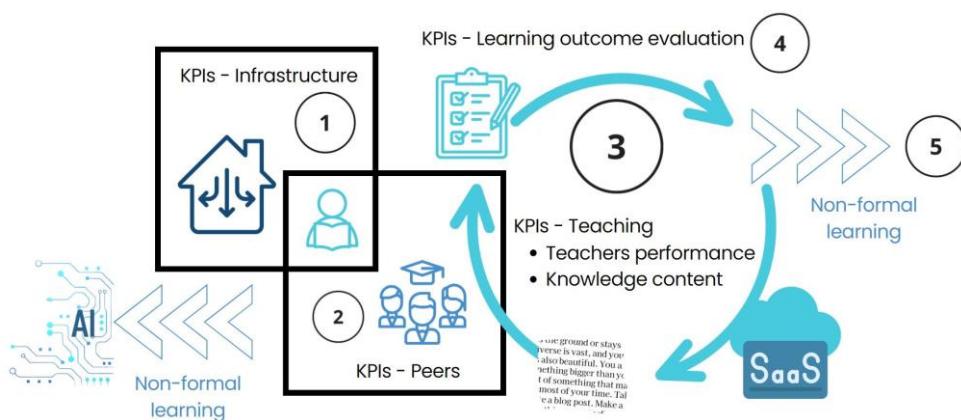


Fig. 4 Learning Feedback Analysis - Conceptual Framework

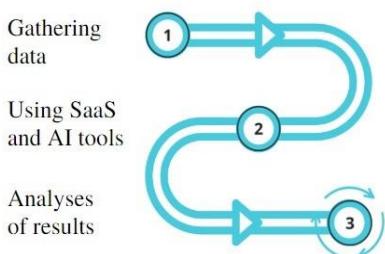


Fig. 5 Feedback analyses – process

Student feedback analyses have to be an integral part of the education system and the learning process. Feedback analysis has to be planned according to the learning journey and to be conducted at least twice a year, having an optimal number of KPIs.

## VI. CONCLUSION

The advantages of feedback analyses are many. The answer to the research question of this study, regarding the role of SaaS and AI for better understanding the students' "voice" has no doubt. SaaS and AI can broaden the analyses perspective and gives new insight into the understanding of the learners' feedback. One of the domains having huge importance for the analyses, which was not met in the reviewed literature and sources, is the impact of non-formal learning engagement in the learning process. That is why, the contribution of this research is to propose a novelty five-dimensional framework including non-formal learning, which framework integrates SaaS and AI, in order to be reached a higher level of learners' path discovery. The 5-dimensions framework with a detailed explanation of the KPIs is going to be implemented in the 2022/2023 and 2023/2024 school years. The objective of the research is to be identified trends of correlations into the student's "voice", which is an excellent source for improvement of the learning process in the short and long term period. Recommendations for improvements and priority learning process areas for activities will be defined.

## REFERENCES

- [1] Nelson, N.R.; Carlson, R.B.; Corbett, A.H.; Williams, D.M.; Rhoney, D.H. Feedback for Learning in Pharmacy Education: A Scoping Review. *Pharmacy* 2021, 9, 91. Available from: [https://www.researchgate.net/publication/351252493\\_Feedback\\_for\\_Learning\\_in\\_Pharmacy\\_Education\\_A\\_Scoping\\_Review](https://www.researchgate.net/publication/351252493_Feedback_for_Learning_in_Pharmacy_Education_A_Scoping_Review). <https://doi.org/10.3390/pharmacy9020091>
- [2] D. Megarvey and K. Haxton, Using audio for Feedback on assessments: tutor and student experiences, Article in New Directions in the Teaching of Physical Sciences, Issue 7, July 2011. DOI: 10.11112/ndir.2011.00070005.
- [3] S. Nasser Alshumaimeri and R. Alqarni, Teacher and Student Perceptions of CALL Feedback: Synchronous and Asynchronous Teacher Electronic Feedback in EFL-Writing at King Saud University, English Language Teaching, Published by Canadian Center of Science and Education, Online ISSN: 1916-4750, Nov. 2022, [https://www.researchgate.net/publication/365876847\\_Teacher\\_and\\_Student\\_Perceptions\\_of\\_CALL\\_Feedback\\_Synchronous\\_and\\_Asynchronous\\_Teacher\\_Electronic\\_Feedback\\_in\\_EFL-Writing\\_at\\_King\\_Saud\\_University](https://www.researchgate.net/publication/365876847_Teacher_and_Student_Perceptions_of_CALL_Feedback_Synchronous_and_Asynchronous_Teacher_Electronic_Feedback_in_EFL-Writing_at_King_Saud_University)
- [4] K. Hussein Hemida and M. Rana, Exploring the M-learning as a feedback tool in Higher Education, Conference: 4th International Conference On Education and Social Sciences: Istanbul, Turkey, 2017. [https://www.researchgate.net/publication/313838040\\_Exploring\\_the\\_M-learning\\_as\\_a\\_feedback\\_tool\\_in\\_Higher\\_Education](https://www.researchgate.net/publication/313838040_Exploring_the_M-learning_as_a_feedback_tool_in_Higher_Education)
- [5] Getting Feedback, The Derek Bok Center for Teaching and Learning, <https://bokcenter.harvard.edu/getting-feedback>
- [6] Jeffs, C., & Piera, Y. "Focus on formative feedback for teaching development: A guide." Taylor Institute for Teaching and Learning Guide Series, No. 3. Calgary, AB: Taylor Institute for Teaching and Learning at the University of Calgary, July 2016. [https://taylorinstitute.ucalgary.ca/sites/default/files/2019-02/Formative\\_Feedback\\_Guide\\_Aug\\_30\\_2016\\_0.pdf](https://taylorinstitute.ucalgary.ca/sites/default/files/2019-02/Formative_Feedback_Guide_Aug_30_2016_0.pdf)
- [7] Quality Management at FOM University of Applied Sciences, <https://www.fom.de/die-fom-englisch/quality-at-the-fom.html>
- [8] E. Mazur, Peer Instruction for Active Learning, Serious Science, 2014, <https://www.youtube.com/watch?v=z9orbxoRofI>
- [9] E. Mazur, Reflections: The scientific approach to teaching, Eric Mazur (ALT-C 2012), Keynote, ALT-C 2012, 11 September 2012, Manchester, UK. <https://mattcornock.co.uk/technology-enhanced-learning/alt-c-2012-scientific-approach-to-teaching-eric-mazur/>
- [10] Report: Results of 2021 Student Satisfaction Survey, Harvard Extension School, <https://extension.harvard.edu/news/student-satisfaction-survey/>
- [11] M. Hillier, Proceedings of the International Mobile Learning Festival 2015: Mobile Learning, MOOCs and 21st Century learning, May 22-23, 2014, Hong Kong SAR China, [http://transformingexams.com/files/Hillier\\_IMLF2015\\_full\\_paper\\_formating\\_fixed.pdf](http://transformingexams.com/files/Hillier_IMLF2015_full_paper_formating_fixed.pdf)
- [12] Hillier, M., Kumar, N., Wijenayake, N. (2020). e-Examinations: The Impact of Technology Problems on Student Experience. In: Brinda, T., Passey, D., Keane, T. (eds) Empowering Teaching for Digital Equity and Agency. OCCE 2020. IFIP Advances in Information and Communication Technology, vol 595. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-030-59847-1\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-030-59847-1_4)
- [13] Qualtrics, <https://www.qualtrics.com/blog/online-review-stats/>
- [14] History of Learning Management Systems (LMS), <https://www.eazy-lms.com/>
- [15] LMS Software, <https://www.capterra.com/learning-management-system-software/>
- [16] Learning Management System Market, <https://www.gminsights.com/industry-analysis/learning-management-system-lms-market>
- [17] ILIAS LMS, <https://en.online-learning.bg/ilias-lms>
- [18] What is SaaS? Salesforce, <https://www.salesforce.com/in/saas/>

# Developing creativity in math class through the use of digital learning tools

## Entwicklung von Kreativität im Mathematikunterricht mittels digitaler Werkzeuge

Viktoria Simidova

Technical University of Sofia

Sofia, Bulgaria, e-mail: viktoria.simidova@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** — The place of creativity in mathematics and the role of divergent thinking in traditional mathematics education can be described as controversial. The development of creative thinking and action in problem solving through the use of digital tools is explored in the following article. The aim of this work is to discuss the question of the effect of digital technologies on the entire learning process and on the student's creative approach to mathematical education. Firstly, an overview of creativity, the different thinking styles and creativity methods is given. Furthermore, the article focuses on the process of creativity and the learning process. In the second part is presented a comparative analysis of expert opinions on the topic „The role of creativity in mathematics and mathematics teaching“. The last chapter focuses on digitalization: the visualization and some mathematical learning tools.

**Zusammenfassung** — Das Thema über die Position der Kreativität in der Mathematik und die Rolle des divergenten Denkens im Rahmen des traditionellen Mathematikunterrichts kann als kontrovers bezeichnet werden. Die Entwicklung des schöpferischen Denkens und Handelns bei dem Problemlösen mithilfe digitaler Werkzeuge wird in dem folgenden Artikel untersucht. Das Ziel dieser Arbeit ist die Frage über die Wirkung der digitalen Technologien auf den gesamten Lernprozess sowie auf die kreative Auseinandersetzung der Studierenden mit mathematischen Lerninhalten zu diskutieren. Zunächst wird ein Überblick über die Kreativität, die verschiedenen Denkstile und die Kreativitätsmethoden gegeben. Weiterhin konzentriert sich der Artikel auf den Kreativitäts- und den Lernprozess. Im zweiten Teil wird eine vergleichende Analyse von Expertenmeinungen zum Thema „Die Rolle der Kreativität in der Mathematik und im Mathematikunterricht“ dargestellt. Im Fokus des letzten Kapitels steht die Digitalisierung: die Visualisierung und die mathematischen Werkzeuge.

### I. EINFÜHRUNG

Die Mehrheit der Studierenden hat Angst vor Mathematik, weil sie das Fach als komplex und zu arbeitsintensiv empfindet. Im Laufe des Studiums verliert sie die Motivation fürs Lernen. Das ist nicht nur auf den Lerndruck und den Zeitmangel während des Semesters zurückzuführen, sondern auch auf ihre Unfähigkeit, Probleme auf eine andere, unkonventionelle Weise zu lösen. Mittels der Förderung einer neuen und individuellen Auseinandersetzung mit dem Lernstoff durch den Einsatz digitaler Technologien, können die Studierenden ein Gespür für das Fach sowie ihre technischen Kompetenzen und kognitiven Eigenschaften entwickeln. Diese moderne Arbeitsweise schafft die Möglichkeit, kreativ zu sein und sogar Spaß im Matheunterricht zu haben.

Die COVID-Pandemie hat den Prozess von der Digitalisierung der Lehrveranstaltungen beschleunigt und den Einsatz von modernen Lerntechniken stimuliert. Das enorme Potenzial der Technologie findet schrittweise Anwendung in dem traditionellen Lernprozess. Der Einsatz von digitalen Medien stößt auf viele Schwierigkeiten, aber erstellt zahlreiche Möglichkeiten für einen besseren Unterricht.

### II. KREATIVITÄT UND PROBLEMBEWUSSTSEIN ENTWICKELN

#### A. Kreativität: Definition, Arten, Bedingungen

Mit dem Begriff Kreativität (lat. *creare*) bezeichnet man die Fähigkeit, etwas zu erschaffen, etwas Neues, Nützliches zu schöpfen, zu erfinden, herzustellen. Es existieren unterschiedliche Ansätze wie sie entsteht. Sie bezeichnet die menschliche Eigenschaft, gestalterisch zu denken und zu handeln. Man kann zwischen zwei Arten von Kreativität unterscheiden: im alltäglichen (creativity) und im außergewöhnlichen Sinne (Creativity). Die letzte betrifft die schöpferische Fähigkeit auf der Ebene der Genies, während die erste sich bei vielen Tätigkeiten im Alltag zu betrachten ist. [1]

Nach dem utilitaristischen Ansatz wird die Kreativität als ein Mittel zum Zweck wahrgenommen. Ullmann kommentiert es folgendermaßen: „Übereinstimmend wird festgestellt, das kreative Produkt müsse „neu“ sein, aber diesem notwendigen Kriterium „neu“ muss ein hinreichendes Kriterium hinzugefügt werden: Das kreative Produkt muss auch nützlich, befriedigend, wertvoll bzw. angemessen sein.“. (Ullmann 1973, S. 14)

Die Bedingungen für Kreativität werden in der amerikanischen Kreativitätsforschung nach den vier Ps eingeteilt: Person (Person), Prozess (Process), Produkt (Product) und Umwelt (Press).

## B. Denkstile

Im kreativen Prozess werden das divergente und das konvergente Denken eingesetzt. Man spricht von dem divergenten Denken, wenn originelle (oder optimierte alte) Ideen und Lösungen generiert werden. Das konvergente (reproduktive) Denken bedeutet genau zu analysieren, indem man vorhandenes Wissen nutzt und Aufgaben systematisch und logisch löst. Es wird bei der Lösung von mathematischen und betriebswirtschaftlichen Aufgaben verwendet. [2]

## C. Kreativitätstechniken und Kreativitätsprozess

Trotz der kontroversen Diskussionen in der Kreativitätsforschung in Bezug auf die Rolle der beiden komplementären Denkstile für die Förderung der schöpferischen Fähigkeit, muss man an dieser Stelle betonen, dass sie die Grundlage für viele Kreativitätstechniken und Kreativitätsprozessmodelle sind. Formalisierte Kreativitätstechniken sind das Brainstorming, der Perspektivenwechsel, die grundlegenden Visualisierungsmethoden, Methoden der Bildtechnik, Methoden für Erkennung der Problemfelder. Sie stellen die Schritte zur Ideensuche und zu der Entwicklung der Lösung dar und erleichtern die Problemanalyse.

Der Kreativitätsprozess besitzt die folgende Unterteilung: Problemidentifikation (Erkennen von Problemen), Vorbereitungsphase (Sammlung von die nützlichen Informationen), Generierungsphase (Entwicklung von möglichen Lösungen) und Beurteilungsphase (Analyse der Ergebnisse). In jeder Phase können verschiedene Kreativitätstechniken eingesetzt werden. [3]

## D. Lernprozess und Kreativität

Um die Position der Kreativität im Lernprozess hervorzuheben, befasst sich das folgende Kapitel mit der Pyramide des Lernens nach der Taxonomie kognitiver Lernziele nach Bloom. Auf ihrer Spitze steht das Erschaffen, indem man neue und originelle Werke erstellt. Die letzte Stufe des Lernprozesses kann nur dann erreicht werden, wenn man die vorigen aufeinander aufbauender Stufen bzw. die Grundlagen gemeistert hat. Der Lernende sollte über bestimmte Kenntnissen verfügen, um kreativ zu schaffen. Damit man eine Information in unbekannten Aufgaben anwenden kann, sollte man zuerst Fakten, Methoden und Theorien wissen und die Zusammenhängen dazwischen verstehen. Das Verständnis der Bedeutung eines Konzeptes ermöglicht seine Transformation, Interpretation und Erkennung in konkreten Situationen. Eine besondere Rolle spielt die Analysefähigkeit. Das Wesentliche aus der Problemstellung in kurzer Zeit herauszustellen und präzis zu formulieren, dient als eine hochwertige Kompetenz. Erst nach dem Analysieren kommt die kreative Kombination von der gelernten Information, die noch als Synthese bezeichnet wird. Zu synthetisieren bedeutet etwas Einzigartiges herzustellen, eine Folge abstrakter Beziehungen abzuleiten. Als passendes Beispiel im mathematischen Sinne gilt die Fähigkeit, Entdeckungen und Verallgemeinerungen aufgrund vorhandener Datenbestände zu machen sowie angesichts neuer Faktoren bestimmte Hypothesen zu modifizieren. [4]

## III. VERGLEICHENDE ANALYSE VON EXPERTENMEINUNGEN ZUM THEMA „DIE ROLLE DER KREATIVITÄT IN DER MATHEMATIK UND IM MATHEUNTERRICHT“

### A. Mathematik

Die Mathematik (altgr. *μαθηματική τέχνη*, “die Kunst des Lernens”) ist eine der ältesten Wissenschaften. Die Frage über

ihre Kategorisierung ist kontrovers: sie gilt weder als Natur-, noch als Geisteswissenschaft. Gemeinsam mit der Informatik zählt sie sich zu den Formalwissenschaften. Kennzeichnend für die Mathematik ist die Orientierung an der Aufgabenstellung des “rein logischen Beweisens”. [5]

### B. These von J. P. Guilford

Joy Paul Guilford (1897 – 1987) ist ein amerikanischer Psychologe, der den Grundstein für die moderne Kreativitätsforschung legte. Die Gruppe von dem Intelligenzforscher vertritt in ihre Arbeit die folgende These: das konvergente Denken, welches als Grundlage von der Mathematik beschrieben wird, ist das Gegenteil von der Kreativität. Diese Behauptung lässt sich dadurch begründen, dass es nichts Neues und Außergewöhnliches dabei erfunden wird. Die Tatsache, dass es zielgerichtet nur auf genau eine Lösung logisch zusteht, bekräftigt seine These. Im Gegensatz dazu gilt das divergente Denken als eines der bedeutendsten Kriterien für die Erzeugung von unkonventionellen Lösungsverfahren. Das hat zur Folge, dass es als Synonym für Kreativität verwendet wird. [2]

Konvergentes Denken	Divergentes Denken
Genaue Lösung	Mehrere Lösungsmöglichkeiten
Klares Problem	Unklare Problemstellung

Die folgende Tabelle veranschaulicht die Behauptung des Forschers.

### C. These von A. S. Steinweg und T. Weth

Prof. Dr. Anna Susanne Steinweg und Prof. Dr. Thomas Weth stellen die Gegenthese auf, dass die Kreativität durch einen prozess- oder produktorientierten Ansatz in den Unterricht integriert werden kann.

Laut T. Weth lässt sich die Kreativität im Lernprozess als etwas Erlernbares und Praktizierbares bezeichnen. Der produktorientierte Ansatz bezieht sich auf ein kreatives Produkt oder eine originelle Idee. Im Rahmen des Matheunterrichts gilt ein Produkt als kreativ, wenn es rein mathematisch bewiesen ist, aber für die Lernenden subjektiv neu oder unerforscht ist. Die Idee oder das Problem dienen als Ausgangspunkt zum Lösen eines Problems. Der Autor führt als Beispiel die Manipulationen bekannter Definitionen in Form einer Spezialisierung oder einer Modifikation an.

Aus diesem Ausgangspunkt kann der kreative Prozess anfangen, bei dem zuerst die Idee dokumentiert wird, damit später angesichts des Problems versucht wird, einen Bezug zu Bekannten herzustellen. Dieser Prozess leistet einen Beitrag zum kreativen Handeln im Matheunterricht. (vgl. Weth 1999) und (vgl. Weth 2001).

Für Steinweg und Klein ist die Dynamik der Mathematik dann kreativ, wenn sie von der Suche nach Mustern und Strukturen geprägt ist. Die Kreativität im Matheunterricht ist möglich, aber nur wenn die Studierenden sich in einer individuellen Weise mit dem Problem auseinandersetzen und eigene Lösungen entwickeln. Der Vorschlag der Autorin betrifft die Anwendung von Zahlenmauern, in denen nur der Zielstein vorgegeben ist. (vgl. Steinweg/Klein 2001) [6]

#### D. These von C. Hesse

Prof. Dr. Christian Hesse behauptet, dass erst nach der Beherrschung von den grundsätzlichen Konzepten und Sätzen der freie und kreative Umgang mit dem Lernstoff möglich ist.

...“*Mathematik ist extrem kreativ. Sie hat weit weniger mit Rechnen zu tun, als oft gedacht, dafür viel mehr mit Ideen, die langes Herumrechnen größtenteils überflüssig machen.*” [7]

Die Formalwissenschaften untersuchen mittels der Logik selbstgeschaffene Konstrukte auf ihre Eigenschaften. Prof. Hesse beschreibt die Konstrukte als Gedankengebäude. Der Prozess von Gewinnung von Erkenntnissen durch den mathematischen Beweis basiert auf der Entwicklung neuer Wahrheiten mittels der Verwendung logischer Schlussfolgerungen aus den Axiomen. Der Mathematiker kommt zu dem Schluss, dass um die Komplexität dieser Wissenschaft zu verstehen, soll man über die notwendige Kompetenz verfügen. Nach seiner Expertenmeinung ist der Nachholbedarf von großer Bedeutung für den Lehrprozess. Er begründet das damit, dass der Matheunterricht an den Schulen und Universitäten nicht richtig organisiert ist. [5], [7]

#### • Problembewusstsein entwickeln

Laut dem Zitat von dem Professor für Kultursoziologie an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg:

...“*Kreativität ist gleichbedeutend mit problemorientierten Handeln.*” (Bröckling 2007: S. 162)

Das Ziel der traditionellen Lehrveranstaltungen betrifft nicht das Thema über die Stimulierung der mathematischen Kreativität. Daraus folgt, dass die Studenten Beweisen auswendig lernen und sich oberflächlich mit dem Lernstoff beschäftigen. Wegen des Zeitbedarfs ist die mathematische Triade Rechnen-Theoriebildung-Problemlösen nicht erfüllt. Viele Mathematiker erkennen die Ursache für den Mangel an Kreativität auf Seite der Studenten in das unentwickelte Problembewusstsein. Sie lehren am meistens Theorien, aus denen Problemstellungen als Beispiele für die Anwendung der mathematischen Konzepte gegeben werden. Diese Fähigkeit kann durch die Umkehrung des Prozesses gefördert werden. Anstatt der klassischen Herangehensweise, würde es besser, falls das Problem zuerst gestellt wird und dann auf Basis der gesammelten Erkenntnisse die möglichen Lösungswege generiert werden. Die intellektuelle Anstrengung und aktive Beschäftigung mit dem Problem steigern die Neugier und haben eine positive Wirkung auf den gesamten Lernprozess, sowie erstellen die Möglichkeit mathematisch kreativ zu sein. [8]

### IV. KREATIVITÄT IM MATHEMATIKUNTERRICHT DURCH DIE VERWENDUNG VON TECHNOLOGIEN

#### A. Digitalisierung des Lernprozesses

Laut der Definition von UNESCO über die Kreativität:

...“*Heutzutage ist anerkannt, dass Kreativität eine „universelle Funktion“ ist, die in jedem Menschen schlummert, dann ist es Aufgabe der Bildung, diese Funktion in Gang zu setzen.*”

Angesichts der Analyse der Ergebnisse aus dem Vergleich von den Expertenmeinungen kann ich das Fazit ziehen, dass

die Kreativität im Matheunterricht vollständig gefördert bzw. entwickelt werden kann. Durch die Digitalisierung kann das volle Potenzial des Studierenden ausgeschöpft werden. Dabei handelt es sich um die ganzheitliche Bildung (engl. *holistic education*), die ausgehend von der Reformpädagogik das Lernen mit allen Sinnen, Lernen mit Verstand, Gemüt und Körper ist. Die Ganzheitlichkeit orientiert sich am individuellen Lernprozess und an der Persönlichkeit des Lernenden. [9]

Das digitale Lernen wird noch als ganzheitliches Lernen bezeichnet. Es trägt zur Transformation der Lehrveranstaltungen und Veränderung des gesamten Lernprozesses bei. Das Ziel der Ausbildung sollte nicht mehr an den maximalen Wissenserwerb gerichtet werden. Es sollte sich auf die Vorbereitung der jungen Menschen auf das Leben von morgen konzentrieren, d. h. die Entwicklung von den Kompetenzen in Bezug auf den Erwerb, die Nutzung und die Präsentation von Wissensinhalten fördern. Ein Vorteil dieses Lernformats ist die persönliche Gestaltung des Lernensmithilfe des Feedbacks der Lehrer.

In der heutigen Arbeitswelt werden Fähigkeiten vom Einzelnen verlangt, die in vier Dimensionen eingeteilt werden können. Zuerst soll man über relevante Wissensinhalte verfügen. Die zweite Dimension beschäftigt sich mit den notwendigen für den Umgang mit Information Kompetenzen: Kreativität, kritisches Denken, Kommunikation und Kollaboration. Diese Kompetenzen ermöglichen die Integration digitaler Medien in dem Unterricht. Eine weitere Dimension hebt die Bedeutung der Charaktereigenschaften wie Toleranz und Flexibilität hervor. Der letzte Typ von Fähigkeiten stellt das Vermögen vor, sich kritisch und selbstreflexiv mit dem eigenen Handeln auseinanderzusetzen. [10], [11]

#### B. Visualisierung

Der Mensch ist ein visuelles Lebewesen, das Muster erkennen, analysieren und verarbeiten kann. Der Begriff “Visualisierung” kann den Vorgang des Visualisierens bezeichnen - “Visualisierung als Prozess” sowie die Ergebnisse dieses Prozesses - “Visualisierung als Produkt”. Die Visualisierung hat viele Formen: Bilder, Skizzen, Zeichnungen, Diagramme, die im Kopf, auf Papier oder auf einem Computer angezeigt werden.

Im Rahmen des Unterrichts bezeichnet der flexible und dynamische Umgang mit ikonischen Darstellungen die Auseinandersetzung mit dem Lernstoff durch Visualisierung. Die Digitalisierung verändert den Lernprozess und schafft einen Freiraum für kreatives Tun und Denken durch die Nutzung innovativer Darstellungsmöglichkeiten. [12]

Die graphischen Darstellungen dienen als ein bedeutendes Hilfsmittel des mathematischen Problemlösens. Durch die Visualisierung kann man neues Wissen aneignen und es mit dem Vorwissen verbinden. Die Visualisierung zeigt die mathematische Struktur, die man für die Aufgabe braucht.

Nach den Ergebnissen von Studien zur Effektivität des mathematischen Lernens hat der Einsatz von einer Lernsoftware eine positive Auswirkung auf die Leistung der Schüler bei dem Erwerb mathematischer Kenntnisse während

des Schuljahres sowie bei der Abschlussprüfung. Der interaktive Unterricht erhöht das Interesse der Lernenden und fördert ihre aktive Teilnahme. Die mathematische Software beeinflusst das Verständnis von Konzepten und das "Lernen durch Handeln". Die Studierenden können sich den Zusammenhang zwischen den mathematischen Objekten schneller merken. [13]

### C. Digitale Mathematikwerkzeuge

Mit dem Begriff digitale Mathematikwerkzeuge bezeichnet man sowohl allgemeine Medien zur Kommunikation und Präsentation, als auch mathematische Softwaren. Diese Programme fördern den entdeckenden Umgang mit den Lerninhalten und erleichtern den Prozess von der Mustererkennung und dem Lösen eines konkreten Problems. Sie ermöglichen die schnelle Überprüfung der Ergebnisse und die Übung von dem Lernstoff. Diese Art von digitalen Technologien gilt als ein wichtiges Werkzeug zum Lernen im Matheunterricht.

*... "Mathematical technologies, such as spreadsheets, Computer Algebra Systems, Dynamic Geometry, applets, etc., enable teachers and students to investigate mathematical objects and connections using different mathematical representations, and to solve mathematical problems (Zbiek et al., 2007)." (Drijvers et al., 2016, S. 2)*

- **Computer-Algebra-System:** Diese Technologie beschäftigt sich mit dem symbolischen Lösen von Gleichungen und der Bestimmung von Ableitungen von Funktionen. (vgl. Pallack, 2018). Im Bereich der schulischen Bildung verfügt CAS über die folgenden Teifunktionalitäten: Erweitern, Faktorisieren und das unmittelbare Lösen von Gleichungen (Barzel, 2012). [14]
- **Dynamische-Geometrie-Systeme:** DGS sind ein digitales Mathematikwerkzeug, womit man elementare geometrische Objekte (Punkte, Strahlen und Geraden) zeichnen kann und darauf aufbauend weitere Figuren konstruieren. Sie ermöglichen auch die Verwendung von geometrischen Abbildungen (Verschiebungen, Drehungen und Spiegelungen) für Konstruktionen. [14]

Digitale Technologie wie GeoGebra oder Casio ClassPad, die graphischen, symbolischen oder tabellarischen Darstellungsmöglichkeiten besitzen, tragen zur Unterstützung der kognitiven Fähigkeiten bei und verändern nicht nur den Lernprozess, sondern auch die Denkweise der Lernenden. [12]

## V. SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Die digitalen Lehr- und Lernmethoden konzentrieren sich auf die Vorbereitung der Studierenden auf das (Berufs-)Leben in Bezug auf die Entwicklung von den notwendigen digitalen und mathematischen Kompetenzen sowie von dem Problembewusstsein, die Förderung des schöpferischen Denkens und Handelns und die Aneignung von relevanten und praxisnahen Kenntnissen in einer effektiveren und effizienteren Weise. Die neue Art von Lernformaten ermöglicht die ganzheitliche Bildung und die vollständige Entfaltung des Potenzials der jungen Menschen.

Digitale Werkzeuge sind zu einem wichtigen Teil des Mathematikunterrichts geworden. In naher Zukunft werden auch neue Technologien wie Künstliche Intelligenz oder Virtual Reality an dem Lernprozess eingesetzt. Damit es möglich ist, die Kreativität der Studierenden hervorzu bringen, soll eine Neugestaltung des Unterrichts und der Lernmaterialien durchgeführt werden und in die digitale Infrastruktur an der Schule oder an der Universität investiert werden.

## ACKNOWLEDGMENT

Zuerst gebührt mein Dank Frau Doz. Dr. M. Krumova, die meine Arbeit betreut hat. Bedanken möchte ich mich auch bei Doz. Dr. E. Varbanova für die interessanten und nützlichen Ideen, die Hilfsmittel und die Hilfsbereitschaft.

## REFERENCES

- [1] <https://de.wikipedia.org/wiki/Kreativit%C3%A4t>
- [2] P. Hüttebräuker, "J.P.Guilford: Kreativität und Messung von Kreativität – die Ursprünge der modernen Kreativitätsforschung" in <https://innovators-guide.ch/category/blogroll/>, Dezember 2012.
- [3] M. G. Möhrle, "Kreativität" in <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/>.
- [4] B. S. Bloom, "Taxonomie von Lernzielen im kognitiven Bereich", [Weinheim und Basel, S. 200, 1976].
- [5] <https://de.wikipedia.org/wiki/Mathematik>
- [6] L. Schröder, "Kreativität in der Grundschule" in <https://www.uni-siegen.de/start/>, 2021.
- [7] T. Geiling, A. Michel, "Mathematik ist extrem kreativ" in <https://www.suedkurier.de/>, März 2016.
- [8] D. Grieser, "Mathematisches Problemlösen und Beweisen: Ein neues Konzept in der Studiengangsphase" in <https://cutt.ly/0MZobff>.
- [9] [https://de.wikipedia.org/wiki/Ganzheitlichkeit\\_\(P%C3%A4dagogik\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Ganzheitlichkeit_(P%C3%A4dagogik))
- [10] O. Köstler-Ehling, R. Heinen, "Weit über den Bildschirm hinaus: Digitales ist ganzheitliches Lernen" in <https://cutt.ly/iMZae7>, 2019.
- [11] Fadel, Bialik und Trilling "Four dimensional education. fe competencies learners need to succeed", 2015.
- [12] H. Heugl, "Visualisierung mit Technologie – Chancen und Gefahren" in Schriftenreihe zur Didaktik der Mathematik der Österreichischen Mathematischen Gesellschaft (ÖMG), Heft 52, S. 49 – 66.
- [13] S. Tiwari, D. Obradovic, L. Rathour, L. Mishra, V. Mishra, "Visualisation in mathematics teaching" in Journal of Advances in Mathematics Vol 21, 2021.
- [14] B. Barzel, M. Klinger, "Digitale Mathematikwerkzeuge".

# Europäische und sumerische Zivilisationsprozesse

Krasimir Krivodolski

University of Forestry, Sofia

Sofia, Bulgaria e-mail: krasiborisov56@gmail.com

**Abstract** — In the article the author states the hypothesis that the Sumerians had a connection with the European civilizational processes. According to him, "civilization" did not appear in a day. Thousands of years before the appearance of the first fully - fledged civilization, our ancestors created and developed technologies for domestic, communicative and hunting applications. The author illustrated his thesis with photographic material extracted from internet publications about: rock and cave paintings, archaeological artifacts, discovered and deciphered conclusions about paleolithic people.

**Keywords:** civilization, civilizational processes, communication technologies.

**Zusammenfassung** — In dem Artikel stellt der Autor die Hypothese auf, dass die Sumerer einen Zusammenhang mit den europäischen Zivilisationsprozessen hatten. Ihm zufolge erschien "Civilisation" nicht an einem Tag. Tausende von Jahren vor der Entstehung der ersten voll entwickelten „Civilisation“ haben unsere Vorfahren Technologien für häusliche, kommunikative und Jagdapplikationen geschaffen und entwickelt. Der Autor veranschaulichte seine These mit Fotomaterial aus Internetpublikationen über: Fels- und Höhlenmalereien, archäologische Artefakte, entdeckte und entschlüsselte Keilschrifttexte, anthropologische Analysen und Schlussfolgerungen über paläolithische Menschen.

**Schlüsselwörter:** Civilisation, Zivilisationsprozesse, Kommunikationstechnologien

Es ist allgemein bekannt, dass das Gebiet, das seit alten Zeiten "Mesopotamien" genannt wird, die folgende Grenzen hat: Norden - die Berge Armeniens; Süden - Persischer Golf; Westen - Syrische Steppe; Osten - das Hochland des westlichen Iran.

Diese Region wird von der Wissenschaft als Wiege der menschlichen Zivilisation anerkannt, denn hier wurde unsere erste bekannte schriftliche Zivilisation - die sumerische - geboren, entwickelt und verbreitet. Laut Forschern der mesopotamischen Zivilisationen tauchten die Sumerer um 7.000 v. Chr. plötzlich mit einer fast vollständig entwickelten und toleranten Kultur in Südmesopotamien auf. Hier ließen sie sich neben einer Siedlung einer lokalen paläolithischen Kultur namens "Ubaid" nieder.

Deutsche Archäologen entdeckten die beiden Siedlungen in den Sümpfen südwestlich des alten Flusses Euphrat. Die Siedlungen lagen auf aufragenden Inseln über den Sümpfen und wurden durch künstliche Wallinseln erweitert. Also um 5.300 sie fusionierten und gründeten eine Stadt namens "Uruk".

Die Symbiose zwischen der Ubaid- und der sumerischen Kultur schuf eine reiche und kreative Gesellschaft namens Sumerische Zivilisation. Sie entwickelte sich, gab den Gesellschaften in Mesopotamien einen starken zivilisatorischen Impuls und geriet mit Beginn unserer Zeitrechnung in Vergessenheit.

Die archäologische Wiederentdeckung der sumerischen Zivilisation erfolgte in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts. Die entdeckten Artefakte und Schriften zeigen das Wissen und den Stand des sumerischen Fortschritts zu dieser Zeit und stellen der Wissenschaft viele Geheimnisse dar, die noch immer diskutiert werden.

Eines dieser Rätsel ist die Frage: "Woher kamen die Sumerer?"

Es gibt viele Daten zu diesem problematischen Thema, die sowohl aus sumerischen Legenden, gefundenen Artefakten und schriftlichen Quellen stammen, als auch aus Studien in Europa aus jüngerer Zeit, wie der „Donau-Zivilisation“, und aus jüngerer Zeit, wie die Veröffentlichung von Frau Genevieve von Petzinger: "Warum finden wir diese 32 Symbole in alten Höhlen in ganz Europa?".

Im vorliegenden Artikel möchte ich einige Gemeinsamkeiten zwischen europäischen und sumerischen Zivilisationsprozessen darstellen und kommentieren, obwohl sie zeitlich 26.000 Jahre und räumlich 6.000 Kilometer voneinander entfernt sind.

Zuerst erwähnen die Legenden der Sumerer, dass sie aus den hohen Bergen Nordmesopotamiens stammten, wo sich die Ebenen des Kaukasus und weiter nördlich das Schwarze Meer befinden. Zweitens argumentieren Forscher, dass sich die sumerische Sprache grundlegend von den Sprachen anderer Stammesgemeinschaften in Mesopotamien, wie Babylonisch (semitisch), Persisch (indogermanisch) und Elamitisch, unterschied. Drittens fand Sumer die früheste Beschreibung der "Weltdflut", die angeblich im Schwarzen Meer stattfand. Viertens ist das entdeckte Wissen der Sumerer über den Goldenen Schnitt viel später als seine Entdeckung im „Varna-Schatz“ (siehe Abb. Nr. 1).



The ancient treasure from Varna-5th Millennium BC

Abb. Nr. 1 Figuren eines Stiers

Ein Satz von zwei goldenen Stierfiguren in der chalcolithischen Nekropole von Varna, datiert auf etwa 6.000 v. sind nicht nur wegen ihres Alters äußerst wertvoll, sondern auch, weil sie ein Längenmaß sind.

Die Artefakte sind aufgrund des darin enthaltenen Codes des Goldenen Schnitts erstaunlich, nach die Forschung des bulgarischen Wissenschaftlers Hristo Smolenov. Und Prinz Mikasa, ein führender japanischer Archäologe, rief 1982 aus: „Die Varna-Kultur ist tatsächlich die erste europäische Zivilisation!“ <https://brat-bg.com/bg/interesting/bg-incognita/on-sea/out-of-beach/>

Fünftens können Ähnlichkeiten zwischen der „Danube Proto-Script“ (siehe Abb. 2 A.) und einer „Platte“ aus der Vorschriftzeit von Sumer, die ca. 2.000 Jahre später als die gezeigte „Danube Proto-Script“ (siehe Abb. 2 B.) festgestellt werden.



Abb. Nr. 2 A. Platte mit Proto-Schrift von KARANOVO [Vom Unterlauf der Donau, datiert in die Jungsteinzeit (ca. 6000 v. Chr.)]  
Quelle: <https://www.wikiwand.com/bg/>



Abb. Nr. 2 B. Berichtstafel, Sumer (3100 v. Chr.).  
[Warenzeichnungen und digitales Nummernzeichen] Quelle:  
<https://www.forumnauka.bg/>

Aus der Vergleichstabelle lassen sich zwei Ähnlichkeiten erkennen. Die erste davon ist, dass die Schrift dieser Kacheln eine Kombination aus symbolischen Zeichnungen ist, die in horizontalen Reihen mit vertikalen Trennlinien zwischen den Bildern der Reihe angeordnet sind und die Reihen untereinander (von oben nach unten) angeordnet sind. Die zweite Ähnlichkeit besteht in den Zeichnungen eines Dreiecks und eines ruderartigen Zeichens.

Und nicht zuletzt Platz sechs weist Frau Genevieve von Petzinger in ihrer Veröffentlichung „Warum finden wir diese 32 Symbole in alten Höhlen in ganz Europa?“ auf einige merkwürdige einzigartige und mysteriöse Funde hin, die unten in den Abbildungen Nr. 3 und Nr. 4 platziert sind.



Abb. Nr. 3. Standort „El Castillo“, Spanien

Zu der Zeichnung sagt Frau Genevieve von Petzinger: Der Begriff Penniform bedeutet auf Lateinisch „stiftförmig“, aber ist es möglich, dass das Bild tatsächlich eine Pflanze oder ein Baum ist, der von seltsamen glockenförmigen Zeichen umgeben ist?“.



Abb. Nr. 4. Höhle Ojo Guareña – Spanien

Quelle: [https://www.ted.com/talks/genevieve\\_von\\_petzinger\\_why\\_are\\_these\\_32\\_symbols\\_found\\_in\\_ancient\\_caves\\_all\\_over\\_europe?](https://www.ted.com/talks/genevieve_von_petzinger_why_are_these_32_symbols_found_in_ancient_caves_all_over_europe?)

Über das Foto der Malereien in der Höhle Ojo Guareña in Spanien sagt Frau Genevieve von Petzinger: „Vor langer Zeit betraten die alten Menschen in Europa diese unterirdischen Welten. Als Beweis ihrer Reise hinterließen sie mysteriöse Gravuren und Zeichnungen, wie dieses Bild von Menschen, Dreiecken und Zickzacklinien aus Ojo Guareña in Spanien.“

Vielleicht sind diese „mysteriösen ... Zeichnungen“ weniger mysteriös im Vergleich zu den vorsumerischen Tonmarken, die in Abbildung 5 und 6 gezeigt werden.

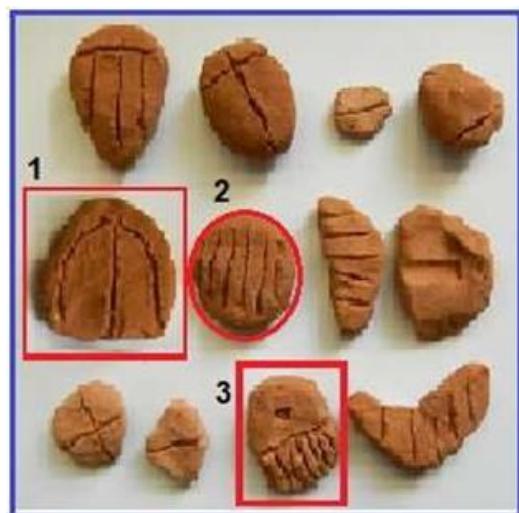


Abb. Nr. 4. Tonmarken  
Quelle: <https://www.forumnauka.bg/>

Das System der Berichterstattung und Kontrolle durch Tonmarken wurde bei Ausgrabungen in der Stadt Uruk und später in der Stadt Lagash, Nippur und anderen entdeckt. Die Platten haben unterschiedliche Form und Größe (1 bis 3 cm). Auf ihnen sind verschiedene Zeichen angebracht. Die Tonmarken wurden auf etwa 4.000 v. Chr. datiert und zeigten die Mengen der gelieferten Produkte oder Geschenke an die Herrscher und Gottheiten an. Sie wurden in versiegelten Tongefäßen gefunden, auf denen die Zahl der Einheiten, Zehner und Sechziger, aus heutiger Sicht wie ein Etikett markiert war. Laut Archäologen handelt es sich bei den Zeichen um ein Zahlensystem, d.h. Schnitt = 1, Kreis = 10 und Keil (Dreieck) = 60. Auch heute noch wird die Zahl 60 verwendet, um Ecke, Zeit und Koordinaten zu messen.

Daher könnten die Marken in Abb.5 folgende Bedeutung haben:

Nr.1 Tonmarke – Ein „Getreidesack“;

Nr.2 Tonmarke - Kreis mit fünf Schnitten - "Fünf Brote"

Nr.3 Tonmarke "Hand" mit einem Punkt und 8 Schnitten = 18 Sklaven.

Die Tonmarken von Abb. 4 haben einfache Formen, aber um 3.500 v. die Archäologen bemerkten, dass die Tonmarken durch Berichtskacheln ersetzt werden, die eine Kombination aus schematischen Zeichnungen und einem Zahlensystem sind (siehe Abb. 6).



Abb. Nr. 6. Berichtskachel  
Quelle: <https://www.forumnauka.bg/>

Die Schrift auf diesen Kacheln ist eine Kombination aus einem Zahlensystem und symbolischen Zeichnungen, die in vertikaler Reihenfolge (von oben nach unten) angeordnet sind. Die meisten Zeichen auf dem Kachel helfen, die Warenarten besser zu unterscheiden. Auf diese Weise werden der gegebene Rohstoff und seine Menge relativ genauer wiedergegeben als bei Tonmarken.

Mit anderen Worten, in dem von einem roten Rechteck umgebenen Bereich ist Folgendes zu sehen: Kegel (Dreieck) = 60 Stk., Zeichnungen einer Pflanze und einem Krug. Die mögliche Lesart dieser bildlich-symbolischen Aufzeichnung könnte lauten: „60 Krüge Getreide“ oder wenn die Pflanze ölhaltig ist – „60 Krüge Öl“.

Wenn man also die Malereien von der Felsenstätte „El Castillo“, Spanien, mit den Tonmarken von Sumer vergleicht, wird man eine Ähnlichkeit zwischen dem Bildsymbolen Europas und dem von Sumer sehen (Abb. Nr.7).

Abb.7 - Sektor A



Sektor B

Die Vergleichstabelle zeigt eine Ähnlichkeit zwischen den in den Sektoren A und B in Abb. 7 gezeigten Zeichnungen, d. h. in Sektor A, "Schwarze Feder mit glockenförmigen Markierungen" an der Felsstelle "El Castillo" aus Spanien - Europa, datiert auf etwa 30.000 v. und Sektor B - ein sumerisches Zeichen aus der vorliterarischen Zeit, das "Getreidesack" bedeutet, und ein Symbol für Gerste, wie es um 3200 v. Chr. In Sumer gemalt wurde.

Aus der obigen vergleichenden Analyse könnte man annehmen, dass es sich bei der Felsstandortaufzeichnung tatsächlich um eine Meldung handelt: „Das Land unter dem Felsstandort hat das Potenzial, fünf Säcke Gerste zu produzieren“.

Wenn man die Malereien aus der Ojo Guareña-Höhle in Spanien mit der sumerischen Berichtstafel vergleicht, werden wir ebenfalls eine Ähnlichkeit zwischen dem Bildsymbolen Europas und dem sumerischen sehen (siehe Abb. Nr.8).



Abb. Nr.8. Ojo Guareña-Höhle- Spanien  
Quelle:[https://www.ted.com/talks/genevieve\\_von\\_petzinger\\_why\\_are\\_these\\_32\\_symbols\\_found\\_in\\_ancient\\_caves\\_all\\_over\\_europe?](https://www.ted.com/talks/genevieve_von_petzinger_why_are_these_32_symbols_found_in_ancient_caves_all_over_europe?)

Auf dem Foto ist eine Reihe verschiedener Zeichen deutlich zu erkennen. In dieser Zeichnung können 4 (vier) Sektoren mit unterschiedlichen Vorzeichen skizziert werden, nämlich: In Sektor (1) sind 9 (neun) Dreiecke sichtbar; In Sektor (2) befindet sich eine schematische Zeichnung einer Person, und in den Sektoren (3) und (4) sind die Richtungen von zwei Zackenlinien durch Striche angedeutet, einer ist nach links und der andere nach rechts orientiert.

Wenn der Zeichnungskomplex mit den oben angegebenen sumerischen Kacheln entschlüsselt wird, wird die folgende Nachricht erhalten:

"Eine Gruppe von 540 [9 x 60] Männern, angeführt von ihrem Häuptling, suchte Schutz und Zuflucht in den zwei gewundenen Tunneln dieser Höhle.“.

ODER: ACHTUNG!!! Die Höhle ist jetzt vollständig von einem großen Stamm besetzt.

... Anderen ankommenden Stämmen wird mitgeteilt, dass diese Höhle bereits besetzt ist. Hier könnte man vermuten, dass die Aufzeichnung aus der Zeit der Besiedlung des Planeten durch Gruppen von Homosapiens stammt. Mit anderen Worten, die Bevölkerung nahm zu, was zu einer größeren Dichte sich bewegender menschlicher Gruppen führte. Diese Dichte hat sowohl zu Konflikten als auch zu Kooperationen geführt, aber auch zu Kompromissen bei der Suche nach neuem Land durch Migration.

Interessant in diesem Fall ist, dass die Informationen über die Anzahl der Stämme, die in der Höhle Schutz gesucht haben, mit den Schlussfolgerungen übereinstimmen, die Anthropologen über paläolithische Menschen gezogen haben. Die Schlussfolgerungen der Anthropologen basieren auf grundlegenden Beobachtungen bestehender moderner Jäger-Sammler-Gemeinschaften, wie dem Stamm der Khoisan in der Kalahari-Wüste – Afrika (siehe Abb. Nr. 9). Sie wurden von der KHAN ACADEMY veröffentlicht - im Kapitel: "Der Ursprung des Menschen und frühe menschliche Gesellschaften"; Abschnitt: "Paläolithische Gesellschaften" - (<https://bg.khanacademy.org/humanities/world-history>).



Abb. Nr.8. Ein Mitglied des Khoisan-Stammes  
Quelle: Wikimedia Commons.

Durch theoretische mathematische Modelle verarbeiten die Wissenschaftler die Erfahrungen der heutigen Jäger-Sammler-Gesellschaften. Die Stämme haben normalerweise etwa 500 Mitglieder. Der Prozess der Ernährung des Stammes durch Jagen und Sammeln von Früchten wird von Gruppen von Menschen durchgeführt, die etwa 25 Mitglieder umfassen. Jeder Stamm besteht aus ungefähr 20 (zwanzig) Gruppen und seine Zahl beträgt ungefähr 500 (25 x 20) Menschen.

Die Anthropologen haben geschätzt, dass unter paläolithischer Technologie über 112 Quadratkilometer relativ unfruchtbare Land mit wenigen natürlichen Ressourcen oder über 12 Quadratkilometer fruchtbare Land benötigt wurden, um den Grundnahrungsbedarf einer kleinen Gemeinschaft zu decken.

Diese Berechnungen geben Aufschluss über die kontinuierliche Bewegung prähistorischer kleiner Menschengruppen. Oder kleine Gesellschaften ziehen oft um, weil sie an einen anderen Ort gehen, um die verfügbaren natürlichen Ressourcen zu einer anderen Jahreszeit zu nutzen. Aufgrund ihrer häufigen Bewegungen haben diese Gesellschaften keine dauerhaften Siedlungen und nutzen oft Höhlen als Unterschlupf.

Es gibt archäologische Beweise dafür, dass paläolithische Menschen Höhlen hauptsächlich als Unterschlupf und Zuflucht nutzten, obwohl sie primitive Unterstände und Hütten bauen konnten.

Auf der Grundlage von mir zusammengestellter Daten, nach ihren aufgezeigten Ähnlichkeiten in der bildlich-symbolischen Kommunikation von Europa und Sumer, konnte es die folgende Vermutung angestellt werden:

„Die Sumerer waren ein Stamm der ‚Donau-Kultur‘, die während der ‚Flut‘ vom Süßwassersee (heute Schwarzes Meer) nach Mesopotamien einwanderten, wo sie mit der lokalen ‚Ubaid-Kultur‘ interagierten und eine vollständige Zivilisation schufen, die eine wichtiger Einfluss auf benachbarte Gebiete hatte.“

Die Wissenschaftler haben den Einfluss der sumerischen Zivilisation auf die nahe gelegenen mesopotamischen Regionen festgestellt, die auf ihrer rekonstruierten alten Karte von Mesopotamien mit gelben Pfeilen dargestellt sind (siehe Abb. 10).



Abb. 10. Kultureller Einfluss der Stadt Uruk  
Quelle: <https://en.wikipedia.org/wiki/Uruk>

Die Kultur von Uruk verbreitete sich auf verschiedene Weise:

- Um 3800 v. Chr. Siedler gründeten Kolonien im Norden, Nordosten und Nordwesten Mesopotamiens, wohin sie die erfundenen Keramiköfen, das Rad und die gebrannten Ziegel brachten.
- Um 3600 v. Chr. hatten sich die Handelsnetze von Uruk auf andere Teile Mesopotamiens ausgeweitet, wie die Nordwesttürkei und Syrien, den Nordosten bis zu einigen Orten im Iran und im Irak und im Nordkaukasus.
- 3000 v. Chr. Das „Zikurat“-Konzept der Stadt Uruk wurde von ganz Mesopotamien übernommen
- Schrift um 2600 v. Chr. erfunden etablierte sich schnell in anderen Städten Sumers
- Um 2047-2030 v. Chr. der König Ur-Namu annektierte alle sumerischen Städte und schuf ein Imperium mit Uruk als Hauptstadt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die „sumerische“ Kultur in Symbiose mit der „Ubaid“-Kultur die „Uruk-Zivilisation“ hervorgebracht hat, die eine wichtige Rolle bei der frühen Urbanisierung Sumers und Mesopotamiens spielte.

## VERWENDETE QUELLEN

- [1] The ancient treasure from Varna – 5th Milenium BC
- [2] <https://brat-bg.com/bg/interesting/bg-incognita/on-sea/out-of-beach/>
- [3] <https://www.wikiwand.com/bg/>
- [4] <https://www.forumnauka.bg/>
- [5] [https://www.ted.com/talks/genevieve\\_von\\_petzinger\\_why\\_are\\_these\\_32\\_symbols\\_found\\_in\\_ancient\\_caves\\_all\\_over\\_euro\\_pe?](https://www.ted.com/talks/genevieve_von_petzinger_why_are_these_32_symbols_found_in_ancient_caves_all_over_euro_pe?)
- [6] <https://www.forumnauka.bg/>
- [7] <https://bg.khanacademy.org/humanities/world-history>
- [8] <https://en.wikipedia.org/wiki/Uruk>

# **Engineering**

Chair: Mladen Mladenov, Milena Krumova, Zwetelina Gankova-Ivanova

**THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK**

# Experimental Setup for Testing and Evaluation of Kalman Filter Configurations

## Versuchsaufbau zum Test und Evaluierung von Kalman Filter Konfigurationen

Stefan Hensel\*, Marin Marinov\*\*, Christopher Kupitz\*, Dimitre Trendafilov \*\*

\* University of Applied Sciences Offenburg, Department for Electrical Engineering  
Offenburg, Germany, e-mail: stefan.hensel@hs-offenburg.de

\*\* Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering and Technologies, Department of Electronics  
Sofia, Bulgaria, e-mail: mbm@tu-sofia.bg

**Abstract** — Positioning mobile systems with high accuracy is a prerequisite for intelligent autonomous behavior, both in field robotics and in industrial environments. This paper describes the setup of a robotic platform and its use for testing and evaluating Kalman filter configurations. The setup was implemented using a Husky A200 mobile robot and a light detection and ranging (LiDAR) sensor. Five different scenarios were devised to verify the proposed setup. With these, the filters were tested for their performance in terms of position determination accuracy.

**Zusammenfassung** — Die Positionierung mobiler Systeme mit hoher Genauigkeit ist eine Voraussetzung für intelligentes autonomes Verhalten, sowohl in der Feldrobotik als auch in industriellen Umgebungen. Dieser Beitrag beschreibt den Aufbau einer Roboterplattform und ihre Verwendung für den Test und die Bewertung von Kalman-Filter-Konfigurationen. Der Aufbau wurde mit einem mobilen Roboter Husky A200 und einem LiDAR-Sensor (Light Detection and Ranging) realisiert. Zur Verifizierung des vorgeschlagenen Aufbaus wurden fünf verschiedene Szenarien ausgearbeitet. Mit denen wurden die Filter auf ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Genauigkeit der Positionsbestimmung getestet.

### I. EINFÜHRUNG UND MOTIVATION

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die in Hard- und Software aufgebaute Plattform. Der als Versuchsträger eingesetzte Roboter, die Sensorik und die notwendigen Anpassungen werden ebenso erläutert wie die verteilten Rechnerkomponenten und die zur Kommunikation und Steuerung eingesetzte Software [1].

In diesem Kapitel wird der strukturelle Aufbau des Robotersystems erklärt. Aufgeteilt in den Hardwareaufbau, der die Vernetzung der verschiedenen Rechner untereinander und der Sensoren des Huskys beschreibt. Und in den Softwareaufbau der den Nachrichten Austausch innerhalb des Systems, zwischen den Gerätetreibern und Softwarepakete beschreibt.

Eine der wichtigen Anforderungen, die ein mobiles Robotersystem erfüllen muss, ist die Frage „Wo befindet sich mich gerade?“ beantworten zu können. Insbesondere, wenn man sich den Gedanken der selbst fahrenden Autos vor Augen hält. Die Antwort auf diese Frage kann mithilfe von exterozeptiven Sensordaten ermittelt werden. Jedoch befinden wir uns in einer sehr dynamischen und hochkomplexen Welt, in der Sensoren nicht perfekt und ihre Messungen fehleranfällig sind. Durch Fusionierung der Daten von mehreren Sensoren ist es möglich eine Gesamtpositionsschätzung zu erhalten, deren Fehler geringer ist, als dies mit einem einzelnen Sensor isoliert möglich wäre [2]. Es ist häufig der Fall, dass eine größere Menge von Sensordaten genauere Positionsschätzungen erzeugt [3].

### II. SYSTEMAUFBAU

#### A. Hardwareaufbau des Robotersystems

Dieser Kapitel behandelt den Hardwareaufbau des Robotersystems, der die Vernetzung der verschiedenen Rechner untereinander und der Sensoren des Huskys beinhaltet. Das verwendete Robotersystem besteht aus einem verteilten Computersystem. Das bedeutet, dass die verschiedenen Sensoren nicht an einem Rechner angeschlossen sind, sondern auf verschiedene Rechner aufgeteilt sind. Diese Rechner sind wiederum über ein Computernetzwerk miteinander verbunden. Grafisch abgebildet in einem Strukturdigramm in Abb. 1.

Das Computernetzwerk beinhaltet einen TP-Link Router, einen mobilen Laptop zur Datenaufzeichnung und späteren Datenauswertung der über das Roboter eigene WLAN angebunden ist und zwei auf/in dem Husky A200 Chassis verbaute Rechner (in Abb. 1. als Husky PC und Pokini bezeichnet). An diesen Computern sind in diesem Projekt vier Sensoren angeschlossen. Am Pokini ist die zur inertialen Messwert Aufnahme nötige XSens IMU, sowie ein RTK fähiger GNSS-Empfänger der Marke u-blox (in Abb. 1 u-blox RTK GPS genannt) angeschlossen, dessen Daten durch ihre ausreichende hohe Genauigkeit als Referent der wahren Position (engl. ground truth) des Roboters verwendet werden. Am Husky PC, der innerhalb des Husky Chassis verbaut ist, ist die MCU des Huskys mittels serieller Schnittstelle angeschlossen. Über diese werden die Motoren gesteuert und die Daten der Odometrie empfangen. Zusätzlich ist am Husky PC ein einfacher GNSS-Empfänger (in Abb. 1 GPS-Modul Arduino genannt) angebunden.

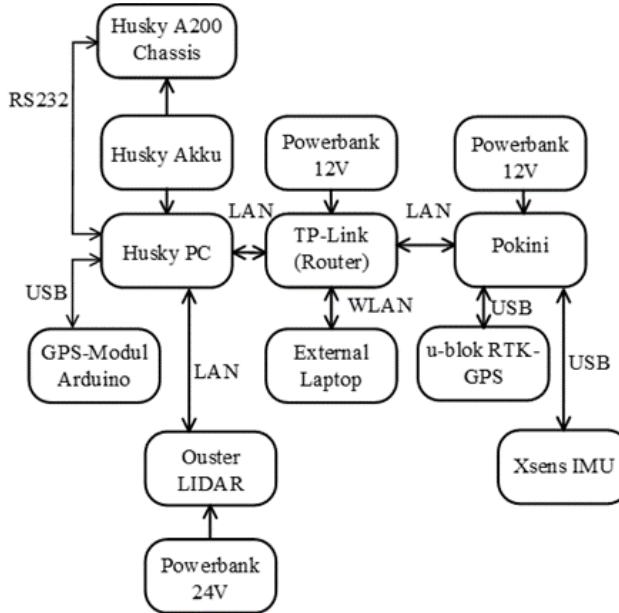


Abb. 1. Hardwareaufbau des Verteilten Robotersystems

Der in diesem Projekt verwendete Roboter ist der **Husky A200** des Unternehmens Clearpath Robotic Inc. Der Husky A200 ist ein robustes, unbemanntes Bodenfahrzeug (engl. unmanned ground vehicle, UGV) für den Innen- und Außenbereich. Durch seine Modifizierbarkeit des Aufbaues ist er sehr für Forschungs- und Rapid-Prototyping-Anwendungen geeignet ist. Alle Funktionen des Huskys werden über eine serielle RS232-Schnittstelle von einem, im Inneren des Chassis verbauten Rechners gesteuert. Auf diesem läuft der Clearpath Robotics offiziell unterstützte ROS-Knoten im Paket clearpath\_base.



Abb. 2. Verwendeter Roboter mit Sensoraufbau und verwendetem Laptop

**Real Time Kinematics (RTK)** ist eine Art des DGNSS und liefert eine hochgenaue Positionsbestimmung unter Verwendung einer genau eingemessenen Basisstation. Das Verfahren nutzt nicht wie das Standard GNSS Verfahren die gesendeten Informationen der Satelliten, sondern die Trägerwelle selbst, mit der die Information übertragen wird (vereinfacht dargestellt in **Грешка! Източникът на препратката не е намерен.**).

Diese Trägerphasen werden anhand ihrer Wellenlänge korreliert. Sobald eine Korrelation gefunden ist, tritt ein sog. RTK-FIX-Zustand ein. Ab diesem Moment wird können hochpräzise Positionsdaten berechnet werden. Unter der Voraussetzung von einer guten Signalstärke von mindestens fünf Satelliten ist eine Positionsbestimmung auf 1 cm bis 2 cm für die Lage (x, y) und bis auf 2 cm bis 3 cm für die Höhe möglich [4, 5].

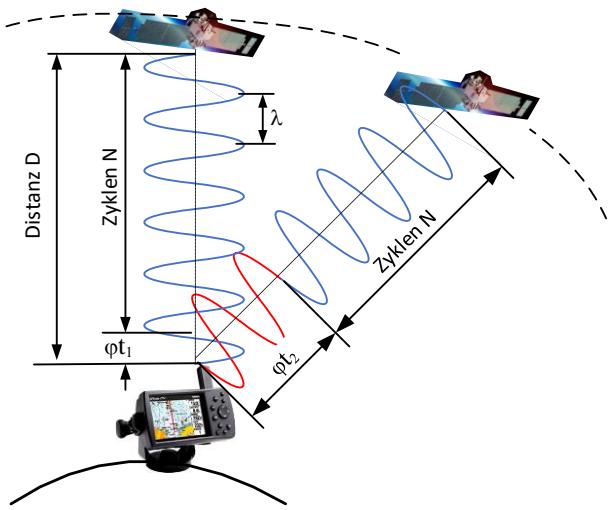


Abb. 3. Vereinfacht dargestellte Funktionsweise eines Real Time Kinematic Systems (Adaptiert von [4])

Eine **Inertiale Messeinheit** (engl. „inertial measurement unit“, IMU) ist eine Kombination mehrerer Sensoren. Meist beinhaltet eine IMU-Beschleunigungssensoren, Drehratensensoren und Magnetfeldsensoren. Zur Abdeckung aller Freiheitsgrade im dreidimensionalen Raum, werden drei Sensorpakete orthogonal, auf drei Achsen, kombiniert. In Verbindung mit einer Signalverarbeitung lassen sich dadurch die Beschleunigung, die Geschwindigkeit und die Position im dreidimensionalen Raum bestimmen. Außerdem ist es damit möglich die Winkelgeschwindigkeit zu messen und die absolute Lage, des Systems zu berechnen. IMUs werden häufig in Inertialen Navigation Systemen (INS) verwendet. Beispielsweise in Robotersystemen, Flugzeugen, Raketen oder auch in Navigationssystemen normaler PKW. Sie ermöglichen eine Positionsbestimmung, auch wenn beispielsweise ein absolutes Lokalisierungssystem, wie GNSS, ausgefallen oder nicht vorhanden ist.

In dieser Arbeit wird die IMU **MTI-20** der Firma XSens verwendet. Der Vorteil der IMUs der Firma XSens ist, dass sie leicht mit einem USB-Kabel mit dem Computer verbunden werden können. Außerdem beinhalten die IMUs Signalprozessoren die je nach Konfiguration, die Rohdaten, gefilterte Daten oder Sensorfusionierte Daten an den Rechner senden. Die Konfiguration der Hardware wird mittels der vom Unternehmen XSens bereitgestellten Software, MT Software Suite vorgenommen [6].

Für die XSens Produktreihen MT, MTI und MTI-G bestehen außerdem offiziell entwickelte ROS-Treiber [7]. Die mit ihren Konfigurationsdateien auf das geforderte Verhalten angepasst werden können. Die Art der Daten und die Frequenz der gesendeten Daten lässt sie hier einzustellen. Zudem ist es möglich eine Kalibration einzustellen. Mit ihrer Hilfe lässt sich der Offset bestimmen, der die Genauigkeit der Daten deutlich erhöht.

## B. Softwareaufbau

Das **Robot Operating System** (ROS) ist ein Softwareframework das auf den Betriebssystemen Linux, Windows oder MacOS aufbaut. Es wird seit 2013 von der Open Source Robotics Foundation (OSRF) und von nonprofit Vereinigung Open Robotics gepflegt und weiterentwickelt. Die Hauptbestandteile dieses Softwareframework ist die Bereitstellung einer Vielzahl von Gerätetreibern, Softwarealgorithmen, der Nachrichtenaustausch zwischen Softwarediensten auf einem Gerät oder netzwerkübergreifend und die Bereitstellung einer Programmierschnittstelle zur beliebigen Erweiterung durch eignen Software. Durch die häufige Verwendung in Robotersystemen in der Forschung oder im privaten Raum steht eine Vielzahl an Software-Tools und Bibliotheken online zur Verfügung. Zusätzlich bietet die Plattform die Möglichkeit eigene Softwarepackete in den Programmiersprachen C++ und Python, unter der Verwendung der ROS-Softwareschnittstelle (ROS API), hinzuzufügen.

Um beispielsweise Daten eines Sensorstrebers in einem Algorithmus nutzen zu können ist ein Nachrichtenaustausch notwendig. Hierzu nutzt das System das Publisher-Subscriber-Kommunikationsprinzip. Der Datenaustausch zwischen oftwareknoten (engl. „Nodes“) findet hierbei über Themen (engl. „Topics“) statt. Nachrichten (engl. „Messages“) werden von einem Knoten in einem Thema publiziert und können von anderen Knoten abonniert werden.

Durch die wichtigsten verwendeten **Softwarekomponenten** wird das strukturelle Zusammenspiel der einzelnen Softwareapplikationen und Hardwaretreiber und deren Nachrichtenaustausch aufgezeigt. Da ROS einen netzwerkübergreifenden Datenaustausch ermöglicht, stellt es kein Problem dar, den bereits beschriebenen Aufbau zu verwenden. Es muss lediglich auf jedem der verwendeten Rechner das ROS-Framework installiert sein und auf einem dieser Rechner muss der ROS-core laufen. Der ROS-core ist die zentrale Instanz des Systems und verwaltet alle gestartet Nodes und vermittelt den Topic Empfängern auf welchem Rechner das gewünschte Topic versendet wird. Das ermöglicht das Senden und Empfangen aller ROS-Topic, von jedem Rechner des Netzwerks, ohne Einschränkungen. Zur Bereitstellung der benötigten Sensordaten wurden nachfolgende Treiber installiert.

**nmea\_novatel\_driver:** Dieser Softwarepaket bildet das Interface zu einem GNSS-Empfänger der seriell oder über eine Socket Verbindung NMEA-Sätze versendet. Hierbei werden die vom Empfänger versendeten NMEA-Sätze entschlüsselt und als *sensor\_msgs/NavSatFix* unter dem Topic */gps/fix* versendet.

**ublox\_gps:** Dieses Softwarepaket fungiert als einfacher Treiber für verschiedene u-blox Geräte. Es beinhaltet ROS Nodes für u-blox Empfänger und für die Entschlüsselung des binären UBX-Protokolls. Diese Nodes versenden die empfangene Positionsdaten als *sensor\_msgs/NavSatFix* unter dem Topic */ublox/fix* und Geschwindigkeits- und Drehratendaten mittels *geometry\_msgs/Twist* im Topic */ublox/fix\_velocity*.

**xsens\_driver:** Dieses Softwarepaket übermittelt die von einer XSens IMU empfangenen Daten an das ROS-System. Daten wie die globale Orientierung, die Winkelgeschwindigkeit und die lineare Beschleunigung werden in einer *sensor\_msgs/Imu* Nachricht an das Topic */imu/data* verwendet. Zudem wird mit einer *sensor\_msgs/MagneticField* Nachricht Informationen über das vorherrschende Erdmagnetfeld im Topic */imu/mag* veröffentlicht. Die Einstellung welche Daten zur Ermittlung der globalen Orientierung verwendet werden, müssen in der von

dem Unternehmen XSens bereitgestellten Software, MT Software Suite vorgenommen werden.

Zur Berechnung der Kalman-Filter wird ein bestehendes Softwarepaket zurückgegriffen. Das von Tom Moore entwickelte Softwarepaket *robot\_localisation* ist ein offiziell von ROS unterstütztes Paket und ist bereits bei vielen ROS-Distributionen ein fester Bestandteil. Es ist eine Sammlung von Zustandsschätzungsnodes, von denen jeder eine Implementierung eines nichtlinearen Kalman-Filters, für Roboter, die sich im dreidimensionalen Raum bewegen, ist. Das Paket enthält zwei 15-dimensionale Implementierungen der Kalman-Filter. Einmal die *ekf\_localization\_node* und die *ukf\_localization\_node*. Des Weiteren enthält das Softwarepaket die *navsat\_transform\_node* die, die Integration von GNSS-Daten in einen der erwähnten Kalman-Filter Implementationen ermöglicht. Zusätzlich ist ein Softwareknoten programmiert worden, der die globale Orientierung des mobilen Robotersystems anhand der Empfangenen GNSS-Signale und die dazugehörige Varianz, publiziert. Hierzu wird die errechnete Orientierung in einer *sensor\_msgs/Imu* Nachricht in dem Topic */gps/orientation* versendet.

## Koordinatensysteme

In diesem Kapitel werden die nötigen Koordinatensysteme und ihre Zusammenhänge eingeführt. Zudem wird beschrieben, warum die einzelnen Koordinatensysteme vonnöten sind, und erklärt, was diese darstellen. Alle Sensoren eines Systems erfassen ihre Messungen bezogen auf ihre eigene Position und Orientierung zu dem gesamten System. Das bedeutet sie publizieren ihre Messergebnisse in ihren eigenen Koordinatensystemen, das zu dem Koordinatensystem der Roboterbasis translatiert oder rotiert sein kann. Um jetzt Daten eines Sensors auf das Basissystem herunterrechnen zu können, muss die Translation und Rotation des Koordinatensystems des Sensors bezogen auf das Basiskoordinatensystem bekannt sein. Beispielsweise muss die Position und Rotation eines GNSS-Empfängers auf einem Roboter bekannt sein damit auf die Position des Basissystems geschlossen werden kann. Diesbezüglich liefert Open Robotics systeminterne Standards. Die für das Projekt wichtigen Standards sind die REP-103 und die REP-105. In der REP-103 werden die Standards für Einheiten und Orientierung der einfachen Koordinatensysteme behandelt. Die REP-105 spezifiziert die Namenskonventionen und die semantische Bedeutung von Koordinatensystemen in mobilen Roboterplattformen die ROS verwenden [8, 9]. Wichtige Koordinatensysteme für das Projekt sind das *base\_link*-, *odom*- und *map*-Koordinatensystem. Diese sind wie folgt in REP-105 definiert:

**base\_link:** Das Koordinatensystem mit der Bezeichnung *base\_link* ist fest mit der Basis des mobilen Roboters verbunden. Diese beschreibt Daten aus der Sicht der mobilen Roboterplattform. Zudem werden Translation und Rotation starr verbauter Sensoren in diesem Koordinatensystem beschrieben. In REP-103 ist die bevorzugte Sensorkoordinatensystemausrichtung definiert.

**odom:** Das Koordinatensystem namens *odom* ist ein Weltfestes Koordinatensystem. Die Pose (Position und Orientierung des *base\_link*-Koordinatensystems) einer mobilen Plattform im *odom*-Koordinatensystem kann im Laufe der Zeit unbegrenzt driftet. Dieser Drift macht das *odom*-Koordinatensystem als langfristige globale Referenz unbrauchbar. Die Pose eines Roboters im *odom*-Koordinatensystem ist jedoch garantiert kontinuierlich, was bedeutet, dass sich die Pose einer mobilen Plattform im *odom*-Koordinatensystem immer reibungslos und ohne diskrete Sprünge entwickelt. Das *odom*-Koordinatensystem ist als genaue, kurzfristige lokale Referenz nützlich, aber die Drift

macht ihn zu einer schlechten Referenz für langfristiges Planen und Handeln.

**map:** Das als *map* oder *map frame* bezeichnete Koordinatensystem ist ein weltfestes Koordinatensystem. Die Position einer mobilen Plattform relativ zum *map*-Koordinatensystem sollte im Laufe der Zeit nicht wesentlich abweichen. Die Translation zwischen *map*-Koordinatensystem und *odom*-Koordinatensystem ist nicht stätig, was bedeutet, dass sich die Position einer mobilen Plattform im *map*-Koordinatensystem jederzeit in diskreten Sprüngen ändern kann. Das *map*-Koordinatensystem ist als langfristige globale Referenz nützlich, aber diskrete Sprünge in Positionsschätzern machen ihn zu einer schlechten Referenz für lokales Erfassen und Handeln.

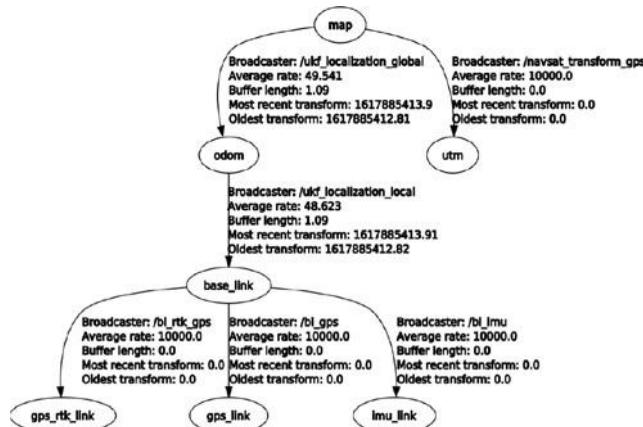


Abb. 4. Vereinfacht dargestellte Funktionsweise eines Real Time Kinematic Systems (ohne Darstellung einer Basisstation)

Abb. 4 beschreibt die Zusammenhänge der verwendeten Koordinatensysteme. Der Aufbau entspricht einem, in REP-105 beschriebenen, typischen Aufbau. Die Koordinatensysteme *imu\_link*, *rtk\_gps\_link* und *gps\_link* sind starr mit dem *base\_link* verbunden. Die Translation zwischen den Sensorkoordinatensystemen und dem *base\_link* entspricht der Position der XSens IMU, des u-blox RTK GNSS Empfängers und der Arduino GNSS Empfänger im *base\_link*-Koordinatensystems. Das *utm*-Koordinatensystem ist ein weltfestes Koordinatensystem und beinhaltet die Position des GNSS-Empfängers in Kugelkoordinaten angegeben („GPS-Koordinaten“). Es ist starr mit dem *map*-Koordinatensystem verbunden. Diese starren Translationen werden im ROS-System als *tf2\_msgs/TFMessage* unter dem Topic */tf\_static* veröffentlicht.

Die Position des *base\_link* im *odom*-Koordinatensystem wird in einem typischen Aufbau, basierend auf einer Odometriequelle und einer inertialen Messeinheit berechnet. Die Translation zwischen den genannten Koordinatensystemen wird mittels *tf2\_msgs/TFMessage* unter dem Topic */tf* veröffentlicht.

In einem weiterem REP-105 typischen Aufbau wird die Translation zwischen *odom*- und *map*-Koordinatensystem, basierend auf GNSS-Empfängerbeobachtungen ständig neu berechnet, wodurch Drifts eliminiert werden, aber diskrete Sprünge verursacht werden, wenn neue Sensorinformationen eintreffen. Diese Translation wird wie bei der *odombase\_link* Translation als *tf2\_msgs/TFMessage* unter dem Topic */tf* veröffentlicht.

### III. TEST VON KALMAN FILTER KONFIGURATIONEN

Mit dem entwickelten System wurden drei Systemkonfigurationen von Kalman-Filtern getestet: EKF2D, UKF2D und EKF3D. Fünf verschiedene Szenarien, mit denen die Filter auf ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Genauigkeit der Positionsbestimmung getestet wurden, ausgearbeitet:

- Szenario 1 - Einfache Fahrt auf dem Hochschulparkplatz,
- Szenario 2 - Einfache Fahrt mit sporadischen GNSS-Ausfällen,
- Szenario 3 - Abschattung des GNSS-Signals durch Bäume,
- Szenario 4 - Reflektions-, Multipath-Effekte und Ausfall des GNSS durch Gebäude,
- Szenario 5 - Steigungen und leichte Abschattung durch Bäume.

### IV. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Eine interessante Möglichkeit die Lokalisierung Ergebnisse verbessern zu können wäre das Verwenden noch weiterer Sensoren. Dahingehend könnte untersucht werden, wie stark eine visuelle Odometrie mittels einer oder mehrere Kameras die Lokalisierungsergebnisse verbessern würde. Oder zu was für eine Verbesserung die Verwendung von Sensoren zu Höhen Ermittlung (bspw. Barometer) oder globalen Orientierung (bspw. Magnetometer), insbesondere in der dreidimensionalen Anwendung führt.

### ACKNOWLEDGMENT

The research is carried out within the frames of the contract № 222ПД0014-03, Scientific and Research Sector at the Technical University of Sofia.

### LITERATURVERZEICHNIS

- [1] Clearpath Robotics Inc., „Husky UGV - Outdoor Field Research Robot by Clearpath“.
- [2] M. Ivanova, P. Petkova und P. Petkov, „Machine Learning and Fuzzy Logic in Electronics: Applying Intelligence in Practice,“ *Electronics*, Bd. 10, Nr. (22):2878, 2021.
- [3] Hensel, S., Strauss, T., Marinov, M., „Eddy current sensor based velocity and distance estimation in rail vehicles,“ *IET Science, Measurement & Technology*, Bd. 9, Nr. 7, p. 875–888, 2015.
- [4] MagicMaps.de, „GNSS-Wissen,“ [Online]. Available: <https://www.magicmaps.de/gnss-wissen/?L=0>. [Zugriff am 12 May 2021].
- [5] C. Prajanu, „RTK Fundamentals - Navipedia,“ [Online]. Available: [https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/RTK\\_Fundamentals](https://gssc.esa.int/navipedia/index.php/RTK_Fundamentals). [Zugriff am 12 May 2021].
- [6] XSens, „MTi User Manual: MTi 10-series and MTi 100-series 5th Generation (Zugriff am: 19. März“.
- [7] ROS.org, „xsens\_driver - ROS Wiki,“ [Online]. Available: [http://wiki.ros.org/xsens\\_driver](http://wiki.ros.org/xsens_driver). [Zugriff am 19 March 2021].
- [8] Tully Foote, Mike Purvis, „REP 103 - Standard Units of Measure and Coordinate Conventions (ROS.org)“.
- [9] Wim Meeussen, „REP 105 -- Coordinate Frames for Mobile Platforms (ROS.org)“.
- [10] „magicmaps,“ [Online]. Available: <https://www.magicmaps.de/gnss-wissen/praezise-gps-messungen-mit-hilfe-von-dgps-und-rtk/>. [Zugriff am October 2022].

# Cyberattacks as Digital Weapons against the IT Critical Infrastructure

## Case Study: Cyberattacks on IT Infrastructure of Albanian Government

Cyberangriffe als digitale Waffen gegen die IT-Kritische Infrastruktur Fallstudie: Cyberangriffe auf die IT-Infrastruktur der albanischen Regierung

Elior Vila

Department of Informatics, University of Elbasan "Aleksander Xhuvani"  
Elbasan, Albania, e-mail: elior.vila@uniel.edu.al

**Abstract** - The rapid development of IT nowadays, has brought huge benefits with regard to fast information exchange. Governments around the world are using IT to offer online services to their citizens in order to accelerate communication and transactions. However, the cyber security of these services is often in question because of the numerous successful attacks that have taken place in recent time. Cyberattacks are being used as cyber-weapons to harm the country's infrastructure and thus deny the critical services to its communities. The factors behind these destructive attacks may be complex and vary from financial and personal to political. This paper investigates a series of recent cyberattacks which targeted some of the most critical parts of the Albanian government IT infrastructure. A careful analysis will be performed in order to identify the reasons why such attacks were successful and what can be done in the future to preserve the security of crucial services provided daily to the citizens.

**Zusammenfassung** - Die rasante Entwicklung der IT hat heutzutage enorme Vorteile im Hinblick auf den schnellen Informationsaustausch gebracht. Regierungen auf der ganzen Welt nutzen IT, um ihren Bürgern Online-Dienste anzubieten, um Kommunikation und Transaktionen zu beschleunigen. Die Cybersicherheit dieser Dienste ist jedoch aufgrund der zahlreichen erfolgreichen Angriffe, die in letzter Zeit stattgefunden haben, häufig in Frage gestellt. Cyberangriffe werden als Cyberwaffen eingesetzt, um die Infrastruktur des Landes zu schädigen und seinen Nutzern so die kritischen Dienste zu verweigern. Die Faktoren hinter diesen destruktiven Angriffen können komplex sein und von finanziellen und persönlichen bis hin zu politischen variieren. Dieses Papier untersucht eine Reihe von kürzlich erfolgten Cyberangriffen, die auf einige der kritischsten Teile der IT-Infrastruktur der albanischen Regierung abzielen. Es wird eine sorgfältige Analyse durchgeführt, um die Gründe für den Erfolg eines solchen Angriffs zu ermitteln und herauszufinden, was in Zukunft getan werden kann, um die Sicherheit wichtiger Dienste zu gewährleisten, die den Bürgern täglich zur Verfügung gestellt werden.

### I. INTRODUCTION

With the IT technological development come increased risks and security threats and never has this been truer than in today's society. The rapid grow of online services and broad accessibility in general, created an insecure environment for the storage and processing of sensitive data. The delivery of many critical services in sectors such as food, water, public health, emergency services, government, defense industrial base, information and telecommunications, energy, transportation, banking and finance, chemicals and hazardous materials etc. is nowadays totally dependent on the IT infrastructure availability for information and data exchange.

Cyber-attacks are an even more significant threat to infrastructure, both public and private. Periodic reports provide timely information about security issues, attacks and vulnerabilities [1]. Cyber-attacks in various forms have become an international problem. Some cybercrime

organizations and probably state actors behind have transformed these attacks into cyber weapons which are low-cost, low-risk, highly effective and easily deployable globally. With this new class of weapons, are targeted critical IT infrastructures of private and governmental institutions of countries around the world. Cyber weapons are software used to attack other software or data within computer systems [2].

The use of offensive cyber operations by nation-states directly against another state has become common motivated recently by military conflicts and sometimes political collisions. Nation-states and non-state actors may have unmatched espionage and surveillance capabilities to inflict tremendous damages on the critical assets of their targets. Progressively, non-state actors including commercial entities are developing cyber defense capabilities that were solely held by a handful of state actors in the past. Such entities have started to evaluate the risks factors as forerunners for criminal financial gain, destruction and disruption operations.

According to the latest Microsoft Digital Defense Report 2022, nation state actors are launching increasingly sophisticated cyberattacks to evade detection and further their strategic priorities [3].

## II. THREATS AND ATTACKS TO CRITICAL INFRASTRUCTURES

### A. Types of countries' critical infrastructures

According to the Cybersecurity and Infrastructure Security Agency (CISA), there are basically 16 critical infrastructure sectors whose assets, systems, and networks, whether physical or virtual, are considered so vital to the US that their incapacitation or destruction would have a debilitating effect on security, national economic security, national public health or safety, or any combination thereof [4]. Some of these are Chemical Sector, Communications Sector, Critical Manufacturing Sector, Defense Industrial Base Sector, Emergency Services Sector, Energy Sector, Financial Services Sector, Government Facilities Sector, Healthcare and Public Health Sector, Information Technology Sector, Nuclear Reactors etc. More or less the same is true for other countries as well. An amount of sectors are heavily dependent upon IT and communication services. Therefore it is of vital importance for any country to know how to manage risks, improve security, and aid the implementation and execution of protective and response measures across the IT Sector.

### B. Increasing attacks to critical infrastructure

For many organizations the IT infrastructure has become increasingly reliant on connectivity. This rising trend has forced organizations to adapt and rely heavily on remote access to ensure continuity. On the other side, attackers are continuously looking for vulnerabilities to exploit and gain unauthorized remote access to valuable targets. When critical infrastructure fails, the effects can be wide-reaching and devastating for any organization or individual.

The data from Microsoft Digital Defense Report 2022 shows that cyberattacks targeting critical infrastructure during the past year increased from 20% to 40%. This trend was due to the hybrid war both in physical and cyberspace that Russia started in February 2022 against Ukrainian infrastructure, and aggressive espionage targeting of Ukraine's allies.

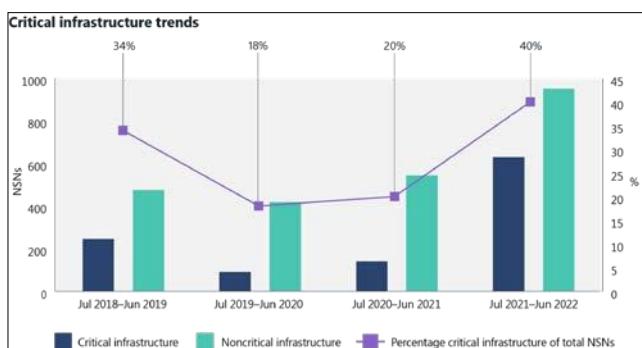


Fig. 1. Attack trend on Critical Infrastructure

Russia is not the only nation state actor involved in cyberattacks. Some other cyber actors such as Iran, China and North Korea have become more aggressive. They employ a wide variety of tactics in order to target the governmental infrastructure, financial and technology companies or to conduct cyberespionage operations across the globe. Their targets span of specific groups of organizations or individuals

with a particular focus on IT companies or critical infrastructure. By compromising IT services, the attackers are often able to reach their destination target or to penetrate deeper into the infrastructure. After the IT sector, the most frequently targeted entities were think tanks, academics attached to universities, and government officials.

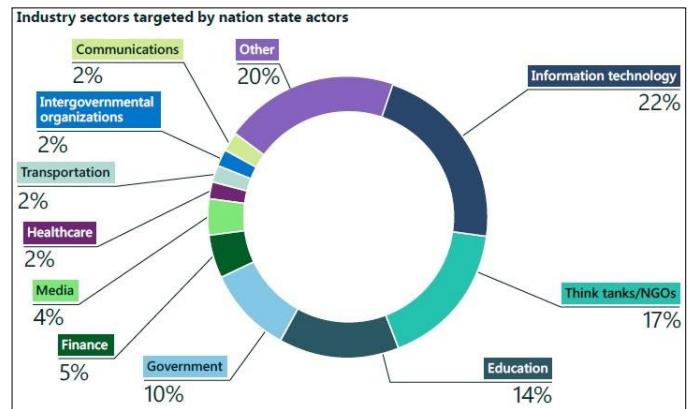


Fig. 2. Targets in industry sectors

### C. Threats to government's digital infrastructure

As governments all around the world are concerned about the security of their digital infrastructure, they are increasingly investing in cyber defense capabilities to counter the modern threats. Some governments also invest to support offensive operations and meddle with the technological capabilities of the enemy. A cyber-attack can cause similar damage of a conventional attack and its spectrum is very wide. Due to political developments in the last years, some geopolitical relationships have broken down by signaling much more tense relations in cyberspace. Cyber defense is considered a key challenge for the governments nowadays. Cyber-attacks may have a great impact even on the relations between countries and therefore it is necessary a greater cooperation between nations to share information about threats and attackers incyberspace.

Cyber attackers can use their access and privileges to destroy the data and software on a computer system or networks belonging to governmental institutions and officials. They also exploit possible vulnerabilities such as unpatched software on critical parts of the system in order to penetrate the other parts of the infrastructure. Cyber weapons can be an innocent-looking module or very complex and undetectable software especially those produced by other governments. Often the main goal is to take control of a system without the knowledge of the system's owner, using it for the attacker's purposes whenever they like.

Cyber actors have also increased use of ransomware as a tactic in their attacks. Such tools are developed by the so called criminal ecosystem mainly for financial gains. There are also cases when the attackers conduct just forms of vandalism to damage the system data and deny the access to legitimate users. Cyberattacks using cyber weapons are activities that would classified as crimes in their victim countries.

A particularly troubling issue with cyberattacks is their frequent use of identity deceptions of various kinds which makes tracking and punishment very difficult. It is obviously more difficult to prove responsibility for a cyberattack than for a conventional attack, since it is hard to trace where it came from. The rapid growth of mobile devices and apps, especially

smartphones and tablets, are leading to greater chances of cyber threats at workplaces.

### III. CYBERATTACKS ON IT INFRASTRUCTURE OF ALBANIAN GOVERNMENT

The destructive cyberattacks against the Albanian government IT infrastructure was conducted on July 15 2022. The main target of the attacks was the governmental platform e-Albania which at the time of the attack offered 1225 services to citizens [5]. All services were disrupted and no access was possible for several days. Due to the limited capabilities in expertise, and suspicions that the attack originated from anation state cyber actors, the Microsoft Detection and Response Team (DART) was engaged by the Albanian government to lead an investigation into the attacks [6]. The first and foremost task was to help the government rapidly recover from this cyber-attack. Some other foreign state actors were involved in the investigation of the attacks due to political related reasons revealed by the attackers [7]. According to the findings of DART, the attackers gained access to the network of an Albanian government in May 2021 by exploiting the a vulnerability on an unpatched SharePoint Server administrata.al and fortified access by July 2021 using a misconfigured service account that was a member of the local administrative group.

Evidence gathered during the forensic response indicated that Iran-affiliated actors conducted the attack. This evidence includes, but is not limited to:

- The attackers were observed operating out of Iran
- The attackers responsible for the intrusion and exfiltration of data used tools previously used by other known Iranian attackers.
- The attackers responsible for the intrusion and exfiltration of data targeted other sectors and countries that are consistent with Iranian interests.
- The wiper code was previously used by a known Iranian actor.
- The ransomware was signed by the same digital certificate used to sign other tools used by Iranian actors.

Some other evidences reinforced the confidence that the attackers were acting on behalf of the Iranian government. The main reason was the support of Albanian government for The People's Mujahedin Organization of Iran (MEK), an Iranian dissident group largely based in Albania that seeks to overthrow the Islamic Republic of Iran.

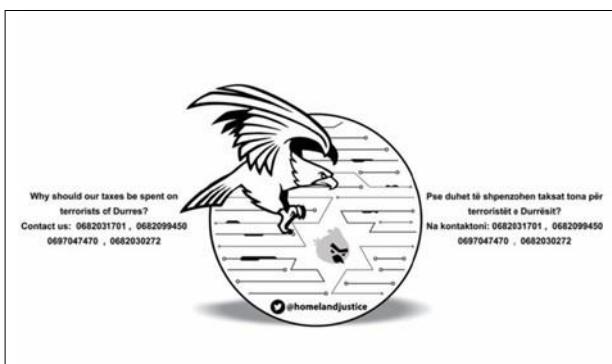


Fig. 3. The attacker's logo

The attacker's logo is an eagle preying on the symbol of the hacking group 'Predatory Sparrow' inside the Star of David. This signals that the attack on Albania was retaliation for Predatory Sparrow's operations against Iran, which Tehran perceives involved Israel. The message in the ransom image indicates that the MEK, a long-standing adversary of the Iranian regime, was the primary target behind their attack on the Albanian government.

The messaging linked to the attack closely mirrored the messaging used in cyberattacks against Iran which have nothing to do with any institution in Albania. According to [7], the Iranian state cyber actors acquired initial access to the IT infrastructure approximately 14 months before launching the destructive cyber-attack, which included a ransomware-style file encryptor and disk wiping malware. The actors maintained continuous network access for approximately a year, periodically accessing and exfiltrating e-mail content. During that time, they transferred about 20 GB data from the compromised server.

In June 2022, the Iranian hacking group known as HomeLand Justice created a website posting anti-MEK messages. On July 18, 2022, HomeLand Justice claimed credit for the cyber-attack on Albanian government infrastructure and on July 23, 2022, HomeLand Justice posted videos of the cyber-attacks on their website. Initially hosted as homelandjustice.ru, the website was subject of ban within the country. Today it still accessible under the domain name homelandjustice.cx. From late July to mid-August 2022, socialmedia accounts in Telegram associated with HomeLand Justice demonstrated a repeated pattern of advertising Albanian Government information for release.

In September 2022, Iranian cyber actors launched another wave of cyber-attacks against the Government of Albania, using similar Tactics, Techniques and Procedures (TTPs) and malware as the cyber-attacks in July. The main target was the Total Information Management System (TIMS) which is used by Albanian police at border control. TIMS helps automate things like passport checks and cross-referencing people on fugitive databases. The cyber-attack disrupted the TIMS services for several days until the system came gradually back to normal operation.

These malicious actions prompted the government to publicly attribute the July cyber-attacks and to sever diplomatic ties with Iran. Even after this moment, HomeLand Justice continues to publish online sensitive data about the institutions, high ranking officials in administration and individuals. The ban of the social media profiles in Telegram, serving as sources of data leaks, has been impossible so far.

### IV. ANALYSES OF FACTORS AND CONSEQUENCES

The main motivation for these attacks was political due to the fact that Albania has allowed about 3,000 members of the Iranian opposition group MEK to settle near Durres, the country's main port.

In the past, the government promoted continuously the online services as a great achievement by integrating thousands of them in one portal named e-Albania. In May 2022, the government had even closed in-person desk services in government offices and mandated the use of digital services via e-Albania. The government portal was used by all Albanians and even foreign residents for a wide range of online public services that were previously provided by desk services.

The Albania's National Agency for Information Society (AKSHI) is responsible for the administration and the security issues with considerable financial budget [8]. According to the development strategy, the investments were directed more towards functionality aspects and less to the enhancements of security capabilities. The personnel had standard cyber security trainings to carry not so complex security related tasks. Thus the agency was not prepared to face nation-states actors with unmatched significant offensive capabilities.

The political conflict slowly tuned into cyber conflict paving the way for Iranian state actors to conduct the cyberattacks against the critical infrastructure sectors on 15 July 2022. Because of the severity of the attacks, the Albanian government asked for the support the specialized teams from Microsoft and US security companies. According to the Microsoft Detection and Response Team (DART) report, the attackers gained access in the compromised network a year ago and frequently stole emails throughout 2021, giving them enough time to study the weaknesses and transfer some GB of sensitive and critical data which is being leaked periodically. The factors that led to the success of the attacks can be complex.

- The government did not focus properly on the security requirements for such critical infrastructure. The growing number of online services was not at the same rate with the improvements and attention to security services. Moreover, the centralized model implemented proved to be a single point of failure for the entire infrastructure. AKSHI temporarily shut down public services and all government websites usually accessible via the internet by denying at the same time those services to the citizens. As a consequence, during the attack, the AKSHI inter-dependent network including the website of the Prime Minister's Office, the country's Parliament, and the widely used governmental portal e-Albania was taken down to prevent further damage.
- Lack of cyber security personnel with advanced training to cope with complex and aggressive attacks. The political conflict signaled a growing concern about the use of cyber weapons which required fast and effective countermeasures to deal with possible attacks in the near future. Also the employment policy was not adequate to hire cyber security professionals and experts in the labor market due to the limits in financial support and salaries.
- The centralized management model is vulnerable to aggressive attacks such as Distributed Denials of Service Attacks (DDoS). Without the strong defense capabilities, the critical infrastructures will be threatened continuously and more likely the nation state actors will succeed to violate their availability.

- Security requires continuous monitoring and increasing the awareness of the response team about that is crucial. Negligence in ensuring the security of the critical system can bring big problems. Hence, it is necessary to remain vigilant which was not the case. The attackers exploited a vulnerability to the server unpatched software in order to compromise the entire IT network.

## V. CONCLUSIONS

Cyber security is undoubtedly the key focus of the 21st century. The lesson learned from this case is that cyber-attacks are inevitably disruptive and demand greater attention in today's interconnected governmental IT critical systems. The massive attack on Albanian government systems is yet another alarming incident drawing attention to the unprecedented surge in cyber operations sponsored by nation state actors against the public services sector.

With sophisticated and complex security threats in the IT environments posing new set of challenges for governments, organizations and individuals across the globe, there is a need for a high level of alertness. It is obvious that combating threats in the cyber space requires tremendous national and international cooperation, coupled with training and awareness as well as taking adequate precautionary actions.

Lack of education and training in the cyber security often escalate the level and intensity of threats. Therefore, governments should appoint cybersecurity specialists for coordinating the nation's cybersecurity policies and activities, initiate a national awareness and education campaign to promote cybersecurity. The government and private industry must work together as this has to be a shared responsibility for preserving the security objectives of critical infrastructure sectors.

## REFERENCES

- [1] <https://www.cisa.gov/uscert/ncas/alerts> [Accessed on Nov. 17th 2022]
- [2] W. Bayles, Network attack. *Parameters, US Army War College Quarterly*, 31, pp.44-58, 2001.
- [3] <https://www.microsoft.com/en-us/security/business/microsoft-digital-defense-report-2022> [Accessed on Nov. 18th 2022]
- [4] <https://www.cisa.gov/critical-infrastructure-sectors> [Accessed on Nov. 18th 2022]
- [5] <https://e-albania.al/Pages/Statistics/statistika.pdf> [Accessed on Nov. 18th 2022]
- [6] <https://www.microsoft.com/en-us/security/blog/2022/09/08/microsoft-investigates-iranian-attacks-against-the-albanian-government/>
- [7] <https://www.cisa.gov/uscert/sites/default/files/publications/aa22-264a-iranian-cyber-actors-conduct-cyber-operations-against-the-government-of-albania.pdf> [Accessed on Nov. 18th 2022]
- [8] <https://akshi.gov.al>

# Usability Evaluation Plan within an UX Design Process (UsabPlanInUXD)

## Planung einer Usability-Evaluierung im Rahmen des UX-Design-Prozess (UsabPlanInUXD)

Svetla Ivanova-Vassileva

FDIBA, Technical University of Sofia

Sofia, Bulgaria e-mail: vassileva@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** — This paper describes how to prepare a plan for usability evaluation. A variety of relevant methods and approaches are compared against criteria like possibility for application in different project (or lifecycle) steps, needed participants, evaluation environment, duration and resources, usability metrics and measured usability data. An example for application of an algorithm to choose an appropriate usability tool or method is given. Possibility to evaluate UX parallelly with usability is commented.

**Zusammenfassung** — Dieser Artikel beschreibt wie man einen Plan für die Usability-Evaluierung vorbereitet. Eine Vielzahl von relevanten Methoden und Ansätzen wird anhand von Kriterien wie Anwendungsmöglichkeit in verschiedenen Projekt- (oder Lebenszyklus-)Schritten, benötigte Teilnehmer, Umgebung, Dauer und Ressourcen der Evaluierung, Usability-Metriken und gemessene Usability-Daten verglichen. Es wird ein Beispiel für die Anwendung eines Algorithmus zur Auswahl eines geeigneten Usability-Tools oder -Verfahrens gegeben. Die Möglichkeit, UX parallel zur Usability zu evaluieren, wird kommentiert.

### I. INTRODUCTION

When digitalization is increasing fast its field in our working and free time environment the need of new systems is growing as well. User-centered design approach is not suitable anymore for the successful design of new products, systems, and services. The new ISO norm [1] about usability emphasizes the important connection between concepts for usability and User Experience Design (UXD). Professionals on this field are summarizing continuously the great number of methods and tools for usability and user experience evaluation [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12]. For the designers and developers is still not easy to choose among the variety of assessment approaches. So, this suggestion for evaluation plan could be a step forward to a better orientation.

### II. USABILITY AS A PART OF UXD

#### A. Usability

"User Experience Design" is often used as synonym of the terms "User Interface Design" and "Usability". Usability and User Interface (UI) -Design are certainly important aspects of UXD, parts of it. Usability is important at every UX design stage, but the definitions explain the different content of usability and UXD.

„Usability is extent to which a system, product or service can be used by specified users to achieve specified goals with effectiveness, efficiency and satisfaction in a specified context of use“. Quality in use has a similar definition to definition of usability with the explicit addition of “freedom from risk” in ISO /IEC 25010 2011 [13]. A product quality model – eight characteristics (functional suitability, reliability, performance efficiency, usability, security, compatibility, maintainability, and portability). Each characteristic is composed of a set of related subcharacteristics. In a UXD process created products are expected to be valuable, useful, desirable, accessible, credible, findable and usable [14].

#### B. User Experience

„No product is an island. A product is more than the product. It is a cohesive, integrated set of experiences. Think through all of the stages of a product or service - from initial intentions through final reflections, from first usage to help, service, and maintenance. Make them all work together seamlessly.“ Don Norman, the inventor of the term UX.

The term User Experience (UX) describes the experience during user's interactions with a product, system, equipment, facility, environment, service, etc. and includes all aspects of experience in the common use. It is defined in ISO 9241-210 and ISO 9241-11 as „user's perceptions and responses that result from the use and/or anticipated use of a system, product or service. Users' perceptions and responses include the users' emotions, beliefs, preferences, perceptions, comfort, behaviours, and accomplishments that occur ... before, during and after use. User experience is a consequence of brand image, presentation, functionality, system performance, interactive behaviour, and assistive capabilities of a system, product or service. It also results from the user's internal and physical state resulting from prior experiences, attitudes, skills, abilities and personality; and from the context of use. User experience is the user's perceptions and responses that result from the use and/or anticipated use of a system, product or service. User experience focuses on the nature of these responses before, during and after use“ [1, 15].

User Experience is based on three product properties look, feel and usability. That shows the important role of usability not only as a relevant design goal, but also as a precondition for the UXD, which usually has following steps: 1. analyses of users and functions 2. preparation of prototypes 3. repetition of step 1 and 2 until validation of ideas is completed. 4. development. User Experience Design (UXD) is a process, that designers follow for product development, so they provide users with meaningful and relevant experiences. This affects the entire design process of capturing and integrating the product, including aspects of branding, design, usability, and functionality. The process begins before the device is in users' hands [14].

### III. USABILITY AND UX EVALUATION

A great number of usability methods are compared and described [12]. Comparing a wide range of usability evaluation methods and technics they can be summarized in following categories:

*First group:* 1. Observation of users' behavior using the system, product or service. There are different kinds of observations – 2.1 field, 2.2 direct and 2.3 indirect observation, 2.4. logging, 2.5 eyes movement registry and 2.6 the Wizard of Oz method. The indirect observation includes video and audio recording, verbal protocols and evaluation in team like Thinking-Aloud Protocol, Post-Event Protocol, Teaching Method, Co-discovery learning, Shadowing Method, Question- Asking-Protocol.

*Second group:* 2. Users' opinions inquiry. Different kinds are 2.1 interviews (incl. prompted interviews, etc.), 2.2 questionnaires, 2.3 incident diary and 2.4 ranking order method.

*Third group:* 3. Experimental approach, where pertain 3.1 experiments and 3.2 Benchmarking.

*Fourth group:* 4. The interpretive approach includes 4.1 scenarios, 4.2 co-operative evaluation, and 4.3 ethnography.

*Fifth group:* 5. Predictive approach has two main kinds 5.1 modelling and 5.2 inspection methods, where the heuristic evaluation, usage simulation, walkthrough (cognitive walkthrough, pluralistic walkthrough), consistency inspection, general design inspection, feature inspection and perspective- based inspection belong.

The methods in the third group are an appropriate choice, if a check of compliance with standards and rules is the evaluation goal. If the purpose of the evaluation is the high quality, then are the experimental and the inquiry approach the most appropriate choice. The observation and predictive approach are acceptable option. If the comparison of designs is expected, then first, second and fifth group are the best decision and the third is applicable. When users work and systems compliance with environment are evaluated, the proper methods are from the first, second and fourth group.

#### Usability evaluation algorithm

for example, depending on access to users

1. YES: Usability test. (If NO – then go to item 2)

Depending on physical availability of users

1.1 YES: Depending on the participation of users in the design process. (If NO – then go to item 1.2)

1.1.1 YES: Prototyping. Participatory design. Focus groups. (If NO – next)

1.1.2 NO: Depending on the place of evaluation – Field study or not?

1.1.2.1 YES: Mobile lab for usability testing. Field study. Contextual inquiry. (If NO – next)

1.1.2.2 NO: In lab for usability testing. Depending on performance evaluation:

1.1.2.2.1 YES: Performance measurement (If NO – next)

1.1.2.2.2 NO: Depending on users' actions measurement:

1.1.2.2.2.1 YES: Automatic data recording of logging. Eyes movement (fixation) registry (If NO – next)

1.1.2.2.2.2 NO: Subjective opinion?

1.1.2.2.2.2.1 YES: Interview. Questionnaire. Checklist. (If NO – next)

1.1.2.2.2.2.2 NO: User comments?

1.1.2.2.2.2.2.1 YES: Thinking-Aloud protocol. Question-Asking protocol. Post-Event Protocol. (If NO – next)

1.1.2.2.2.2.2.2 NO: May another user comment task performance?

1.1.2.2.2.2.2.2.1 YES: Is this participant also expert on this field? (If NO – then go to item 1.1.2.2.2.2.2)

1.1.2.2.2.2.2.2.1.1 YES: Couching method. Co-discovery learning. (If NO – next)

1.1.2.2.2.2.2.2.2.1.2 NO: Teaching method

1.1.2.2.2.2.2.2.2.2 NO: Retrospective testing.

1.2 NO: Remote usability testing.

2. NO: Inspection methods: Evaluation in a usability lab?

2.1 YES: Prototypes design. Classical walkthrough. Cognitive walkthrough. Formal inspection. (If NO – next)

2.2 NO: Heuristic evaluation. Guidelines review approach

Fig. 1. Example for usability evaluation algorithm

TABLE I. USABILITY EVALUATION METHODS – PARTICIPANTS AND ENVIRONMENT

Method	Participants	Environment
1. Usability test (1.1.2.1)	min 6 U/ Sev, in 2-3groups 2 UE 1 Assistant	LAB/RE
1.1.2.2.2.2.2.1 Thinking-Aloud Protocol	3 groups x 3-10 U 1 UE Test Manager	UT, LAB/RE
1.1.2.2.2.2.2.1 Question Asking Protocol	2-3 groups x 3-8 U 1 UE Test Manager	UT, LAB/RE
1.1.2.2.2.2.2.2.1.2 Teaching method	2-3 groups x 2-8 U 1 UE Test Manager	UT, LAB/RE
1.1.2.2.2.2.2.2.1 Post-Event Protocol	5-10 U 1 UE Test Manager	UT, LAB/RE
1.1.2.2.2.1 Automatic data recording / Logging	minimum 30 U	UT, LAB/RE
1.1.2.2.2.1 Eyes movement (fixation) registry	15-20 U (minimum 30 U Heatmaps) 1 UE Test Manager	LAB/RE/UT
1.1.2.2.2.2.1 Questionnaire	50-1000 U	LAB/RE/Web/PC/Mob/UT
1.1.2.2.2.2.1 Interview	5 U 1 UE Test Manager	LAB/RE/UT
1.1.1 Focus groups	3-10 rp. C no 8-10 U 1 UE Moderator	LAB
1.1.2.2.2.2.1 Surveyy, inquiry, checklist	100-1000 U	LAB/RE/Web/PC/Mob
1.1.2.1 Contextual inquiry	10-20 U 1 UE Test Manager	RE/LAB limited application
1.1.2.1 Field study	6-8 U 1 UE Test Manager	RE/LAB limited application
1.1.1 Prototyping	Tdev /Tdes	LAB
1.1.1 Participatory design	1 or more U Sev/Tdes / Tdev	LAB
1.1.1 Card sorting	10-20 U 1 UE -moderator	LAB/RE
2 Heuristic evaluation	3-5 L/sUE/dUE	Web/PC/Mob/UT
2.1 Classical Walkthrough	1 or more Se/TDes/ TDev 1 UE -moderator	LAB
2.1 Cognitive Walkthrough	1-4 UE 0-2 Se StH	LAB/UT
2.1 Pluralistic Walkthrough	2-3 U 1-2 TDes 2 UE moderators	LAB
Impact Analysis	maximum StH 1 UE moderator	LAB
2.1 Formal inspection	1 UE moderator 1 TDev 3-5 UE inspectors 1 UE protocolor	LAB
2.2 Guidelines review approach	3-5 L/sUE/dUE	Web/UT
1.1.2.2.1 Performance measurement (Performance test)	8-10 U each group	UT, LAB
<b>Participants:</b> eU - Expert user, U - User, TDev - Team developer, TDes - Team designer, dUE - Double usability expert, sUE – Single usability expert, UE – Usability expert, Se-Software expert, StH - Stakeholder, L - Laic		
<b>Environment:</b> UT Usability test, RE Real environment as office, car etc., LAB Usability test laboratory, PC, Web, Mob		

Usability evaluation algorithm for example, depending on access to users is described (fig. 1). Two main groups of evaluation methods exist: first group includes a variety of possibilities for accessible users and in the second group are the inspection methods. If users are available, next choice condition relates to physical availability of users (remote testing or not). Next decision is the participation of users in the design process, then - place of evaluation, and - type of lab, further - performance evaluation etc.

Further information about the methods, included in the algorithm is given in Tables 1-5. The comparison is about participants, evaluation environment, possibility for application in different project (or lifecycle) steps, duration and resources, usability metrics and measured usability data.

TABLE II. USABILITY EVALUATION METHODS – APPLICATION (OR LIFECYCLE) STEP

Method	Application (or lifecycle) step
1. Usability test (1.1.2.1)	V RV E
1.1.2.2.2.2.1 Thinking-Aloud Protocol	V RV E
1.1.2.2.2.2.1 Question Asking Protocol	V RV E
1.1.2.2.2.2.2.1.2 Teaching method	V RV E
1.1.2.2.2.2.2.1 Post-Event Protocol	V RV E
1.1.2.2.2.1 Automatic data recording / Logging	A TA V RV E
1.1.2.2.2.1 Eyes movement (fixation) registry	V RV E
1.1.2.2.2.2.1 Questionnaire	A TA D V RV E
1.1.2.2.2.2.1 Interview	A TA, FUD V RV limited application E
1.1.1 Focus groups	A TA, FUV - limited application RV - limited application E
1.1.2.2.2.2.1 Surveyy, inquiry, checklist	A V - limited application RV - limited application E
1.1.2.1 Contextual inquiry	A TA, FUD limited application
1.1.2.1 Field study	A TA V RV
1.1.1 Prototyping	D V
1.1.1 Participatory design	D V RV - limited application
1.1.1 Card sorting	A TA D V
2 Heuristic evaluation	D V RV
2.1 Classical Walkthrough	D V
2.1 Cognitive Walkthrough	D V RV limited application
2.1 Pluralistic Walkthrough	D V
Impact Analysis	D V
2.1 Formal inspection	A limited application RV E
2.2 Guidelines review approach	A limited application D V RV
1.1.2.2.1 Performance measurement (Performance test)	V limited RV limited application E
A - Analysis of use context, D - Design and development, V - Variants, RV -Requirements verification, E - System evaluation	
TA Task analyses, FU Focus user	

TABLE III. USABILITY EVALUATION METHODS – DURATION, RESOURCES

Method	Duration	Resources
1. Usability test (1.1.2.1)	1-3 hours	Expensive method
1.1.2.2.2.2.1 Thinking-Aloud Protocol	Depending on complexity of executed tasks	Inexpensive method, but time-consuming analyses
1.1.2.2.2.2.1 Question Asking Protocol	Depending on complexity of executed tasks	Inexpensive method, but time-consuming analyses
1.1.2.2.2.2.2.1.2 Teaching method	Depending on intended tasks	Inexpensive method, but time-consuming analyses
1.1.2.2.2.2.2.1 Post-Event Protocol	Depending on intended tasks and record durations	Time-consuming and high financial resources, time-consuming analyses
1.1.2.2.2.1 Automatic data recording / Logging	Depending on intended goals and task complexity	Minimal technical and financial resources
1.1.2.2.2.1 Eyes movement (fixation) registry	30 min. – 2 hours	Expensive method and time-consuming analyses
1.1.2.2.2.1 Questionnaire	Depending on questionnaire and application approach	Inexpensive method
1.1.2.2.2.2.1 Interview	Up to 1 hour	Time-consuming and high financial resources (number of participants), time-consuming analyses
1.1.1 Focus groups	1-2 hours every session	Inexpensive method
1.1.2.2.2.2.1 Surveyy, inquiry, checklist	Depending on the application approach	Sometimes time-consuming and expensive method
1.1.2.1 Contextual inquiry	2-3 hours every session	Time-consuming method
1.1.2.1 Field study	Optimal results for single session ca. 1 hour	Expensive and time-consuming
1.1.1 Prototyping	Depending on goals and prototype	Financially beneficial
1.1.1 Participatory design	Depending on goals	Expensive method
1.1.1 Card sorting	1-2 hours	Inexpensive, easy, but time-consuming method
2 Heuristic evaluation	1-2 hours depending on complexity	Perfect ratio costs-resources
2.1 Classical Walkthrough	Up to 2 hours	Minimal financial resources
2.1 Cognitive Walkthrough	Up to 2 hours (3 hours by exception)	Time-consuming method
2.1 Pluralistic Walkthrough	Depending on the slowest participant	Minimal financial and time resources
Impact Analysis	Depending on complexity of executed tasks	Minimal financial and time resources
2.1 Formal inspection	Several weeks	Time-consuming and large number of team members, time-consuming preparation
2.2 Guidelines review approach	Depending on interface complexity	Good ratio costs-resources
1.1.2.2.1 Performance measurement	Depending on goals and complexity of executed tasks	Minimal technical and financial resources

The overview of usability methods includes a comparison of 24 evaluation techniques and approaches. Table 1 is about the participants and the environment, where they interact. The evaluation participants are different experts, team members and actual users or stakeholders. The environments are real conditions as office, car etc. or usability laboratory. Some methods require many participants (like checklists, questionnaires), other (interviews, post-event protocol, heuristic evaluation) have between 5 and 10 participants. Needed participants are following types: users, experts (interface designers, usability engineers, UX, etc.), laymen, developers. Environment differences are in a lab or in real conditions (field study about desktop, web, mobile application, etc.).

The application of methods in different stages is presented in Table 2.

Resources are time – total, for one user, one meeting, one record, etc. Time is also: to conduct, and/or analyze. Other resources are the financial, technical, other ones (see Table 3). Usability metrics as effectiveness, efficiency, satisfaction are described in Table 4.

TABLE IV. USABILITY EVALUATION METHODS – METRICS

Method	Usability metrics
<b>1. Usability test (1.1.2.1)</b>	Effectiveness, Efficiency, Satisfaction
<b>1.1.2.2.2.2.1 Thinking-Aloud Protocol</b>	Effectiveness Satisfaction
<b>1.1.2.2.2.2.1 Question Asking Protocol</b>	Effectiveness Satisfaction
1.1.2.2.2.2.2.1.2 Teaching method	Effectiveness Satisfaction
<b>1.1.2.2.2.2.2.1 Post-Event Protocol</b>	Effectiveness Satisfaction
<b>1.1.2.2.2.1 Automatic data recording / Logging</b>	Effectiveness Efficiency
<b>1.1.2.2.2.1 Eyes movement (fixation) registry</b>	Effectiveness Efficiency
<b>1.1.2.2.2.1 Questionnaire</b>	Effectiveness for specific design Efficiency for specific design Satisfaction
<b>1.1.2.2.2.1 Interview</b>	Effectiveness for specific design Satisfaction
<b>1.1.1 Focus groups</b>	Effectiveness Satisfaction
<b>1.1.2.2.2.1 Surveyy, inquiry, checklist</b>	Effectiveness for specific design Efficiency for specific design Satisfaction
<b>1.1.2.1 Contextual inquiry</b>	Effectiveness for specific design Satisfaction
<b>1.1.2.1 Field study</b>	Effectiveness Satisfaction
<b>1.1.1 Prototyping</b>	Effectiveness Efficiency
<b>1.1.1 Participatory design</b>	Effectiveness Satisfaction
<b>1.1.1 Card sorting</b>	Effectiveness Satisfaction
<b>2 Heuristic evaluation</b>	Effectiveness Efficiency
<b>2.1 Classical Walkthrough</b>	Effectiveness
<b>2.1 Cognitive Walkthrough</b>	Effectiveness
<b>2.1 Pluralistic Walkthrough</b>	Effectiveness
Impact Analysis	
<b>2.1 Formal inspection</b>	
<b>2.2 Guidelines review approach</b>	
<b>1.1.2.2.1 Performance measurement</b> (Performance test)	Effectiveness Efficiency

TABLE V. USABILITY EVALUATION METHODS APPLICABLE TO UXD

Method	Application in UXD for emotions and attitude analyses
<b>1. Usability test (1.1.2.1)</b>	Extended usability test
<b>1.1.2.2.2.2.1 Thinking-Aloud Protocol</b>	Applicable
<b>1.1.2.2.2.2.1 Question Asking Protocol</b>	Applicable
1.1.2.2.2.2.2.1.2 Teaching method	
<b>1.1.2.2.2.2.1 Post-Event Protocol</b>	Applicable
1.1.2.2.2.1 Automatic data recording / <b>Logging</b>	Via logging no information
<b>1.1.2.2.2.1 Eyes movement (fixation) registry</b>	Applicable
Method	Application in UXD for emotions and attitude analyses
<b>1.1.2.2.2.2.1 Questionnaire</b>	Applicable if questions about these aspects
<b>1.1.2.2.2.1 Interview</b>	Applicable if questions about these aspects
<b>1.1.1 Focus groups</b>	Typical UX approach
<b>1.1.2.2.2.1 Surveyy, inquiry, checklist</b>	Applicable if items about these aspects
<b>1.1.2.1 Contextual inquiry</b>	
<b>1.1.2.1 Field study</b>	Applicable
<b>1.1.1 Prototyping</b>	Applicable
<b>1.1.1 Participatory design</b>	Applicable
<b>1.1.1 Card sorting</b>	Typical UX approach
<b>2 Heuristic evaluation</b>	UX heuristics
<b>2.1 Classical Walkthrough</b>	Applicable
<b>2.1 Cognitive Walkthrough</b>	Applicable
<b>2.1 Pluralistic Walkthrough</b>	Applicable
Impact Analysis	
<b>2.1 Formal inspection</b>	
<b>2.2 Guidelines review approach</b>	
<b>1.1.2.2.1 Performance measurement</b> (Performance test)	

The possibility to apply some of these usability evaluation methods in UXD process as wider instruments appropriate to evaluate UX aspects as emotions, attitudes, etc. is given in Table V. Some usability techniques as Focus groups, Card sorting and tools are typical UX instruments. UX professionals usually are experts minimum two of six different fields - they are analyst and researchers, information architect, interaction designer, usability experts and (or) engineers, content designer, visualization designer.

#### IV. SUMMARY AND OUTLOOK

The described evaluation methods and tools are only a part of the exiting variety of technics. They are chosen as relevant list of popular among the developers, designers and other practitioners. A practical algorithm to choose appropriate usability and UX method could be prepared depending on the availability of evaluation object – prototype. Or time limits could be the argument to initial choice of an evaluation approach.

## REFERENCES

- [1] International Standard Organization, ISO 9241-11 (2018) Ergonomics of human-system interaction - Part 11: Usability: Definitions and concepts
- [2] Nielsen, J. *Usability Engineering*. San Francisco, Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1993
- [3] Nielsen, J., Usability Inspection Methods. John Wiley & Sons, New York, 1994
- [4] Faulkner, Xr Usability Engineering. New York, Palgrave Macmillan, 2000
- [5] Preece, J., Y. Rogers, H. Sharp, D. Benyon, S. Holland, and T. Carey, *Human Computer Interaction*. Harlow, England: Addison-Wesley, 1994.
- [6] 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
- [7] 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
- [8] Pearrow, M., *Web Site Usability Handbook*, Charls River Media Inc., Rockland, Massachusetts, 2000
- [9] Boehringer J., P. Buehler, P. Schlaich, *Kompendium der Mediengestaltung für Digital- und Printmedien*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008
- [10] Galitz, W. O., *The Essential Guide to User Interface Design*. An Introduction to GUI Design Principles and Techniques, Wiley Publishing Inc., Indianapolis, 2007
- [11] Hix, D., H. R. Hartson, *Developing User Interfaces*: Ensuring usability through product & process, John Wiley and Sons, New York, 1993
- [12] Ivanova-Vassileva, S., *Research on The Relation Usability-Performance-Acceptability of Graphical User Interfaces*, PhD Thesis (in Bulgarian language), TU-Sofia, Sofia, 2018
- [13] 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
- [14] Soegaard, M., Usability: A part of the User Experience, <https://www.interaction-design.org/literature/article/usability-a-part-of-the-user-experience>, 09.2022
- [15] International Organization for Standardization (ISO) ISO 9241-210 Ergonomics of human system interaction - Part 210: Human-centred design for interactive systems, 2009

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

# Electronic waste management: A review of the limiting factors and robotic solutions

## Elektronik-Altgeräte-Management: Eine Übersicht der limitierenden Faktoren und Roboterlösungen

Dimitar Iliev

Faculty of German Engineering Education and Industrial Management, Technical University of Sofia  
Magdeburg, Germany, e-mail: dimitar.iliev@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** — According to the Global E-Waste Monitor 2020 [1], in the year 2019, nearly 53.6 million metric tons (Mt) of e-waste (excluding PV panels) was generated, but only 17.4 % was formally collected and recycled. In this article, the limiting factors, which have led to these low recycling rates, will be examined as well as the state-of-the-art robotic solutions applied in practice today. Lastly, a novel method for improving the e-waste management system, based on multirobot collaboration, was proposed.

**Zusammenfassung** — Laut dem “Global E-Waste Monitor 2020“ [1] wurden im Jahr 2019 fast 53,6 Millionen metrische Tonnen (Mt) Elektronik-Altgeräte (ausschließlich PV-Module) erzeugt, jedoch wurden davon nur 17,4 % offiziell gesammelt und recycelt. In diesem Artikel werden die limitierenden Faktoren, die zu diesen niedrigen Recyclingquoten geführt haben, sowie die heute in der Praxis eingesetzten State-of-the-Art Roboterlösungen untersucht. Schließlich wird eine neue Methode zur Optimierung des Elektronik-Altgeräte-Managementsystems vorgeschlagen, die auf der „multirobot collaboration“ basiert.

### I. INTRODUCTION

“There is 100 times more gold in a tonne of mobile phones than in a tonne of gold ore” [2, p. 5]. Additional support for this claim arrives from Kumar *et al.* [3] who state that the concentration of metals in e-waste is significantly higher than that found in natural ores from which these metals are extracted, and almost 130 times higher in the case of gold.

Despite such findings, 43.7 million metric tons of e-waste are still undocumented and unknown [1]. Forti *et al.* [1] estimate that around 8% of global e-waste is disposed of in general waste bins, leading to environmental pollution and material loss due to the fact that it is landfilled or incinerated. Furthermore, a significant amount of e-waste, in the range of 7% to 20%, is exported for informal disposal in developing countries where its improper treatment presents significant risks to both the environment and human health. According to [4], some of these risks are the release of heavy metals such as mercury and lead, as well as greenhouse gases discharged from cooling and freezing equipment.

Most experts agree that e-waste is a hazardous material that can be turned into a valuable economic resource if properly reused or recycled [1] – [4]. However, current trends show an increase in the generation of e-waste, which according to [5] could reach 110 Mt by 2050. To gain a better understanding on this issue, we must first define what e-waste actually is.

#### A. E-Waste Definition

E-waste is a broad term which does not currently have a globally accepted definition. Some experts simply define it as “anything with a plug, electric cord or battery... that has reached the end of its life, as well as the components that make up these end-of-life products.” [2]. However, such ubiquitous definitions do not illustrate just how broad and varied the “fastest growing waste stream in the EU” [4] truly is, nor how

customers determine when a product has reached the end of its useful life. These are just two of the factors which significantly contribute to the e-waste management problem.

The terms e-waste and waste electrical and electronic equipment (WEEE) are used interchangeably throughout the literature and differ from the term electrical and electronic equipment (EEE). To gain a full understanding of what e-waste is, the terms EEE and WEEE need to be further defined. For the purposes of this article, the definitions found in the European Union’s (EU’s) WEEE directive [6] will be used. This is owed to the fact that Europe is the global leader in e-waste recycling, with 42.5% of its generated e-waste documented to be collected and properly recycled [1]. According to the directive, EEE stands for:

equipment which is dependent on electric currents or electromagnetic fields in order to work properly and equipment for the generation, transfer and measurement of such currents and fields and designed for use with a voltage rating not exceeding 1000 volts for alternating current and 1500 volts for direct current [6, p. 3].

In the same document, WEEE is defined as:

electrical or electronic equipment which is waste within the meaning of Article 3(1) of Directive 2008/98/EC, including all components, sub-assemblies and consumables which are part of the product at the time of discarding [6, p. 4].

It is worth mentioning that this directive does not apply to some EEE. Most notably, to batteries and type-approved vehicles, because batteries are covered by the Batteries Directive [7, p. 7], whereas type-approved vehicles, such as cars and planes, are excluded in order to differentiate between them and those which are not type-approved, such as electric rollers and electric bikes [7, p. 29].

Since the global quantity of e-waste is made up of many different types of EEE, which contain unequally harmful and unequally valuable materials, it is important to classify the EEE into categories which will make the e-waste more manageable [8].

## B. E-Waste Classification

There is no globally accepted standard for classifying e-waste; however, there are some effective examples.

In Japan, the Home Appliance Recycling Law increased the country's recycling rates to approximately 55%, after being introduced in 2001 [9]. It classifies e-waste into 4 categories: (1) televisions, (2) refrigerators, (3) washing machines and (4) air conditioners [10].

However, in the EU, from the 15<sup>th</sup> of August 2018, the WEEE directive classifies all EEE into 6 different categories (EU-6) [7]: (1) Temperature exchange equipment, (2) Screens and monitors, (3) Lamps, (4) Large Equipment (any external dimension greater than 50 cm), (5) Small equipment (no external dimension greater than 50 cm) and (6) Small IT and telecommunication equipment [6, p. 26].

The differences in how countries classify e-waste overcomplicate its management on a global scale. These different classifications, however, are comparable to each other and can be interpreted as subparts of a broader classification which includes all available EEE. One such classification was created by Wang *et al.* of the United Nations University and is called UNU-KEYS [11]. This classification can be used to sort all WEEE items into 58 categories which are organized based on three perspectives: "product type (functionality and industry sector), waste management (return stream characteristics) and legislative relevancy (material composition, hazardous and valuable content)" [11, p. 1].

The ability to categorize WEEE based on its functionality, weight, and material contents makes the UNU-KEYS classification valuable not only for statistical purposes, but also for computer vision algorithms which require clean data to perform object recognition.

## C. E-Waste Management

According to Premalatha *et al.*, all e-waste management strategies must be built around the following three imperatives: (1) Reduce the generation of e-waste, (2) Develop cleaner methods for the production, operation, and disposal of e-goods, and (3) Develop technology for the gainful use and disposal of the accumulated e-waste [10, p. 1619]. These strategies correspond to the waste management hierarchy known as "Lansink's Ladder", proposed by Dr. Ad Lansink in 1979.

Lansink's Ladder is a sequence of management options ordered from most to least environmentally desirable: Prevention, Reuse, Recycling, Recovery and Disposal [12]. This hierarchy also holds true in the context of e-waste management, where the main goals are to reduce the generation of e-waste and recover its valuable materials with the overall goal of reducing the negative impacts of e-waste on the environment and therefore on human health.

The following chapters will examine the e-waste management processes, the limiting factors, and the robotic solutions for each step of Lansink's Ladder.

## II. PREVENTING E-WASTE

In [2, p. 6] the authors state that "designers, manufacturers, investors, traders, miners, raw material producers, consumers, policy-makers and others have a crucial role to play in reducing waste". To gain a better understanding of this complex issue, the relations between the main stakeholders, as well as the underlying processes of e-waste management were graphically summarized in Fig. 1.

Starting with EEE producers, the management of e-waste begins before the product has even been manufactured with the

environmentally oriented product design imposed by the Extended Producer Responsibility (EPR) concept. The EPR concept was first introduced in Germany in 1991. It aims to prevent the generation of e-waste by extending the producer's responsibilities beyond a product's useful life, from the early design phase until the final disposal [10]. "An example is to design a product in a way that it is energy efficient during use, generates less waste and especially hazardous waste at end-of-life, and facilitates recovery, reuse, and recycling" [10, p. 1621]. Many countries have based their e-waste legislation on the EPR concept [10], which has led many companies to make global commitments to design products without hazardous materials and keep waste out of the electronics value chain [2].

Consumers are also major stakeholders in e-waste recycling, along with governments, producers and recyclers [9]. Ultimately, it is the consumers who determine when an electronic product has reached its end-of-life. Consumers are responsible for properly disposing of their e-waste, for example in recycling containers [13] or by returning the product to its producer through a take-back system [10]. In some countries, consumers are also the main financers of the recycling system [9]. For example, in Switzerland, consumers have to pay a recycling fee upfront, whereas in Japan "consumers have to pay an end-of-life fee that covers part of the recycling and transportation expenses" [10, p. 1627].

Educating consumers about their role in e-waste management can reduce the generation of e-waste and increase formal recycling rates. In [14, p. 1] the authors present the EDUCABOT3D project, which seeks "to raise awareness among students and the community about reducing the bad disposition [disposal] of electronic waste, through environmental education, using an informative booklet and teaching robotics".

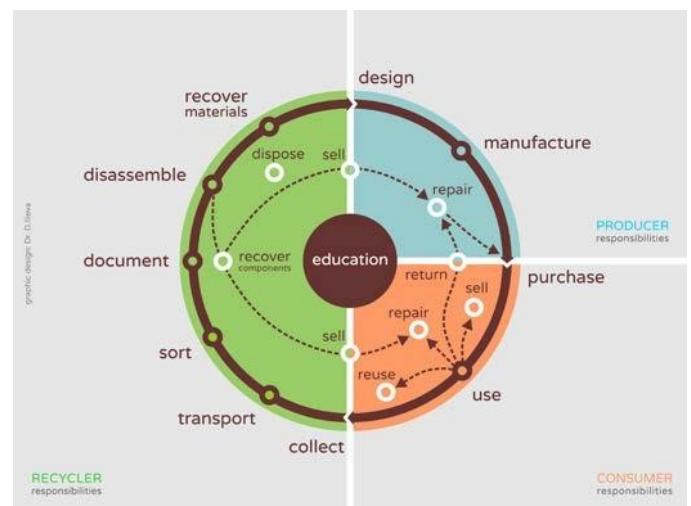


Fig. 1. E-waste management processes and responsibilities

## III. REUSING E-WASTE

Namias (2013) claims that "Reuse, refurbishment or repair of electronic products is [the] most desirable [EoL option] since this option increases the lifespan of the electronic product in order to achieve greater resource efficiency." [15, p. 7]. An important aspect of reusing EEE is to separate the working products from the damaged ones and to evaluate the performance of the product [16]. These tasks are still too complicated to be automated and require manual labor.

When the whole product cannot be reused, some of its components might still be reused. Li *et al.* state that in the United States "The dismantling process has yielded more

components for reuse in secondary markets.” [17, p. 930] compared to the shredding process. Wang *et al.* agrees, stating that “Separating the reusable components [of desktop computers] can definitely bring extra profit to the dismantlers” [18, p. 2139]. Reusing components can not only be profitable but also energy efficient, as Hellwig states “it is more energy efficient to salvage an aluminium heat sink from a de-manufactured device and re-use it, than it is to fabricate a new one from virgin materials.” [19, p. 6].

Robots can be used in the disassembling process to salvage reusable components. For example, Apple’s robot systems Liam and Daisy are capable of disassembling iPhones and sorting their components, such as the rear camera, speaker, main logic board, etc. [20]. Another possible robotic solution is to reuse e-waste by building functionally limited robots for educational purposes as suggested by Bula *et al.* [21].

#### IV. RECYCLING E-WASTE

According to Kumar *et al.*, the three main reasons for recycling e-waste are economic, environmental, as well as public health and safety [3]. The economic benefits include the value of recovered materials, the generation of electrical, and thermal energy and the creation of jobs [22], [3]. The environmental benefits include reduced water, soil and air pollution, by properly treating hazardous materials, and reduced greenhouse gas emissions due to the significant energysavings gained from recycling rather than producing new metals [3, p. 36], [22]. The public health and safety benefits are the reduced risks of adverse health effects associated with unregulated e-waste recycling such as adverse effects on the cardiovascular, respiratory and immune system [1, p. 64]. Namias (2013) confirms this by stating that “Recycling of electronics allows for precious and special metals to be recovered, reduces the environmental impact associated with electronic manufacturing from raw materials, and ensures that hazardous and toxic substances are handled properly.” [15].

E-waste recycling is generally divided into two stages, pre-processing and end-processing. Pre-processing includes the processes sorting, disassembling, shredding, mechanical separation and grinding into bulk powder [3], [19]. The goals of pre-processing are to remove hazardous materials and separate the various material streams such as metals, glass, and plastics [3]. End-processing includes pyrometallurgical, hydrometallurgical and biometallurgical processes, which aim to “recover valuable metals from the concentrate obtained after pre-processing and [are] mostly used to recover and purify copper, gold, silver and palladium” [3].

One reason for the low recycling rates is the complexity of the e-waste stream. It contains up to 69 elements from the periodic table [1], however, it is mainly composed of metals (~60 % weight) and plastics (~15.21 % weight) [23]. To reduce the complexity and preserve the quality of the materials, the e-waste stream must be sorted, and the individual products disassembled before moving onto more destructive processes like shredding and grinding.

The limiting factors, which inhibit the effective robotic sorting and disassembling of WEEE, are the variety of the products, their design, which is not optimized for easy disassembly, and their lack of machine-readable features. In the context of recycling lithium-ion batteries from electric vehicles, Harper *et al.* state that the use of “adhesives, bonding methods and fixtures do not lend themselves to easy deconstruction either by hand or machine.” [12, p. 84]. They go on to say that recent computer vision algorithms are capable of recognizing objects and materials based on their physical characteristics; however, it could be beneficial for the recycling process if manufacturers included “labels, QR Codes, RFID

tags or other machine-readable features on key battery components and sub-structures” [12, p. 77]. Although focused on batteries, the same points can be made for other e-waste product types. In fact, an interesting parallel can be drawn between lead-acid batteries and other EEE and that is standardization. As the authors note: “lead-acid batteries are relatively standardized and simple to disassemble and recycle, which minimizes costs, allowing the value of lead to drive recycling.” [12, p. 84]. If the same cannot be done for other electronic products, which depend on their unique design to drive sales, then a new solution is required which will produce similar results. One such solution is proposed in the Discussion section of this article.

Nevertheless, some robotic solutions have managed to overcome these challenges and automate the sorting and disassembling processes.

##### A. Robotic Sorting

E-waste can be sorted by many different attributes such as product type, material content, size, etc. “Optisort” is a system which uses computer vision algorithms to recognize and sort AA and AAA batteries according to their chemical composition [12], [24]. E-waste can also be sorted depending on the condition of the products. The WEEE ID project funded by VINNOVA (Swedish Agency for Innovation Systems) partnered with ReFind Technologies to develop an intelligent, automated sorting system which “uses sensors and intelligent data processing to detect almost in real time whether used electronic products are good for reuse, refurbishment or recycling, and sorts them accordingly” [25, p. 460]. Another way to sort e-waste is by its material contents. Gundupalli *et al.* developed a procedure based on thermal imaging which classifies e-waste materials into 4 categories: metal, plastic, glass, and printed circuit board (PCB). They report a classification success rate in a simulated e-waste stream in the range of 84 – 96% [26].

##### B. Robotic Disassembling

The automated disassembly of WEEE is a complex problem which does not have a generic solution. However, some producers of EEE have been able to develop product-specific disassembly robots. For example, Apple’s Liam and Daisy robot systems. The Liam system is comprised of 29 robots capable of disassembling an iPhone 6 phone into 8 discrete components in 11 seconds [27], while the Daisy robot is claimed to be capable of disassembling nine versions of the iPhone with a rate of 200 devices per hour and with greater efficiency, compared to existing techniques, such as shredding [20]. In addition to its speed and efficiency, Apple claims that the Daisy robot can “recover materials that traditional recyclers can’t” [20, p. 22]. Similarly, Marconi *et al.* developed a prototype for a cost-effective robotic cell capable of desoldering components from a PCB without damaging them [28].

Human-robot collaboration relies on human dexterity to disassemble complex fixtures and robot precision to safely remove hazardous materials. Veolia’s RoboTele system puts this theory into practice by using human operators and robots to disassemble LED and LCD TVs and remove the mercury tubes from the latter. The system is “aimed at dismantling upto 500,000 flat screen LED and LCD TVs per year” [29, p. 464]

Reconfigurable recycling systems (RRSs) “are defined as systems with the built-in ability to rearrange or modify their recycling processes to adapt to the specific characteristics of a

waste stream” [30, p. 748]. Barwood *et al.* have demonstrated an RRS, based on the Staübli RX160 robotic arm, capable of semi-destructive disassembly and separation of electric vehicle components, e.g. electronic control units and PCBs [30].

## V. RECOVERING MATERIALS FROM E-WASTE

After the hazardous and reusable components have been separated, the e-waste enters the end-processing stage with the goal of recovering its valuable materials. To achieve this goal, the e-waste undergoes a hydrometallurgical, biometallurgical, or, more commonly, a pyrometallurgical process [31], which presents a challenging working environment for robotic systems. Nevertheless, robots are also prevalent in the metallurgical industry. For example, they can be used in the forging process to manipulate the shape of the recovered metals [32].

## VI. DISPOSING OF E-WASTE

Disposing of e-waste in landfills must be avoided due to the environmental and health hazards that would create as well as the loss of valuable materials. However, Forti *et al.* estimate that “Around 8% of the [global] e-waste is discarded in waste bins and subsequently landfilled or incinerated” [1, p. 14]. That is why some researchers are analyzing how robots can help in the garbage collection process, to separate e-waste from household waste [33], while others are focused on how robots can be used to localize gas emission sources when the e-waste has reached the landfill [34].

## VII. DISCUSSION

The variety of WEEE makes the automatic disassembly of its components a significant challenge. This has a negative impact on global e-waste recycling rates and the quality of recovered materials. Some researchers are attempting to generalize the capabilities of robotic disassemblers to a variety of objects using AI technology, but this “remains a major challenge at the frontier of artificial intelligence research” [12, p. 77]. The current state-of-the-art, however, shows that robots are capable of disassembling similar types of products [20], [27] and robotic arms have been proven to be effective tools for sorting heterogenous objects [35], [29]. Therefore, it might be possible to achieve practical results sooner by developing an e-waste sorting method which is optimized for the purposes of robotic disassembly.

Based on this literature review, it can be determined that the e-waste stream can be classified and sorted into 58 distinct categories, according to the UNU-KEYS classification, and that e-waste sorting systems must be able to handle small equipment, large equipment, and temperature exchange equipment, because these are the three most common e-waste categories [1, p. 24]. Furthermore, [9] and [30] have stated that future recycling facilities must be modular, scalable, mobile, integrable, flexible and cost-efficient, which excludes the use of large, heavy and expensive industrial robots. Therefore, this paper proposes the development of a multirobot collaboration system comprised of compact robotic arms, capable of quickly sorting small equipment and collaboratively sorting heavier equipment. This system would require a computer vision model trained to recognize e-waste products according to the UNU-KEYS classification. This would allow the robots to not only sort the e-waste, but also document it in a statistically valuable manner. The proposed method for autonomous sorting and documentation of e-waste will be further developed in a future article.

## VIII. CONCLUSION

In this article, the e-waste management problem was correlated to the waste management hierarchy, also known as Lansink’s Ladder, and reviewed from five aspects: Prevention, Reuse, Recycling, Recovery and Disposal of e-waste. The limiting factors for each process were examined, and the state-of-the-art robotic solutions were presented. The conducted research found that there is a need for automation solutions in the recycling industry; however, the complexity of the e-waste stream has proven to be a significant challenge for the current robotic systems.

The main contributions of this article are the graphical summary of the e-waste management processes and responsibilities found in Fig. 1 and the proposal of a novel method for autonomous sorting and documentation of e-waste based on multirobot collaboration.

## REFERENCES

- [1] V. Forti, C. P. Baldé, R. Kuehr, and G. Bel, “The Global E-wasteMonitor 2020,” p. 121.
- [2] “A New Circular Vision for Electronics: Time for a Global Reboot,” Platform for Accelerating the Circular Economy (PACE), Jan. 2019.
- [3] A. Kumar, M. Holuszko, and D. C. R. Espinosa, “E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices,” *Resour. Conserv. Recycl.*, vol. 122, pp. 32–42, Jul. 2017, doi: 10.1016/j.resconrec.2017.01.018.
- [4] European Commission, “Commission staff working paper accompanying the proposal for a directive of the European Parliament and of the Council on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast) - Summary of the impact assessment.” Accessed: Oct. 20, 2022. [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:52008SC2934>
- [5] Keshav Parajuly *et al.*, “Future E-waste Scenarios.” StEP (Bonn), UNU ViE-SCYCLE (Bonn) & UNEP IETC (Osaka), 2019.
- [6] “Directive 2012/19/EU of the European Parliament and of the Council of 4 July 2012 on waste electrical and electronic equipment (WEEE) (recast).” Accessed: Oct. 20, 2022. [Online]. Available: <http://data.europa.eu/eli/dir/2012/19/2018-07-04>
- [7] Directorate-General for Environment, “Frequently Asked Questions on Directive 2012/19/EU on Waste Electrical and Electronic Equipment (WEEE).” Apr. 2014. [Online]. Available: <https://circabc.europa.eu/ui/group/636f928d-2669-41d3-83db-093e90ca93a2/library/c4bd6fd7-910c-4196-b0c2-1a792089e5cc/details?download=true>
- [8] Vanessa Forti, Kees Baldé, and Ruediger Kuehr, “E-waste Statistics: Guidelines on Classifications, Reporting and Indicators, second edition.,” United Nations University, ViE – SCYCLE, Bonn, Germany, 2018.
- [9] J. Li, X. Zeng, M. Chen, O. A. Ogunseitan, and A. Stevles, “‘Control-Alt-Delete’: Rebooting Solutions for the E-Waste Problem,” *Environ. Sci. Technol.*, vol. 49, no. 12, pp. 7095–7108, Jun. 2015, doi: 10.1021/acs.est.5b00449.
- [10] M. Premalatha, T. Abbasi, and S. A. Abbasi, “The Generation, Impact, and Management of E-Waste: State of the Art,” *Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.*, vol. 44, no. 14, pp. 1577–1678, Jul. 2014, doi: 10.1080/10643389.2013.782171.
- [11] F. Wang, J. Huisman, K. Balde, and A. Stevles, “A systematic and compatible classification of WEEE,” p. 6.
- [12] G. Harper, “Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles,” p. 12.
- [13] Hui Mien Lee and E. Sundin, “The Swedish WEEE system — Challenges and recommendations,” in *2012 IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology (ISSST)*, Boston, MA, May 2012, pp. 1–6. doi: 10.1109/ISSST.2012.6228012.
- [14] G. Teixeira, L. Bremm, and A. dos Santos Roque, “Educational Robotics Insertion in High Schools to Promote Environmental Awareness about E-Waste,” in *2018 Latin American Robotic Symposium, 2018 Brazilian Symposium on Robotics (SBR) and 2018 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, Joao Pessoa, Nov. 2018, pp. 591–597. doi: 10.1109/LARS/SBR/WRE.2018.00107.
- [15] J. Namias, “THE FUTURE OF ELECTRONIC WASTE RECYCLING IN THE UNITED STATES: Obstacles and Domestic Solutions,” p. 66.

- [16] "Solving the E-Waste Problem (StEP) Initiative White Paper. One Global Understanding of Re-Use — Common Definitions," StEP Initiative, Mar. 2009.
- [17] J. Li, B. N. Lopez N., L. Liu, N. Zhao, K. Yu, and L. Zheng, "Regional or global WEEE recycling. Where to go?," *Waste Manag.*, vol. 33, no. 4, pp. 923–934, Apr. 2013, doi: 10.1016/j.wasman.2012.11.011.
- [18] F. Wang, J. Huisman, C. E. M. Meskers, M. Schluep, A. Stevles, and C. Hagelüken, "The Best-of-2-Worlds philosophy: Developing local dismantling and global infrastructure network for sustainable e-waste treatment in emerging economies," *Waste Manag.*, vol. 32, no. 11, pp. 2134–2146, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.wasman.2012.03.029.
- [19] F. Hellwig, "Recycling: Automating the sorting and separation of e-waste," Cambridge Consultants, White paper. Accessed: Nov. 09, 2022. [Online]. Available: <https://www.cambridgeconsultants.com/sites/default/files/uploaded-pdfs/recycling-e-waste.pdf>
- [20] "Environmental Responsibility Report," Apple Inc., 2018.
- [21] I. Bula, V. Hoxha, and E. Hajrizi, "Robot from Mechatronics Scrap - Beggar Robot," *IFAC-Pap.*, vol. 51, no. 30, pp. 216–219, 2018, doi: 10.1016/j.ifacol.2018.11.289.
- [22] P. R. Jadhao, E. Ahmad, K. K. Pant, and K. D. P. Nigam, "Advancements in the field of electronic waste Recycling: Critical assessment of chemical route for generation of energy and valuable products coupled with metal recovery," *Sep. Purif. Technol.*, vol. 289, p. 120773, May 2022, doi: 10.1016/j.seppur.2022.120773.
- [23] L. Zhang and Z. Xu, "A review of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment," *J. Clean. Prod.*, vol. 127, pp. 19–36, Jul. 2016, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.04.004.
- [24] H. Chen and J. Shen, "A degradation-based sorting method for lithium-ion battery reuse," *PLOS ONE*, vol. 12, no. 10, p. e0185922, Oct. 2017, doi: 10.1371/journal.pone.0185922.
- [25] I. Barletta, B. Johansson, K. Cullbrand, M. Bjorkman, and J. Reimers, "Fostering sustainable electronic waste management through intelligent sorting equipment," in *2015 IEEE International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)*, Gothenburg, Sweden, Aug. 2015, pp. 459–461. doi: 10.1109/CoASE.2015.7294122.
- [26] S. P. Gundupalli, S. Hait, and A. Thakur, "Classification of metallic and non-metallic fractions of e-waste using thermal imaging-based technique," *Process Saf. Environ. Prot.*, vol. 118, pp. 32–39, Aug. 2018, doi: 10.1016/j.psep.2018.06.022.
- [27] C. Rujanavech, J. Lessard, S. Chandler, S. Shannon, J. Dahmus, and R. Guzzo, "Liam - An Innovation Story," p. 8, 2016.
- [28] M. Marconi, G. Palmieri, M. Callegari, and M. Germani, "Feasibility Study and Design of an Automatic System for Electronic Components Disassembly," *J. Manuf. Sci. Eng.*, vol. 141, no. 2, p. 021011, Feb. 2019, doi: 10.1115/1.4042006.
- [29] R. Bogue, "Robots in recycling and disassembly," *Ind. Robot Int. J. Robot. Res. Appl.*, vol. 46, no. 4, pp. 461–466, Jun. 2019, doi: 10.1108/IR-03-2019-0053.
- [30] M. Barwood, J. Li, T. Pringle, and S. Rahimifard, "Utilisation of Reconfigurable Recycling Systems for Improved Material Recovery from E-Waste," *Procedia CIRP*, vol. 29, pp. 746–751, 2015, doi: 10.1016/j.procir.2015.02.071.
- [31] E. Hsu, K. Barmak, A. C. West, and A.-H. A. Park, "Advancements in the treatment and processing of electronic waste with sustainability: a review of metal extraction and recovery technologies," *Green Chem.*, vol. 21, no. 5, pp. 919–936, 2019, doi: 10.1039/C8GC03688H.
- [32] J. Sláčala, H. Špačková, M. Menšík, P. Svobodová, and T. Barčák, "Use of robotic manipulation systems in automation of FORGING processes," presented at the METAL 2020, 2020, pp. 1200–1204. doi: 10.37904/metal.2020.3662.
- [33] A. Shreyas Madhav, R. Rajaraman, S. Harini, and C. C. Kiliroor, "Application of artificial intelligence to enhance collection of E-waste: A potential solution for household WEEE collection and segregation in India," *Waste Manag. Res. J. Sustain. Circ. Econ.*, vol. 40, no. 7, pp. 1047–1053, Jul. 2022, doi: 10.1177/0734242X211052846.
- [34] V. Hernandez Bennetts, A. J. Lilienthal, P. P. Neumann, and M. Trincavelli, "Mobile Robots for Localizing Gas Emission Sources on Landfill Sites: Is Bio-Inspiration the Way to Go?," *Front. Neuroengineering*, vol. 4, 2012, doi: 10.3389/fneng.2011.00020.
- [35] A. Zeng *et al.*, "Robotic Pick-and-Place of Novel Objects in Clutter with Multi-Affordance Grasping and Cross-Domain Image Matching." arXiv, May 30, 2020. Accessed: Oct. 24, 2022. [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/1710.01330>

**THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK**

# Principle behind droplet formation in microfluidic devices based on force balance

## Prinzip der Tröpfchenbildung in mikrofluidischen Geräten basierend auf Kräftegleichgewicht

Emil Grigorov

Technical University of Sofia, Faculty of German Engineering and Economics Education,  
Sofia, Bulgaria, e-mail: egrigorov@FDIBA.tu-sofia.bg

**Abstract** — The work presents a numerical study of the mechanisms responsible for the droplet formation in a flow-focusing microfluidic device. The three stages of droplet formation in the dripping regime and the responsible forces for their formation were analysed. Surface tension  $\Delta p\sigma$ , the pressure difference between inside and outside of the droplet  $\Delta p_{int}$  and the shear stresses  $\tau_{x_i x_j}$  are taken into account as the main parameters responsible for droplet generation. The results show that the whole process is driven by a force disbalance. In the first stage of droplet formation, in which the droplet is growing in diameter, the surface tension is the domination force. The second stage however, in which the actual neck squeezing and droplet detachment occur, can be described by the increase of the outside channel pressure on the surface. This analyse was confirmed by the development of the neck diameter of the forming bubble.

**Zusammenfassung** — Die Arbeit präsentiert eine numerische Studie der Mechanismen, die für die Tröpfchenbildung in einem mikrofluidischen Gerät verantwortlich sind. Analysiert wurden die drei Stadien der Tropfenbildung im sogenannten Dripping regime und die verantwortlichen Kräfte für ihre Bildung. Als hauptsächlich verantwortliche Parameter werden die Oberflächenspannung  $\Delta p\sigma$ , die Druckdifferenz zwischen dem Inneren und Äußeren des Tropfens  $\Delta p_{int}$  und die Schubspannungen  $\tau_{x_i x_j}$  berücksichtigt. Die Ergebnisse zeigen, dass der gesamte Prozess durch ein Kräfteungleichgewicht angetrieben wird. In der ersten Stufe der Tröpfchenbildung, in der der Tröpfchendurchmesser zunimmt, ist die Oberflächenspannung die dominierende Kraft. Die zweite Stufe jedoch, in der die eigentliche Halsquetschung und Tropfenablösung erfolgt, lässt sich durch die Erhöhung des Außenkanaldrucks auf der Oberfläche beschreiben. Diese Analyse wurde durch die Entwicklung des Halsdurchmessers der sich bildenden Blase bestätigt.

### I. INTRODUCTION

In recent years, microfluidics developed as a novel approach for solving numerous questions arising from the realization of different biological, chemical and medical processes [citeee]. Having fluidic channels with dimensions smaller than a millimetre, i.e. micro-scale, microfluidic devices can significantly reduce reaction times and energy consumption for a certain process [citeee]. The extremely low Reynolds number result in strictly laminar flow conditions in the channels and thus providing an absolute control over fluidic flows supply in different chip regions. With well-defined microenvironments which mimic the habitants of living cells, microfluidic devices enable the successful integration and replacement of expensive and demanding laboratory equipment in these small chips [citeee]. An emerging microfluidic technology based on hydrodynamics principles, utilized as a precise and reliable tool for the automation of assays is the so-called droplet-based microfluidics. Encapsulating different chemical or biological compounds into individual picolitre-droplets, allows the isolation of the occurring reactions from their surroundings, avoiding unwanted mixing and disruption of fragile compounds. These small microreactors allow a cheap and

easily implementable method for a broad range of processes including cell lysis [citeee], antibiotics susceptibility screening [cite], digital polymerase chain reaction (PCR) [citeee] etc. The massive number of possible independent reactions in the droplets adds also a high parallelization factor into the conducted experiments. Three main geometry types for droplet generation are widely utilized in the microfluidic world: co-flow of dispersed and continuous phases, cross-flow in T-junction and flow-focusing (Figure 1).

All of these potential advantages come at the price of a high hydrodynamic complexity of the microfluidic system due to the dynamic interaction between forces acting on the interface of the two phases. One of the phenomena characterizing these multiphase microfluidic flows and their complexity is the occurring of different flow regimes depending on the systems boundary conditions.

For the design of microfluidic devices operating in droplet flow regime, prior knowledge of droplet size, shape, formation frequency or pressure drop are essential.

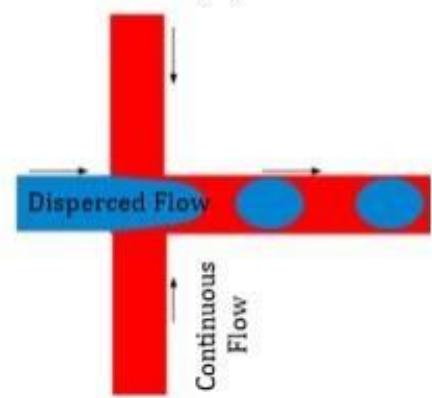


Fig. 1. Flow-focusing microfluidical setup for the droplet generation.

Even though the principles of droplet formation are well understood, there is, in our opinion still a lack of detailed explanation of the influence of the responsible parameters during the process. Although there are plenty of existing theoretical/experimental works for the flow-focusing geometry, there is a need to fill the gap between the limitations of the experimental measurements and theoretical assumptions, simplifying the problem. A good way to collect in advance this information for a new setup is by utilizing a predictive CFD (Computational Fluid Dynamics) model and interpreting the influences of some fluid properties on the droplet breakup. Few numerical studies on droplet-based microfluidics were carried out in the past years utilizing different numerical techniques (for example level set (LS) [11] or Lattice Boltzmann method (LBM) [12-13]). In this article we investigate numerically the droplet cause of bubble formation in a flow-focusing microfluidic channel by utilizing the volume of fluid (VOF) method. The three main pressures responsible for droplet formation are analysed. The mechanism behind droplet formation is described through a pressure (dis) balance.

## II. MATHEMATICAL MODEL, GEOMETRICAL SETUP AND BOUNDARY CONDITIONS

In the present study three-dimensional simulations of droplet formation in a flow-focusing geometry are carried out utilizing a finite volume method based CFD solver from ANSYS Fluent 21. The two immiscible fluids, water and oil as well as their interface, are modelled by the Volume of fluid (VOF) method. A phase fraction parameter,  $\alpha$ , is used to indicate the presence of each phase at every location of the domain. Fluid properties such as viscosity and density are smoothed and the surface tension force is distributed near the interface as a body force in the Navier-Stokes equations. With this, the system of coupled partial differential equation consists of the continuity equation (1) the momentum balance equation (2), and the phase fraction equation for  $\alpha$  (3) becomes [14]:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \mathbf{U} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \mathbf{U})}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{U} \mathbf{U}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu [\nabla \mathbf{U} + \nabla \mathbf{U}^T]) + \mathbf{F}_s \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot \rho \alpha \mathbf{U} = 0 \quad (3)$$

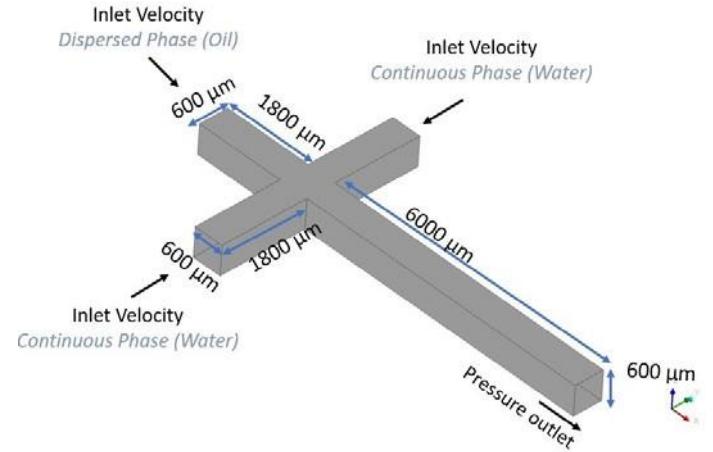


Fig. 2. Model geometry, dimensions and boundary conditions.

In the equations above,  $\mathbf{U}$  is the velocity vector field,  $p$  is the pressure field and  $\mu$  the viscosity of the fluid.  $\mathbf{F}_s$  represents the surface tension force, which can be calculated as follows:

$$\mathbf{F}_s = \sigma \cdot \kappa(\nabla \alpha) = \sigma \cdot \nabla \cdot \left( \frac{\nabla \alpha}{|\nabla \alpha|} \right) \cdot (\nabla \alpha) \quad (4)$$

$\kappa$  describes the curvature of the interface between the fluids. Only one such transport equation (3) needs to be solved since the volume fraction of the other phase can be inferred from the constraint:

$$\alpha_c + \alpha_d = 1 \quad (5)$$

where the index 'c' stands for continuous and 'd' for dispersed phase. The continuous phase (water) is introduced through the two side channels and the dispersed phase (oil: octane +2,5 % SPAN 80) is entered from the main (central) channel. The information about the fluid properties is obtained from the experimental results of Yao et al. [15]. All the measurements were conducted under atmospheric pressure conditions and room temperature.

TABLE I. SUMMARY OF THE FLUID PROPERTIES

Fluid	Density $\rho$ - [kg m <sup>-3</sup> ]	Viscosity $\mu$ - [mPa s]
Water	1004,4	3,32
Oil	689,9	0,53

For the boundary conditions, constant velocity block profile was utilized for both continuous and dispersed phase inlets. We set  $\alpha = 1$  at the inlet of the dispersed phase and  $\alpha = 0$  at the inlet of the continuous phase. No slip boundary conditions are applied at the walls. Pressure boundary was specified at the outlet of the main channel. The inlet velocities of both fluids were kept equal at  $u_d = 0,00925 \text{ m s}^{-1}$  for the simulated case. The surface tension coefficient between the two fluids is  $\sigma = 5,04 \text{ mN m}^{-1}$ . The lengths and dimensions of the square cross-section, the inlet and outlet channels are presented in Figure 2.

### III. CONSIDERED FORCES

In this section we describe the considered pressures (forces) on the interface between the two fluids, responsible for the droplet generation. The main pressure, which acts in the negative  $x$ -direction (trying to pull back the forming bubble) is the surface tension

$$\Delta p_\sigma = \sigma/\kappa \quad (6)$$

In our analysis the value of  $\kappa$  are directly taken from Equation 4 precisely from the Fluent Solver, which is directly accessible in the post processing stage. When the fluids are at rest and for perfect geometries of the interface (sphere, cylinder etc.) this pressure force is balanced by the pressure difference through the interface:

$$\Delta p_{int} = p_i - p_o \quad (7)$$

In our case  $p_i$  is always defined as the static pressure inside the droplet, whereas  $p_o$  is the static pressure of the surrounding continuous phase, entering the domain through the two side channels.

When the two fluids move in the microchannel, the above-mentioned forces will deviate from these theoretical values. At this point it is important to take into account the influence of the forces acting in tangential direction of a fluid element. For an isotropic Newtonian fluid, the viscous stress tensor can be defined as follows:

$$\tau_{x_i x_j} = \mu_c \cdot \frac{\partial v_i}{\partial x_j} + \frac{\partial v_j}{\partial x_i} \quad (8)$$

In the present work we decided to do the analysis using local values available from the computations. Definition of forces would require to define also the exact areas these forces work on which would present rather global (as opposed to local) quantities. Most often the local parameters available from the numerical method are in terms of normal and tangential stresses with dimension Pa. That is the reason to define also  $\Delta p_\sigma$ .

### IV. RESULTS

In this work only the so-called dripping regime is discussed. The latter is characterised by bigger emulsions and relative low detachment frequency, as shown in a work [1]. The process of droplet detachment is marked by three main stages, as visible on the normalized neck (DD) of the advancing oil front, as shown in Figure 3. First, the so-called filling stage is observed, where the dispersed phase is injected into the cross section for a time of  $t_{fill}$ . The diameter of the forming bubble becomes larger than the width of the channel. At some point the dispersed flow almost blocks the flow from the side channels, causing the upstream pressure to increase, see Figure 1b. In a second stage starting from  $t = 0,109$  s the diameter of the droplet starts to reduce, becoming smaller than the width of the channel, as shown for  $t = 119$  s. This stage is known as necking stage. At the beginning of this second phase the pressure in the side channel continuously increasing until  $t = 0,123$  s. One can see that the total increase in the side channels pressure is above 17 Pa, which obviously will result in a pressure increase at the interface. In the last pinch-off stage, droplet detaching occurs, marked in Figure 3 by the black arrow.

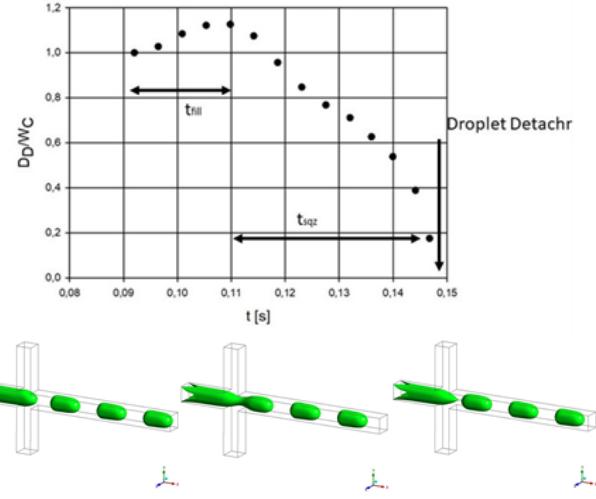


Fig. 3. The nondimensional diameter of the forming droplet as a function time and the iso-surfaces of the three stages (filling on the left, neck squeezing in the middle and droplet detachment on the right).

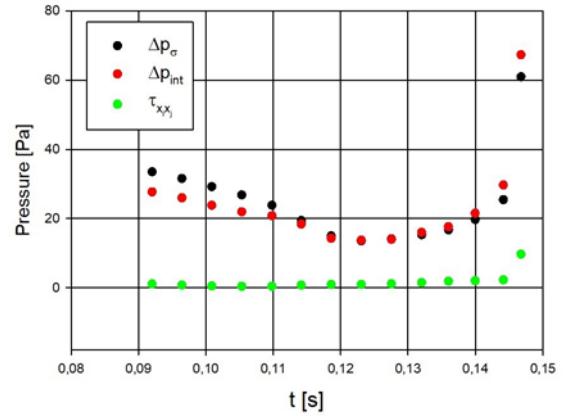


Fig. 4. Time development of the pressures, responsible for the droplet detachment.

This whole process characterizing the droplet formation in the dripping regime can be explained by the development of the pressure force caused by surface tension and the pressure difference through the interface, described in the previous section. Figure 4 shows the time development of the three pressures on the neck of the oil front. The effect of the shear stresses here is rather negligible. Comparing Figures 3 and 4 clearly shows that the whole process of droplet formation is characterized by a disbalance between the interposing pressures. The domination of  $\Delta p_\sigma$  on the growing bubble at the beginning determines the growth in diameter of the propagating front. With time the two pressures reach a point of balance (for  $t$  around 0,0095 s), characterizing the end of this filling stage. From this moment on  $\Delta p_{int}$  begins to dominate over  $\Delta p_\sigma$ , giving start of the squeezing of the droplet neck.

As visible from Figure 5 the main cause for the starting decrease of the pressure difference between inside and outside of the bubble is attributed mostly to the increase in the pressure outside the bubble (at  $\alpha = 0,02$ ). The latter is attributed to the flow stagnation in the side channels due to the propagation of the oil front. In the second part of the process one can see that the pressure in the side channel (outside the oil front) begins to decrease rapidly. This is attributed to the fact that the squeezing of the droplet neck is linked to a pressure release.

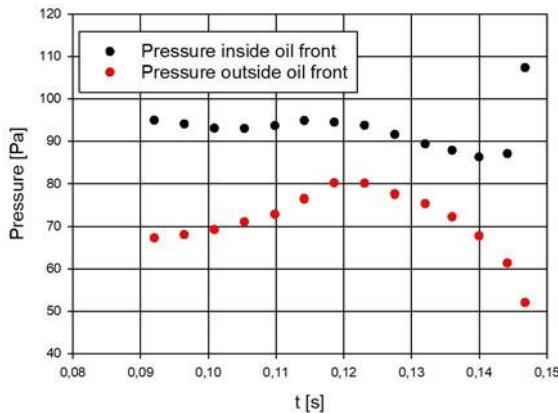


Fig. 5. Time development of the pressures inside and outside of the developing front of the dispersed face.

## V. CONCLUSION

In this work the droplet generation in a flow-focusing microfluidic device has been investigated. The continuous phase (water) was introduced through the two side channels and the dispersed phase (oil: octane +2,5 % SPAN 80) was entered from the main channel. For all simulations the VOF method was utilized. For the first time in literature the responsible pressures for the droplet generation were described numerically. The surface tension, pressure difference between inside and outside of the forming bubble, and the shear stresses were considered for this analysis. It was shown that at the first stage of droplet generation, also known as filling stage, the surface tension dominates the two other forces, trying to minimize the area between the two fluids and thus increasing the diameter of the forming bubble. At some point the pressures in the two side channels increase, due to the stagnation of fluid flow there, thus increasing the influence of the outer pressures on the surface of the forming droplet. This increase of  $\Delta p$  in  $t$  overcomes the surface tension, giving begin to the second stage of droplet formation. This necking stage fininshes with the final droplet detachment. The effect of the shear stresses on the surface were rather neglegable, compared to the two other forces. As a whole, the present study shows that the VOF method is also a reliable technique for the simulation and prediction of droplet generation in a flow-focusing channels. It will allow the future study of other diverse setups and various fluid combinations.

## REFERENCES

- [1] N. Nguyen and S. Wereley, *Fundamentals and Applications of Microfluidics*; Artech House Publishing: Norwood, MA, USA, (2007), 3rd ed. Harlow, England: Addison-Wesley,
- [2] E . Grigorov, B. Kirov, M. Marinov and V. Galabov *Review of Microfluidic Methods for Cellular Lysis*, vol. 12, *Micromachines* 2021, 498
- [3] Y . Xu, Z. Zhang, Z. Zhou, X . Han and X. Liu, *Continuous Microfluidic Purification of DNA Using Magnetophoresis*, vol. 11, *Micromachines* 2020, 187
- [4] B . K . Madhusudan, G. Sanket, *Advances in continuous-flow based microfluidic PCR devices—a review*, vol. 2, *Eng. Res. Express* 2020, 042001
- [5] N. Shembekar, C. Chaipan, R. Utharala and C. A. Merten *Droplet-based microfluidics in drug discovery, transcriptomics and high-throughput molecular genetics*, vol. 16, *Lab Chip* 2016, 1314-1331
- [6] T. Thorsen, R. W. Roberts, F . H. Arnold and S. R . Quake *Dynamic Pattern Formation in a Vesicle-Generating Microfluidic Device*, vol. 86, *Phys. Rev. Lett.* 2001, 4163—4166
- [7] W. Zeng and H. Fu *Precise droplet formation in a T-junction microdroplet generator*, vol. 86, *IEE E 8th International Conference on Fluid Power and Mechatronics (FP M)* 2019, 1190-1196
- [8] S. L. Anna, N. Bontoux and H. A. Stone *Formation of dispersions using “flow focusing” in microchannels*, vol. 82, *Appl. Phys. Lett.* 2003, 364—366
- [9] L . Yobas ,S. Martens, W. L . Ong and N. Ranganathan *High-performance flow-focusing geometry for spontaneous generation of monodispersed droplets*, vol. 6, *Lab Chip* 2006, 1073—1079
- [10] C. Cramer, P. Fischer and E . J. Windhab *Drop formation in a co-flowing ambient fluid*, vol. 59, *Chem. Eng. Sci.* 2004, 3045—3058
- [11] W. Lan, S. Li, Y . Wang and G. Luo *CFD Simulation of Droplet Formation in Microchannels by a Modified Level Set Method*, vol. 53, *Ind. Eng. Chem. Res.* 2014, 4913
- [12] Y . Li, M. Jain, Y . Ma and Nandakumar *Control of the breakup process of viscous droplets by an external electric field inside a microfluidic device.*, vol. 11, *Soft Matter* 2015, 3884
- [13] A. Gupta, H. S. Matharoo, D. Makkar and R. Kumar *Geometry Effects of Axisymmetric Flow-Focusing Microchannels for Single Cell Encapsulation*, vol. 100, *Comput. Fluids* 2018, 218
- [14] C. Yao, Y. Liu, C. Xu, S. Zhao and G. Chen, *Formation of Liquid-Liquid Slug Flow in a Microfluidic T-junction: Effects of Fluid Properties and Leakage Flow*, vol. 64, *AICHE J.* 2018, 346
- [15] K. Ghaib *The Volume of Fluid Method, a Method for the Simulation of Two-Phase Flow*, *Chemie Ingenieur Technik* 2018, 316-323
- [16] L . Wu, M. Tsutahara, L . S. Kim and M. Ha, *Three-dimensional lattice Boltzmann simulations of droplet formation in a cross-junction microchannel*, vol. 34, *Int. J. Multiphase Flow* 2008, 852
- [17] P. A. Romero and A. R. Abate *Flow focusing geometry generates droplets through a plug and squeeze mechanism*, vol. 12, *Lab Chip* 2012, 5130-5132
- [18] X . Chen, T . Glawdel and N. Cui *Advances in Droplet-Based Microfluidic Technology and Its Applications*, vol. 18, *Microfluid Nanofluid* 2015, 1341–1353

# Analysis of Methods for IT Service Management Processes Implementation in Higher Education Institutions

## Methodenanalyse zur Implementierung von IT-Service-Management- Prozessen in Hochschuleinrichtungen

Yordan Yordanov

FDIBA, Technical University of Sofia

Sofia, Bulgaria e-mail: yordan.yordanov@fdiba.tu-sofia.bg

**Abstract** — Proper management of IT services is a critical success factor for every organization that deals with customers. Without IT management practices in place, an organization will not be able to achieve a high level of customer satisfaction and meet the demands of the dynamic workforce. Specifically, higher education institutions (HEI) often lack the required expertise and staffing to implement standardized frameworks and procedures in delivering IT services to their customers. This paper is a part of a broader research concerning the implementation of IT Service Management and IT governance in HEI and provides an overview and analysis of IT Service Management (ITSM) frameworks that are often implemented in this specific sector. It also suggests approaches for wider and more efficient adoption of these.

**Zusammenfassung** — Die effiziente Verwaltung von IT-Services ist ein entscheidender Erfolgsfaktor für jede Organisation, die mit Kunden umgeht. Ohne IT-Management-Praktiken wird ein Unternehmen nicht in der Lage sein, ein hohes Maß an Kundenzufriedenheit zu erreichen und die Anforderungen der dynamischen Belegschaft zu erfüllen. Insbesonders, Hochschuleinrichtungen (HEI) verfügen häufig nicht über das erforderliche Fachwissen und Personal, um standardisierte Rahmenbedingungen und Verfahren für die Bereitstellung von IT-Services für ihre Kunden zu implementieren. Dieser Beitrag ist Teil einer umfassenderen Forschung zur Implementierung von IT-Service-Management und IT-Governance in Hochschulen und bietet einen Überblick und eine Analyse von IT-Service-Management-Frameworks, die häufig in diesem spezifischen Sektor implementiert werden. Es schlägt auch Ansätze für eine breitere und effizientere Übernahme dieser vor.

### I. INTRODUCTION AND HISTORY OF IT SERVICE MANAGEMENT

IT Service Management (ITSM) is defined as the implementation and management of quality IT services that meet the needs of the business (SysAid). The concept of ITSM is not new and it has been around since the days of mainframe computing during the previous century. Even though a formalized set of standards and procedures was not implemented and defined at this time, there has been the idea of IT Operations which dealt with processes such as incident, problem, configuration and change management. With the expansion of computer services provided, these processes were introduced and executed so that they could be delivered in an efficient, manageable, and consistent way. In the 1980s Richard Normann wrote the book “Service Management: Strategy and Leadership in Service Business” which provided a service-oriented view and thinking approach to organizations from all industries [15]. Combined with the rapid growth of information technology and the huge communication opportunities that the already expanding Internet provided, this service-oriented approach blended with IT Operations practices to become what we know today as IT Service Management.

ITSM describes best-practice methods for service strategy, design and delivery and there are multiple implementations of its processes in the form of different frameworks available. A framework is aligned to a specific purpose and describes the processes and practices it encompasses. The following section briefly describes common ITSM frameworks and later a comparison of their applicability in HEIs is provided.

### II. OVERVIEW OF ITSM FRAMEWORKS

IT Service Management frameworks bundle together processes and guidance which are collections of best practices from organizations that have been providing IT services since the early days of Information Technology. Some of the most common ITSM frameworks available today are briefly described below.

#### A. *Information Technology Infrastructure Library (ITIL)*

ITIL is widely employed across IT organizations in various levels of maturity and implementation. It is the standard today to run IT operations [7]. This framework has been available since the 1980s when the UK government’s Central Computer and Telecommunications Agency (later part of the Office of Government Commerce of the UK Treasury) provided recommendations about running IT - related services in the UK government which revolve around a process-based approach, corresponding to the Plan-Do-Check-Act design and management method, also known as Deming Cycle [3]. It defines a set of formalized processes (called practices in the current version 4 of ITIL as of this writing) that are commonly executed in organizations delivering IT services. Although ITIL provides guidance and best practices in running IT operations, it neither defines the exact way in which these practices must be run, nor does it require all of them to be implemented in every organization that decides to introduce ITIL. That is why, ITIL is

often accepted as a descriptive, rather than prescriptive framework and informally called “documented common sense” [1].

#### *B. Control Objectives for Information and Related Technologies (COBIT)*

COBIT is a framework for IT governance rather than IT Service Management. It was created by the Information Systems Audit and Control Association in 1996, initially as a framework for executing IT audit assignments. Due to the rapidly increasing reliance on IT for enterprises together with recent research concerning the productivity paradox which relates productivity to Information Technology [2], it has evolved into a comprehensive set of control objectives for IT management and IT governance [4]. The main purpose of COBIT is to better align the Information Technology strategy with the business objectives. Thus, its processes do not provide operational guidance on running IT in the organization like ITIL does, but rather focuses on connecting business with IT strategy so that IT is steered towards achieving maximum business value from its operations.

COBIT and ITIL are not mutually exclusive frameworks. On the contrary, to achieve a significant level of maturity in managing IT operations and strategy, they can both be introduced to complement each other so that COBIT provides the “what” and “why” and ITIL provides the “how” [17] without being extensively specific “exactly how”. This allows these frameworks to be implemented and tailored to any organization, regardless of industry, size, and IT maturity level.

#### *C. Microsoft Operations Framework*

Microsoft Operations Framework is Microsoft’s structured approach to IT Service Management [5]. It bears many similarities to ITIL but offers a more specific view on operating IT services using Microsoft products and technologies. Nevertheless, its applicability is not limited only to Microsoft-centric organizations, although it tends to be more prescriptive in its guidance on how to operate the IT processes.

#### *D. ISO/IEC 20000*

The ISO/IEC 20000 is an international standard for IT Service Management developed by the British Standards Institute (BSI) and stems from British Standard 15000 [20]. Today, it is the most recognized ITSM certification worldwide which states minimum requirements necessary to achieve organizational compliance. While ITIL provides a set of best practices and the organization behind ITIL, Axelos, can certify individuals seeking to prove their knowledge of ITIL-related practices and components, the ISO/IEC 20000 provides certification to organizations and is the only for an organization to achieve a globally recognized accreditation for an implemented standardized way of running its IT services and infrastructure.

#### *E. Other frameworks*

According to results from a survey conducted by Forbes Insight in 2017 about the state of ITSM across organizations from all sizes, companies have implemented at least some parts of ITIL and COBIT which together account for about 83%. MOF’s popularity is assessed at 34%, approximately the same as eTOM which is a Business Process Framework primarily used by telecom-oriented organizations [21]. Other methodologies like Six Sigma and Lean Six Sigma exist, whose main focus is not ITSM but rather concern product quality improvement and quality measurement. Nevertheless, such frameworks can be a valuable contribution and provide

additional support to the implementation of the “main players” described above.

### III. THE STATE OF IT MANAGEMENT IN HIGHER EDUCATION INSTITUTIONS

Traditionally, higher education institutions are not known for implementing stringent standards for quality, IT management and other best-practice frameworks for running their day-to-day operations and strategy as a whole. Often, these institutions rely on internal academic staff like researchers and faculty to design the IT portfolio and run the IT infrastructure of the organization. Such personnel, although academically skilled in a specific scientific field, may not have the required expertise and experience to efficiently manage an IT service portfolio and the underlying infrastructure. In this way, IT is usually managed “on the side” rather by a full-time trained person which creates ineffective and unprofessional structures [10]. During the last few decades, the digital infrastructure complexity required to support the business of a modern educational environment has significantly increased. Training content is no longer delivered solely in classrooms, in front of blackboards and facilitated by dedicated campus computer labs. The massive digitalization of education, driven by the catalyzing force of the COVID-19 outbreak has shown that these traditional assets have already begun to lose their significance in knowledge delivery [16]. Moreover, as businesses are increasingly adopting approaches such as Bring Your Own Device (BYOD) in order to cut down on IT maintenance and support costs, universities are also embracing BYOD and cloud technologies as they have proven to be cost-effective and efficient. However, these methods also raise concerns about security and privacy as organizational data is no longer restricted to campus-owned devices but can be available on any device without any impedance from geographical barriers.

Apart from the purely technical side of managing the IT environments, IT teams are under increased strain from the constantly rising service expectations from students and users in general as today’s generation of end users expect quick turnaround times and personalized IT support [6]. Outside the university, these users are constantly surrounded by various social networks, virtual reality games, high-speed and almost omnipresent Internet access by latest generations of mobile networks, artificial intelligence algorithms and cloud-enabled applications which allow for entertainment, working and learning regardless of location. It is inevitable that users expect the same availability from the institution providing their education and for the organization to remain competitive and not fall behind in terms of efficient and secure content delivery, it is important to provide service guarantees in the form of Service Level Agreements (SLA) for all items in its service catalog. This requirement, however, poses significant challenges to the IT departments since the incorporation of a SLA would mean a considerable investment in IT systems, infrastructure and staff education to achieve the necessary service availability. According to a study conducted by Gartner in 2021, HEIs have made substantial investments in classroom technology in the form of video, audio, presentation, and content capture equipment, as well as IT infrastructure to increase capacity and support the remote synchronous or hyflex models of teaching and learning. Some of the funding used to purchase and deploy these assets, has been provided by one-time government infusions during the COVID-19 pandemic which, due to the urgency at that time, was performed in an ad-hoc manner and without the necessary planning. This equipment, however, requires continuous and ongoing maintenance in the amount of around 20% of the initial outlay per year [14] which, if not

provisioned, leads to its faster deterioration and shorter usable life expectancy.

As digitalization progresses with a fast pace in all industries, cybersecurity has never been as important as today and educational institutions are in no way less targeted than other organizations. The fast shift to online learning, training, and assessing has paved the way for cybercriminals to take advantage of the increased number of devices in use by students, faculty and staff which, due to lack of preparation time, have mostly been provisioned without proper protection and security plans in advance. This increases the attack surface of the institution as these devices, once they leave the IT department, fall out of scope of management, and become increasingly vulnerable in the hands of their users. As the impact of the pandemic fades out and students and educators return to auditory classes, these vulnerable devices are reconnected back to campus networks which greatly reduces their overall security. According to data from Microsoft Security Intelligence, in the period between 14. August and 12. September 2021 educational organizations were the target of over 5.8 million malware attacks which accounts for 63% of all such attacks. In addition, globally 44% of institutions in the educational sector were targeted by ransomware attacks [9] which greatly reduce productivity and ruin the organization's reputation. In general, the education industry has been labeled as the slowest to patch, averaging 18% of vulnerabilities addressed during the 12-week patch cycle [12].

#### IV. ADOPTION OF IT SERVICE MANAGEMENT AND IT GOVERNANCE PROCESSES IN HEIs

The overall effect of the issues described above could be diminished if IT governance and ITSM mechanisms had greater adoption among the HEIs. Gartner's Hype Cycle for Higher Education from 2011 showed that penetration of IT management frameworks in HEIs is rather limited with ITIL between 5% and 20% and COBIT – less than 1%. [8]. One possible reason for these results is that such frameworks are often implemented due to compliance and regulatory requirements and not because their advantages are fully understood, especially in the education sector where such requirements are not as stringent as in commercial organizations. HEIs, albeit not legally obliged to comply, could also benefit from the improvements these processes could bring in several aspects:

##### A. Better comprehension and visibility of Information Technology

The adoption of ITSM and IT governance processes could help HEIs evaluate their existing infrastructure and assess their overall IT maturity. Such an assessment is fundamental for understanding the current gaps and weaknesses of the IT processes and can aid in establishing the next steps for improvement.

##### B. Better alignment of IT solutions with business objectives

Lacking the required IT expertise, it is common that HEIs do not seek input from IT professionals and different departments take the initiative to adopt solutions without consulting field experts [18]. This has the potential to introduce a fragmented and scattered IT portfolio that does not necessarily correspond to the organization's objectives – to deliver training content and conduct scientific research in an efficient manner with the help of technological solutions.

##### C. A streamlined path to digital transformation

The non-profit organization Educause defines digital transformation in HE context as leveraging digital technologies to enable major educational improvements, enhance learner and instructor experiences, and create new instructional models

through policies, planning, partnerships, and support [11]. A successful digital transformation cannot occur ad-hoc, uncoordinated and unguided but requires the introduction of formal processes that always produce meaningful and measurable outputs that can be assessed and continuously improved.

##### D. Increased stakeholder value

Utilizing IT best practices and approaches reduces support costs for the organization and allows management and governance teams to focus on more strategic projects that increase the value for all involved parties:

1) Students receive a comprehensive set of IT solutions to guide them in their learning path – online learning management systems, online access to student data, collaboration and video conferencing software, secure remote access to digital resources, cloud-delivered and mobile-friendly applications. There are no multiple credentials and duplicate registrations - all systems are accessible using a single identity which is federated across all environments and secured using multi-factor authentication. Self-service capabilities and processes are in place to enable users to recover from account, sign-in and password issues without the need to contact the service desk.

2) Faculty can focus on developing teaching content and make maximum use of digital technologies to enhance learning experiences instead of losing time and dedicating efforts on setting up infrastructure, applications and providing support for various platforms. Educators should leverage their pedagogical and teaching skills to deliver the content in an efficient manner by use of the IT infrastructure and not be concerned with its maintenance and administration.

3) Staff members are more efficient in executing day-to-day administrative operations, they utilize specialized software and services that help them deliver high-quality support to students.

4) IT Teams are more proactive and can focus on enhancing the IT infrastructure, developing, and improving the IT service portfolio rather than "firefighting" and spending more time on handling incidents reactively. Processes like Incident Management and Problem Management are in place when such incidents occur, and they are used to enable continuous service improvement. In this way, the IT department no longer represents a costly support center, but becomes a strategic asset that delivers value to the organization.

5) Management officials benefit from results that are closely aligned with the business objectives. The organization's reputation and image are enhanced as students (who are treated as customers from a service delivery point of view) are satisfied and recommend the institution to other interested parties. This can possibly lead to a higher rank which measures its position among other institutions from the same type and is one of the most important metrics for HEI performance.

In overall, HEIs can significantly improve customer satisfaction by developing ITSM and IT governance best practices. These institutions have their own specific requirements and business processes and not all the practices described in the frameworks are applicable. Most frameworks, however, like ITIL, are not prescriptive and can be selectively implemented and customized to meet the required objectives.

## V. CONCLUSION AND OUTLOOK

As digital transformation is underway in many industries, HEIs cannot afford to run behind if they want to remain competitive and valuable to students. The demand from the latter for digitalization, electronic content, high availability of resources and remote education fulfillment is constantly increasing, and the COVID-19 pandemic served as a catalyst for these processes. It showed that there is great potential in digital education, however it needs to be planned and executed appropriately to benefit from it. This requires changes in the way HEIs implement the Information Technologies which are the backbone of this transformation. To accomplish this goal, it is no longer sufficient to deliver IT services in an ad-hoc manner like in the past, when digital content represented just a fraction of the whole curriculum. A research report by Modern Campus in 2021 about the state of continuing education showed that in 2020 68% of adults considering enrolling in an education program preferred non-degree, alternative programming [13] which is the effect of educational institutions failing to meet the modern learner's expectations and demands. To stop this trend and revive student interest, HEIs need to transform and rethink the ways they deliver value to their customers. One step forward in this direction would be to embrace IT best practices, rely on IT experts to optimize operations and separate IT management from governance activities using proven frameworks like ITIL and COBIT. Failing to do so would have the effect of still empty classrooms and lack of interest in traditional university education, even in a post-pandemic reality.

## REFERENCES

- [1] Baker, A. (2020) *IT service management: ITIL® or ISO 20000?* [Online], IT Governance Europe Ltd. Available at <https://www.itgovernance.eu/blog/en/it-service-management-itil-or-iso-20000> (Accessed 22 October 2022).
- [2] Brynjolfsson, E. (1993) 'The productivity paradox of information technology', *Communications of the ACM*, vol. 36, no. 12, pp. 67–77.
- [3] Clifford, D. (2017) *Implementing ISO/IEC 20000 certification: the roadmap*, 's-Hertogenbosch, Van Haren Publishing.
- [4] Haes, S. de and van Grembergen, W. (2015) Enterprise governance of information technology: Achieving alignment and value, featuring COBIT 5 / Steven De Haes, Wim Van Grembergen, Cham, Springer.
- [5] Hoeksma, S. *Microsoft Operations Framework* [Online]. Available at <https://docs4.it/mof> (Accessed 23 October 2022).
- [6] ITR Technology Ltd. (2020) *ITSM for Higher Education Explained* [Online], ITR Blog. Available at <https://itrtech.africa/blog/itsm-for-higher-education/> (Accessed 29 October 2022).
- [7] Kaiser, A. K. (2021) *Become ITIL® 4 Foundation Certified in 7 Days*, Berkeley, CA, Apress.
- [8] Knahl, M. H. (2013) 'Application of IT Management Frameworks in Higher Education Institutions', Advanced Information Systems Engineering Workshops: CAiSE 2013 International Workshops, Valencia, Spain, June 17-21, 2013, Proceedings. Berlin Heidelberg, Springer Berlin Heidelberg: Imprint: Springer, pp. 124–133.
- [9] Kshetri, N. (2021) *Cybercriminals use pandemic to attack schools and colleges* [Online], The Conversation Media Group Ltd. Available at <https://theconversation.com/cybercriminals-use-pandemic-to-attack-schools-and-colleges-167619> (Accessed 5 November 2022).
- [10] Kuhn, C. (2021) *Digitalization in Schools: Five Tips for Implementation* [Online], OTRS AG (Accessed 29 October 2022).
- [11] Martin, F. and Xie, K. (2022) *Digital Transformation in Higher Education: 7 Areas for Enhancing Digital Learning* [Online]. Available at <https://er.educause.edu/articles/2022/9/digital-transformation-in-higher-education-7-areas-for-enhancing-digital-learning> (Accessed 13 November 2022).
- [12] Merchan-Lima, J., Astudillo-Salinas, F., Tello-Oquendo, L., Sanchez, F., Lopez-Fonseca, G. and Quiroz, D. (2021) 'Information security management frameworks and strategies in higher education institutions: a systematic review', *Annals of Telecommunications*, vol. 76, 3-4, pp. 255–270.
- [13] Modern Campus (2021) *The State of Continuing Education 2021: Exposing the Modern Learner Engagement Gap* [Online]. Available at <https://moderncampus.com/research-paper/state-of-continuing-education-2021.html> (Accessed 30 October 2022).
- [14] Morgan, G., Yanckello, R., Thayer, T.-L., Sheehan, T., Farrell, G., Mahmood, S., Winckless, C. and MacDonald, N. (2022) *Top Technology Trends in Higher Education for 2022* [Online]. Available at <https://www.gartner.com/en/doc/763121-top-technology-trends-in-higher-education-for-2022> (Accessed 30 October 2022).
- [15] Normann, R. (1991) Service management: Strategy and leadership in service business / Richard Normann, 2nd edn, Chichester, New York, Wiley.
- [16] Paterson, S. (2022) *The Decline of Campus Computer Labs* [Online], Kivuto Solutions. Available at <https://kivuto.com/blog/the-decline-of-campus-computer-labs/> (Accessed 29 October 2022).
- [17] Shiff, L. (2021) *COBIT vs ITIL® : Comparing IT Governance Frameworks* [Online], BMC Software, Inc (Accessed 22 October 2022).
- [18] Skopec, C. (2020) *Why IT Governance in Higher Education Institutions Is So Essential* [Online], Collegis, LLC. Available at <https://collegiseducation.com/news/technology/it-governance-in-higher-education/> (Accessed 6 November 2022).
- [19] SysAid *What-Is-ITSM?: Getting to Grips with IT Service Management* [Online]. Available at <https://cdn.sysaid.com/wp-content/uploads/What-Is-ITSM.pdf> (Accessed 15 October 2022).
- [20] The British Standards Institution (2005) *ISO/IEC 20000 Unveiled, the new International IT Service Management Standard* [Online]. Available at <https://www.bsigroup.com/en-GB/about-bsi/media-centre/press-releases/2005/12/ISOIEC-20000-Unveiled-the-new-International-IT-Service-Management-Standard/> (Accessed 23 October 2022).
- [21] Watts, S. (2017) *ITSM Frameworks Explained: Which Are Most Popular?* [Online], CompTIA, Inc. Available at <https://www.comptia.org/blog/itsm-frameworks-explained-which-are-most-popular> (Accessed 23 October 2022).

# Entwicklung eines mobilen Arbeitsmaschine-Simulators für die Validierung kooperativer Regelungskonzepte

## Development of a mobile Vehicle Manipulator Simulator for the Validation of Shared Control Concepts

Balint Varga, Selina Meier, Sören Hohmann

Institute of Control Systems (IRS) at the Karlsruhe Institute of Technology (KIT)

Karlsruhe, Germany, e-mail: balint.varga2@kit.edu

**Abstract** — This paper presents the development of a real-time simulator for the validation of controlling a large vehicle manipulator. The need for this development can be justified by the lack of such a simulator: There are neither open source projects nor commercial products, which would be suitable for testing cooperative control concepts. First, we present the nonlinear simulation model of the vehicle and the manipulator. For the modeling MATLAB/Simulink is used, which also enables a code generation into standalone C++ ROS-Nodes (Robot Operating System Nodes). The emerging challenges of the code generation are also discussed. Then, the obtained standalone C++ ROS-Nodes integrated in the simulator framework which includes a graphical user interface, a steering wheel and a joystick. This simulator can provide the real-time calculation of the overall system's motion enabling the interaction of human and automation. Furthermore, a qualitative validation of the model is given. Finally, the functionalities of the simulator is demonstrated in tests with a human operators.

**Zusammenfassung** — In diesem Beitrag wird die Entwicklung eines echtzeitfähigen Simulators für die Validierung der Regelung einer großen mobilen Arbeitsmaschine vorgestellt. Die Notwendigkeit dieser Entwicklung lässt sich mit dem Fehlen eines solchen Simulators begründen: Es gibt weder Open-Source-Projekte noch kommerzielle Produkte für solche Systeme, die zum Testen von kooperativen Regelungskonzepten geeignet wären. Zunächst wird das nichtlineare Simulationsmodell des Fahrzeugs und des Manipulators vorgestellt. Für die Modellierung wird MATLAB/Simulink verwendet, das auch eine Codegenerierung in standalone C++ ROS-Nodes (Robot Operating System Nodes) ermöglicht. Die resultierenden Herausforderungen der Codegenerierung werden ebenfalls diskutiert. Anschließend werden die standalonen C++ ROS-Nodes in ein Framework integriert, das aus einer grafischen Benutzeroberfläche, einem Lenkrad und einem Joystick besteht. Der Simulator ist in der Lage, die Bewegung des Gesamtsystems in Echtzeit zu berechnen, wodurch die Interaktion zwischen Mensch und Automation ermöglicht wird. Außerdem wird eine qualitative Validierung des Modells vorgenommen. Schließlich wird die Funktionsweise des Simulators in Tests mit einem menschlichen Bediener demonstriert.

### I. INTRODUCTION

Große Arbeitsmaschinen (siehe Abb. 1) werden in verschiedenen Bereichen eingesetzt, z. B. in der Landwirtschaft [1], der Forstwirtschaft [2] oder der Straßeninstandhaltung [3]. Solche Systeme werden in der Regel von einem menschlichen Bediener gesteuert, da die Arbeitsumgebung unstrukturiert ist. Abb. 1 zeigt eine große Arbeitsmaschine mit einem am Fahrzeug angebrachten Manipulator.

Normalerweise muss der Bediener mit dem Manipulator verschiedene Aufgaben ausführen und gleichzeitig das Fahrzeug auf der Straße halten. Diese zwei Aufgaben sind für den Menschen geistig und manchmal auch körperlichfordernd. Die vollständige Automatisierung einer großen Arbeitsmaschine ist aufgrund von Sicherheitsvorschriften und der komplexen Arbeitsumgebung des Manipulators nicht möglich, siehe [3], [4].

Um den Bediener zu entlasten, wurden kooperative Regelungskonzepte entwickelt: Bei diesen Arbeiten wurde die Fahrzeugführung so automatisiert, dass der Bediener mit dem Manipulator optimal arbeiten kann und er sich nicht auf das Fahrzeug konzentrieren muss, siehe [5], [6] und [7]. Allerdings gibt es keinen Simulator, welche sich für das Testen solcher kooperativen Regelungskonzepte eignen würde. Deswegen ist das Ziel dieser Arbeit, einen Simulator zu entwickeln, der sich für solche Validierungsvorhaben eignet.

Dieser Beitrag ist wie folgt strukturiert: In dem Abschnitt II. werden die entwickelten Teilsysteme präsentiert. Abschnitt III. befasst sich mit dem qualitativen Validierungsszenario. Danach werden in dem Abschnitt IV. die Ergebnisse diskutiert. Anschließend fasst Abschnitt V. den Beitrag zusammen.



Abb. 1. Die Skizze des Simulationsmodells, welches ein Fahrzeug (Traktor, Lastkraftwagen o.ä.) und einen hydraulischen Manipulator mit vier Gelenken enthält.

## II. ENTWICKLUNG DER TEILSYSTEME

Ein „out-of-shell“ Gesamtsimulationsmodell, das sich für die Verifizierung und Validierung der vorgeschlagenen gemeinsamen Steuerungskonzepte eignen würde, existiert in der Literatur nicht. Dennoch gibt es im Stand der Technik Modelle der Teilsysteme, die zum Aufbau der Gesamtsimulation verwendet werden können: Es gibt Modelle von Schwerlastfahrzeugen und großen hydraulischen Manipulatoren. Ihre Kombination ist jedoch neuartig und wirft weitere Herausforderungen auf. Außerdem erfordert die Echtzeitimplementierung<sup>1</sup> zusätzliche Untersuchungen. Das hier vorgestellte Modell wurde in [8] teilweise verwendet, aber eine detailliertere Untersuchung und eine Weiterentwicklung sind notwendig.

### A. Das Modell des Fahrzeugs

Die Abb. 1 zeigt das Gesamtsystem: Ein mittelgroßes Schwerlastfahrzeug und ein großer hydraulischer Manipulator.

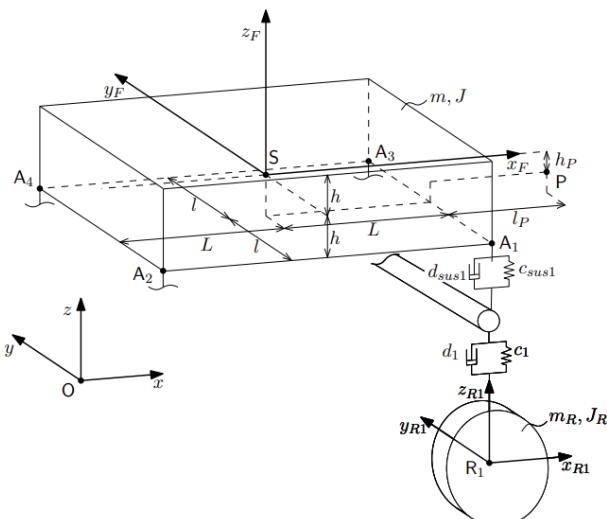


Abb. 2. Das nichtlineare Modell des Fahrzeugs

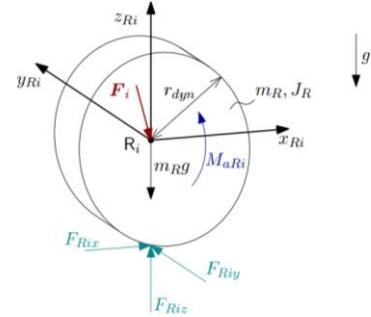


Abb. 3. Der Freischnitt eines Rades für die Herleitung der Bewegungsgleichungen.

Das Simulationsmodell des Fahrzeugs enthält ein dreidimensionales Fahrgestell, zwei zweidimensionale Aufhängungen und vier Räder mit einem linearen Reifenmodell (Abb. 2). Dieses Modell kann komplexere Bewegungen beschreiben, die nicht mit denen von Personenkraftwagen vergleichbar sind (z.B. größere Roll- und Nickwinkel). Da die Bewegung des Fahrzeugs keine hohe Dynamik aufweist, ist ein lineares Reifenmodell ausreichend. Um die Echtzeitfähigkeit des Simulators zu gewährleisten, wird das Fahrwerksbewegungsmodell aus [9] implementiert. Für die Herleitung der Radbewegungen werden die Kräfte mithilfe der Abb. 3 aufgestellt. Die Winkelbeschleunigung eines Rades wird wie folgt berechnet.

$$\dot{\omega}_{\text{Rad}} = \frac{1}{\theta_{\text{Rad}}} (F_{\text{Rix}} \cdot r_{\text{Rad}} + M_{\text{aRi}}). \quad (1)$$

Dabei muss die Eigendynamik der Räder um Geschwindigkeit 0 m/s berücksichtigt werden, weil die Kraft  $F_{\text{Rix}} = c_i \cdot s_i$  aus dem Schlupf ( $s_i$ ) berechnet wird. Der Parameter  $c_i$  ist die Steifigkeit des linearen Reifenmodels,  $M_{\text{aRi}}$  ist der Antriebsmoment des Rades. Die Herausforderung besteht darin, dass die Berechnung des Schlupfs mit diskreten Sovern um  $v = 0$  m/s numerisch instabil sein kann. Dies würde die weitere Nutzung des Simulationsmodells behindern. Die vorgeschlagene Lösung ist die Einführung eines numerischen Schwellenwerts für die Schlupfberechnung, siehe [10, Kapitel 4.]. Daher wird der Schlupf des Rades berechnet als

$$s = \frac{v_{\text{Fahr}} - \omega_{\text{Rad}} \cdot r_{\text{Rad}}}{\max(v_{\text{Fahr}}, \omega_{\text{Rad}} \cdot r_{\text{Rad}}, v_N)}, \quad (2)$$

wobei  $v_{\text{Fahr}}$ ,  $\omega_{\text{Rad}}$  und  $r_{\text{Rad}}$  die Fahrzeuggeschwindigkeit, die Drehgeschwindigkeit des Rades bzw. der Radius des Rades sind. Der Parameter  $v_N$  wird so gewählt, dass die numerische Stabilität bei niedrigen Geschwindigkeiten erhalten bleibt. Die mobile Arbeitsmaschine wird in einem globalen Koordinatensystem modelliert, die berechnete Position der Subsysteme wird sowohl im globalen Rahmen als auch relativ zum Fahrzeughochsitz angegeben.

### B. Das Modell des hydraulischen Manipulators

Der hydraulische Manipulator besteht aus drei Armsegmenten und vier Gelenken, siehe Abb. 1 und sein Zustandsvektor ist  $\phi = [\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4]$ . Die Modellierung der schweren Armsegmente und der hydraulischen Aktoren basiert auf [11, Kapitel 6.] [12] und [13]. Zusätzlich wird eine geschwindigkeitsbasierte inverse Kinematik hinzugefügt. Dies bedeutet, dass der Bediener nicht direkt die Gelenke des Manipulators mit dem Joystick steuert, sondern die Geschwindigkeiten des Endeffektors. Die allgemeinen Bewegungsgleichungen lauten

<sup>1</sup> Eine Echtzeitfähigkeit ist notwendig, um kooperative Regelungskonzepte mit einem Menschen in Experimenten untersuchen zu können.

$$\begin{aligned} \mathbf{M}\ddot{\varphi}(t) = & \mathbf{T}_{\text{hyd}} \left( \mathbf{p}_{\text{hyd}}, \mathbf{x}_{\text{hyd}}(t), \mathbf{u}^{(\text{h})}(t, \varphi) \right) \\ & + \mathbf{T}_{\text{fric}} (\dot{\varphi}(t), \varphi(t)) \\ & + \mathbf{T}_{\text{mech}} (\mathbf{p}_{\text{geo}}, \mathbf{x}_{\text{veh,ext}}(t)), \end{aligned} \quad (3)$$

wobei  $\mathbf{M}$  die Massenmatrix ist. Auf der rechten Seite von (3) sind die Antriebsmomente des hydraulischen Aktuators ( $\mathbf{T}_{\text{hyd}}$ ), die linearen und nichtlinearen Reibungsmomente ( $\mathbf{T}_{\text{fric}}$ ) bzw. die externen mechanischen Einflüsse ( $\mathbf{T}_{\text{mech}}$ ) zu finden. Die Antriebsmomente des hydraulischen Aktuators hängen vom hydraulischen Parameter  $\mathbf{p}_{\text{hyd}}$  und von der Eingabe des Menschen  $\mathbf{u}^{(\text{h})}(\varphi)$  ab. Die internen Zustände des Hydraulikaktuators  $\mathbf{x}_{\text{hyd}}(t)$  sind der Öldruck, der Öldurchfluss und der Zustand der Elektromotoren, welche die Ventilatoren für die Hydraulikzylinder antreiben. Die modellierten Reibungen umfassen eine lineare viskose Komponente und eine Stribeck-Kurve unter Verwendung des LuGre-Reibungsmodells, welche ein gängiger Ansatz für Hydrauliksysteme ist, siehe e. g. [14]. Der weitere Einfluss der Bewegung des Fahrzeugs und der durch die Konfiguration des Manipulators verursachten Drehmomente/Kräfte. In (3) steht  $\mathbf{x}_{\text{veh,ext}}$  für den erweiterten Fahrzeugzustand und  $\mathbf{p}_{\text{geo}}$  enthält die geometrischen Parameter, die für die Bewegungserzeugung des Manipulators relevant sind. Die Parameter des hydraulischen Manipulators wurden aus der Literatur entnommen, [15] und [16].

Die beiden Teilsysteme sind in einem Simulink-Modell implementiert. Das Gesamtsimulationsmodell läuft mit 2 kHz Abtastrate und mit einem Runge-Kutta-Solver. Der Solver wird gewählt, um die numerische Stabilität des Gesamtsystems zu gewährleisten: Das Ölmodell der Hydraulikzylinder weist bei Solvoren niedrigerer Ordnung hochfrequente numerische Schwingungen auf, was der Grund für die Wahl des Solvers war. Mit diesen Einstellungen ist das Gesamtmodell in der Lage, numerisch stabile Bewegungen zu generieren.

### III. DAS SZENARIO DER QUALITATIVEN VALIDIERUNG

Der Mensch in der Simulation ist als Optimalregler modelliert. Dies bedeutet, dass er seine Eingaben mit der Optimierung einer Gütekostenfunktion berechnet. Die Stellgrößen des Menschen werden über

$$\mathbf{u}^{(\text{h})*}(t) = \arg \min_{\mathbf{u}^{(\text{h})}} J^{(\text{h})} \left( \mathbf{x}(t), \tau_{\text{end}}, \mathbf{u}^{(\text{h})}(t) \right) \quad (4a)$$

$$\text{w. r. t. } \mathbf{f} \left( t, \mathbf{x}(t), \mathbf{u}^{(\text{h})}(t) \mathbf{u}^{(\text{a})}(t) \right) \quad t \in [0, \tau_{\text{end}}] \quad (4b)$$

$$\mathbf{x}(0) = \mathbf{x}_0,$$

bestimmt. Diese dynamische Optimierung setzt sich aus der Kostenfunktion des Menschen<sup>2</sup> und der Dynamik des technischen Systems,  $\mathbf{f}(\cdot)$  zusammen. Die Dynamik wird durch die Eingabe des Menschen ( $\mathbf{u}^{(\text{h})}(t)$ ) und der Automatisierung ( $\mathbf{u}^{(\text{a})}(t)$ ) beeinflusst, wodurch komplexere Bewegungen entstehen können. In der Literatur wurde gezeigt, dass ein lineares Systemmodell und eine quadratische Kostenfunktion (LQ-Probleme) viele Anwendungen gut genug beschreiben können. Deswegen ist die menschliche Kostenfunktion

$$\begin{aligned} J^{(\text{h})} = & \frac{1}{2} \int_0^{\tau_{\text{end}}} \mathbf{x}(t)^T \mathbf{Q}^{(\text{h})} \mathbf{x}(t) \\ & + \mathbf{u}^{(\text{h})}(t)^T \mathbf{R}^{(\text{hh})} \mathbf{u}^{(\text{h})}(t) + \mathbf{u}^{(\text{a})}(t)^T \mathbf{R}^{(\text{ha})} \mathbf{u}^{(\text{a})}(t) dt, \end{aligned}$$

wobei die Matrizen  $\mathbf{Q}^{(\text{h})} \geq \mathbf{0}$ ,  $\mathbf{R}^{(\text{hh})} > \mathbf{0}$  und  $\mathbf{R}^{(\text{ha})} > \mathbf{0}$  die Bestrafungsfaktoren sind. Die für die Optimierung verwendete Systemdynamik wurde in [8] hergeleitet. Abb. 4 zeigt die schematische Darstellung des Validierung Szenario und die beiden Referenztrajektorien der mobilen Arbeitsmaschine. Zunächst hat das Fahrzeug eine kleine Korrektur in seiner Referenz bei  $x = 20$  m. Sie kann durch kleine Änderungen im Verkehrsfluss verursacht werden, die eine Anpassung e. g. für mehr Sicherheitsabstand zu anderen Fahrzeugen erfordern. Um  $x = 45$  m hat die Referenz des Manipulators einen plötzlichen Sprung. Dies modelliert ein verstecktes Hindernis (größerer Stein, Metallteil, siehe roter Block in der Abb.), das den Manipulator beschädigen könnte, worauf der Fahrer reagieren muss. Danach fährt die mobile Arbeitsmaschine in eine sanfte Kurve. Der plötzliche Schritt des Manipulators wirkt sich auf die Bewegung des Fahrzeugs aus, was sich an den Drehwinkel ablesen lässt.

In dem folgenden Szenario wird das menschliche Modell für die Berechnung der Eingangssignale benutzt. Allerdings ist der Simulator so ausgelegt, dass ein Austausch des simulierten Menschen die anderen Komponenten nicht beeinflusst. Dadurch ist eine umfassende Untersuchung der verschiedenen Regelungskonzepte möglich.

### IV. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

#### A. Fahrzeubewegungen

Die Bewegung des Fahrzeugs weist keine gängigen Eigenschaften für Lastwagen oder Traktoren auf: Das Fahrzeug ist aufgrund der Masse des Manipulators um seine Längsachse gekippt. Abb. 5 zeigt, dass der Rollwinkel des

<sup>2</sup> Diese Kostenfunktion ermöglicht die Modellierung der Ziele und Präferenzen des Menschen. Dadurch ist eine vielseitige Beschreibung und eine anwendungsspezifische Anpassungen des Modells realisierbar

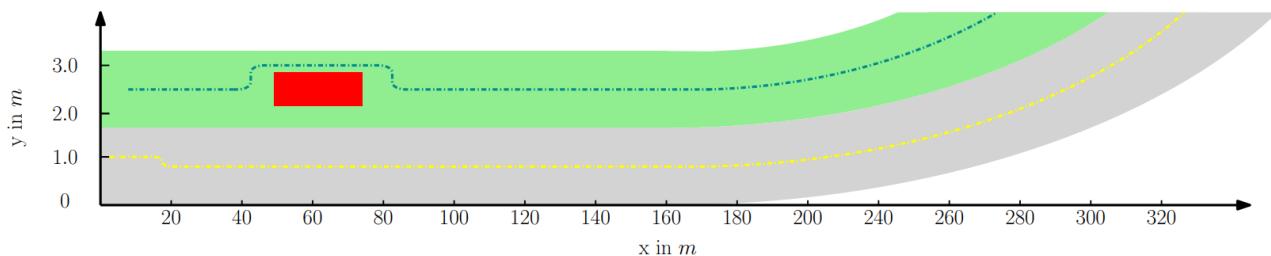


Abb. 4. Die schematische Darstellung des Validierung Szenario mit den Referenztrajektorien der mobilen Arbeitsmaschine. Es ist zu beachten, dass die Skalierung der Achsen x und y aufgrund der besseren Visualisierung des Szenarios unterschiedlich ist.

Fahrzeugs größer als  $0,087$  rad (ca.  $5$  deg) ist. Daher ist ein lineares Fahrzeugmodell nicht ausreichend und die Implementierung dieses nichtlinearen Modells ist zweckmäßig, siehe z.B. [17]. Außerdem zeigt Abb. 5 den dynamischen Einfluss des Manipulators: Um  $x = 60$  s wird der Manipulator gestreckt, wodurch das Drehmoment auf das Fahrzeug größer wird, was zu einer Änderung des Rollwinkels führt. Nach  $x = 100$  s bewegt sich der Manipulator wieder in die frühere Position zurück und das Fahrzeug wird "zurückgekippt". Eine ähnliche Veränderung des Nickwinkels ist auch zu beobachten: Das Fahrzeug wird während des Manövers zwischen  $60$  und  $100$  s "nach vorne gekippt". Dies bestätigt die Notwendigkeit des nichtlinearen Fahrzeugmodells: Der Rollwinkel schwankt zwischen  $0.2$  und  $0.4$  rad, was größer als  $0.087$  rad ist und bedeutet dass der Linearisierungsfehler zu groß wäre.

### B. Bewegung des Manipulators

Die Bewegungen von großen und hydraulisch angetriebenen Manipulatoren sind in der Regel wegen der großen Massenträgheit der Komponenten langsam und verzögert, vgl. [13]. Die hydraulischen Aktuatoren können große Drehmomente abgeben, haben aber im Vergleich zu Elektromotoren eine langsame Dynamik. Der Bediener verwendet eine koordinierte Manipulatorsteuerung, was bedeutet, dass die gewünschten Geschwindigkeiten des Endeffektors,  $x_{\text{man}}$  und  $y_{\text{man}}$ , koordiniert festgelegt werden. So kann der Bediener den Manipulator einfacher ansteuern. Aus diesen Soll-Geschwindigkeiten werden die SollWinkelgeschwindigkeiten des Manipulators mit einem numerischen inversen kinematischen Algorithmus berechnet. Die gewünschten Winkelgeschwindigkeiten werden durch "den Low-Level-Controller der hydraulischen Aktuatoren eingestellt.

Für dieses Testszenario sind die Soll- und Ist-Winkelgeschwindigkeiten des Manipulators in Abb. 6 dargestellt. Es ist die langsame Bewegung des Manipulators zu erkennen. Diese Werte werden mit verfügbaren Ergebnissen aus der Literatur verglichen, was die Eignung und Genauigkeit des Modells zeigen. Um das modellierte Hydrauliksystem zu analysieren, zeigt Abb. 7 den simulierten Ölfluss ( $Q_{\text{oil}}$ ) und den Druck ( $P_{\text{oil}}$ ) im hydraulischen Aktuator des dritten Gelenks. Ihre Eigenschaften und Größen korrelieren auch mit den in der Literatur verfügbaren Ergebnissen. Es ist zu erkennen, dass während des plötzlichen Manövers der Druck und der Oldurchfluss erhöht werden, um das notwendige Drehmoment und die Kraft zur Bewegung des Gelenks bereitzustellen. In der sanften Kurve

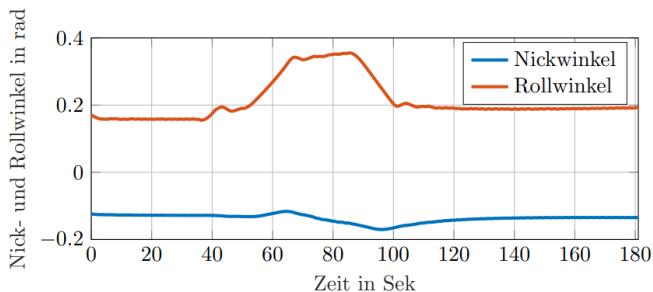


Abb. 5. Die Nick- und Rollwinkel des Fahrzeugs. Der Einfluss der Bewegung des Manipulators ist besonders um  $t = 50$  s zu sehen.

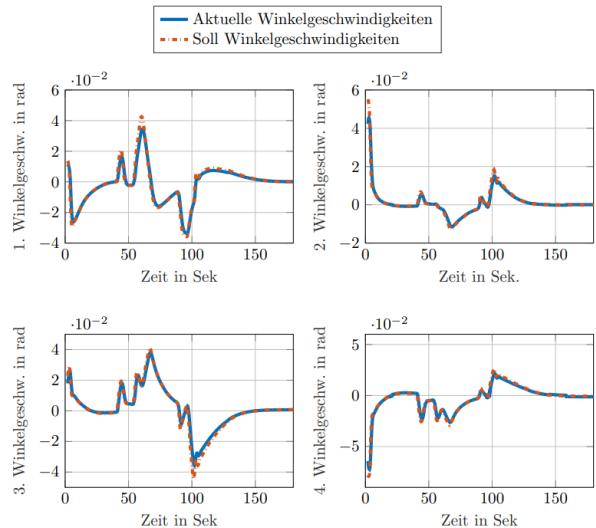


Abb. 6. Die Soll- und Ist-Winkelgeschwindigkeiten der vier Gelenke. Ihre Bewegungen sind im Vergleich zu elektrischen Aktoren langsam und entsprechen den Ergebnissen aus der Literatur. Daher eignet sich das Modell des Manipulators für die Validierung.

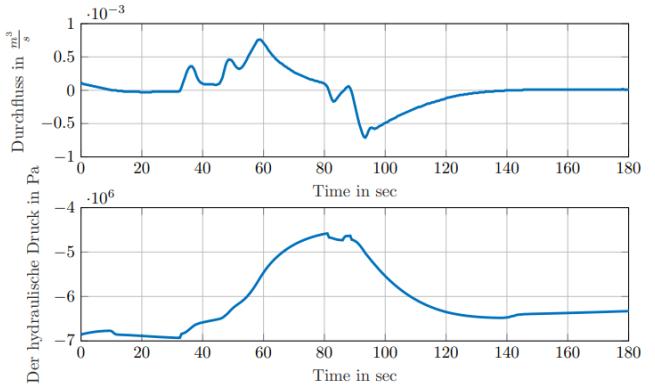


Abb. 7. Der hydraulische Durchfluss und Druck des dritten Stellglieds des Manipulators

muss nur der eingestellte Winkel beibehalten werden, d. h. es ist ein konstantes Drehmoment erforderlich. Dieses wird durch einen annähernd konstanten Öldruck eingestellt. Infolgedessen ist der Ölfluss ungefähr gleich Null. Ein solches Verhalten ist im Stand der Technik zu beobachten, siehe [18] [19]. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass das Gesamtmodell für die Modellierung des Fahrzeugmanipulators und für eine allgemeine Analyse der gemeinsamen Steuerungskonzepte geeignet ist.

### C. Validierung mit einem menschlichen Bediener

Anschließend wurde das Gesamtsystem mit einem menschlichen Bediener getestet. Dabei wurde die kooperative Regelung untersucht und mit einem nicht-kooperativen Konzept verglichen. Die kooperative Regelung unterstützt den Bediener in schwierigeren Situationen, in denen der Manipulator nicht mehr den Referenztrajektorien folgen kann. Hingegen folgt die nichtkooperative Regelung nur den vorgegebenen Referenztrajektorien des Fahrzeugs ohne den Menschen zu unterstützen. Die Abb. 8 zeigt den Vorteil der kooperativen Regelung. Das Fahrzeug verlässt seine Referenz mit der kooperativen Regelung, um den Bediener zu

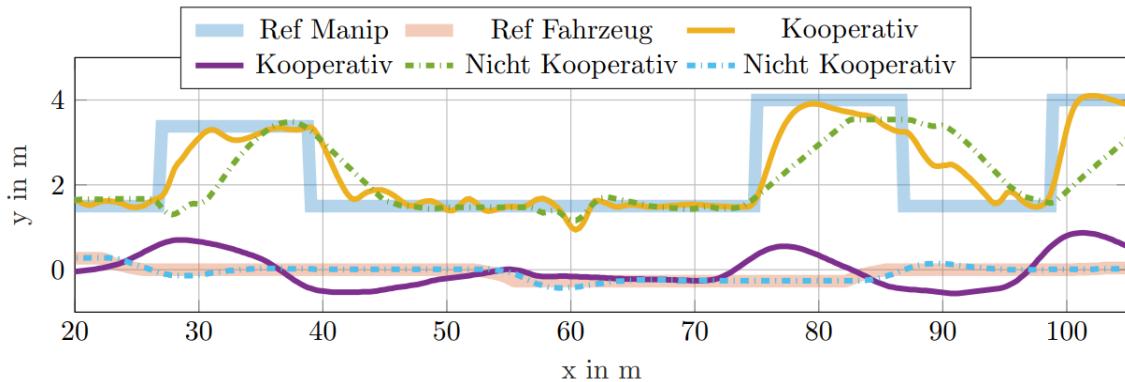


Abb. 8. Die Trajektorien der kooperativen und der nicht kooperativen Regelung.

helfen. Damit kann der Bediener mit dem Manipulator die Referenz besser erreichen, siehe  $x = 30$  m,  $x = 75$  m and  $x = 100$  m. Es lässt sich feststellen, dass die Trajektorien mit der kooperativen Regelung besser verfolgt werden können. Der Simulator ermöglicht die Erprobung in verschiedenen Szenarien. Sogar kritische und gefährliche Versuche sind möglich, ohne solche Maschinen zu beschädigen oder den Menschen zu verletzen. Folglich trägt der Simulator bei, um Kosten zu sparen und die Entwicklungszeit zu verkürzen. Außerdem können auch verschiedene Bedienungskonzepte weitgehend getestet werden, siehe [20] oder [21].

## V. CONCLUSION

In diesem Beitrag wurde ein Simulator für eine große mobile Arbeitsmaschine vorgestellt, welche sich für die Validierung kooperativer Regelungskonzepte eignet. Die Notwendigkeit des nichtlinearen Fahrzeugmodells ist durch den Einfluss des Manipulators zu erkennen: Das Fahrzeug ist während der Arbeit nach vorne geneigt, weshalb ein nichtlineares Modell die Bewegungen nicht korrekt wiedergeben wurde. Die Modelle würden qualitativ validiert und gezeigt, dass das System realistische Bewegungen solcher Systeme beschreiben kann. Anschließend wurde ein Test präsentiert, in welchem ein menschlicher Bediener das System ansteuert und mit dem untersuchten kooperativen Regelungskonzept interagiert. Es wurde gezeigt, dass mit dem entwickelten Simulator möglich ist, vielfältige Szenarien zu untersuchen und verschiedene Reglereinstellungen zu testen.

- [1] K. Fue, W. Porter, E. Barnes, and G. Rains, “An Extensive Review of Mobile Agricultural Robotics for Field Operations: Focus on Cotton Harvesting,” *AgriEngineering*, vol. 2, no. 1, pp. 150–174, Mar. 2020.
- [2] L. F. P. Oliveira, A. P. Moreira, and M. F. Silva, “Advances in Forest Robotics: A State-of-the-Art Survey,” *Robotics*, vol. 10, no. 2, p. 53, Mar. 2021.
- [3] P. P. Shrestha, K. K. Shrestha, and T. K. Kandie, “Effects of Change Orders on the Cost and Schedule of Rural Road Maintenance Projects,” *Journal of Legal Affairs and Dispute Resolution in Engineering and Construction*, vol. 9, no. 3, p. 04517010, Aug. 2017.
- [4] B. Xu and M. Cheng, “Motion control of multi-actuator hydraulic systems for mobile machineries: Recent advancements and future trends,” *Frontiers of Mechanical Engineering*, vol. 13, no. 2, pp. 151–166, Jun. 2018.
- [5] B. Varga, A. Shahirpour, S. Schwab, and S. Hohmann, “Control of Large Vehicle-Manipulators with Human Operator,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 30, pp. 373–378, 2019.

- [6] B. Varga, S. Hohmann, A. Shahirpour, M. Lemmer, and S. Schwab, “Limited-Information Cooperative Shared Control for Vehicle-Manipulators,” in *2020 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*. Toronto, ON, Canada: IEEE, Oct. 2020, pp. 4431–4438.
- [7] B. Varga, J. Inga, and S. Hohmann, “Limited Information Shared Control, a Potential Game Approach,” *arXiv:2201.06651 [cs, eess, math]*, Jan. 2022.
- [8] B. Varga, S. Meier, S. Schwab, and S. Hohmann, “Model Predictive Control and Trajectory Optimization of Large Vehicle-Manipulators,” in *2019 IEEE International Conference on Mechatronics (ICM)*. Ilmenau, Germany: IEEE, Mar. 2019, pp. 60–66.
- [9] R. L. Kovacs, L. Nadai, and Z. Hankovszki, “Modeling of commercial vehicles for vehicle dynamics control development,” in *2014 IEEE 9th IEEE International Symposium on Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI)*. Timisoara, Romania: IEEE, May 2014, pp. 305–310.
- [10] G. Rill, *Road Vehicle Dynamics: Fundamentals and Modeling*. Crc Press, 2011.
- [11] D. Findeisen and S. Helduser, *O’hydraulik*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2015.
- [12] M. Ruderman, “Full- and reduced-order model of hydraulic cylinder for motion control,” in *IECON 2017 - 43rd Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society*. Beijing: IEEE, Oct. 2017, pp. 7275–7280.
- [13] M. H. Rudolfsen, T. N. Aune, O. Aukland, L. T. Aarland, and M. Ruderman, “Identification and control design for path tracking of hydraulic loader crane,” in *2017 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*. Munich, Germany: IEEE, Jul. 2017, pp. 565–570.
- [14] X. B. Tran, N. Hafizah, and H. Yanada, “Modeling of dynamic friction behaviors of hydraulic cylinders,” *Mechatronics*, vol. 22, no. 1, pp. 65–75, Feb. 2012.
- [15] K. Zarei-nia, A. Y. Goharrizi, N. Sepehri, and W.-k. Fung, “Experimental evaluation of bilateral control schemes applied to hydraulic actuators: A comparative study,” *Transactions of the Canadian Society for Mechanical Engineering*, vol. 33, no. 3, pp. 377–398, Sep. 2009.
- [16] J. Y. Alaydi, “Modeling and Simulation of High-Performance Symmetrical Linear Actuator,” vol. 3, no. 8, p. 11, 2012.
- [17] O. Forster, *Analysis I*. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden, 2016.
- [18] M. S. Fodor, D. L. Freidovich, and D. C. Vazquez, “Practical trajectory designs for semi-automation of forestry cranes,” p. 8, 2016.
- [19] J. Koivumaki, W.-H. Zhu, and J. Mattila, “Energy-efficient and high-precision control of hydraulic robots,” *Control Engineering Practice*, vol. 85, pp. 176–193, Apr. 2019.
- [20] B. Varga, Y. Burkhardt, S. Schwab, and S. Hohmann, “Shared-Control Concepts for Large Vehicle-Manipulators,” in *2020 IEEE 29th International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*. Delft, Netherlands: IEEE, Jun. 2020, pp. 197–203.
- [21] B. Varga, A. Shahirpour, Y. Burkhardt, S. Schwab, and S. Hohmann, “Validation of Cooperative Shared-Control Concepts for Large Vehicle-Manipulators,” in *2020 IEEE Conference on Control Technology and Applications (CCTA)*. Montreal, QC, Canada: IEEE, Aug. 2020, pp. 542–548.

**THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK**

# Evaluation of Kalman Filter Configurations for Robot Localization Using Sensor Data Fusion

## Evaluierung von Kalman Filter Konfigurationen zur Roboterlokalisierung mittels Sensordatenfusion

Stefan Hensel\*, Marin Marinov\*\*, Christopher Kupitz\*, Dimitre Trendafilov \*\*

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

\*\* Technical University of Sofia, Faculty of Electronic Engineering and Technologies, Department of Electronics  
Sofia, Bulgaria, mbm@tu-sofia.bg

**Abstract** — In this work, three different configurations of the Kalman filter developed by Tom Moore for the Robot Operating System are presented. These form the basis for localization using sensor fusion in the ROS framework used. The aim of this work is the construction and verification of localization for a mobile robot system Husky A200 from Clearpath Robotics. For this purpose, the possibilities of the existing system were examined, and several versions of localization filters were configured. In the end, a verification of the results in different scenarios is compared. For this purpose, the results of a variant of the Extended Kalman filter in 2D (EKF2D), a variant of the Unscented Kalman filter in 2D (UKF2D), and a variant of the Extended Kalman filter in 3D (EKF3D) are verified and compared. The investigations showed that the EKF2D provides the best and most robust results for localization, despite having a 17.3% higher end position deviation compared to the UKF2D variant. The EKF3D configuration variant selected in this project is not suitable for a meaningful position determination due to its strong inaccuracies in height determination.

**Zusammenfassung** — In dieser Arbeit werden drei verschiedene Konfigurationen der von Tom Moore für das Robot Operating System entwickelten Kalman-Filter vorgestellt. Diese bilden die Grundlage für eine Lokalisierung mittels Sensorfusion in dem verwendeten ROS-Framework. Ziel dieser Arbeit ist der Aufbau und die Verifikation einer Lokalisierung für ein mobiles Robotersystem Husky A200 der Firma Clearpath Robotics. Hierzu wurden die Möglichkeiten des bestehenden Systems untersucht und mehrere Versionen von Lokalisationsfiltern konfiguriert. Am Ende wird eine Verifikation der Ergebnisse in verschiedenen Szenarien gegeneinander gestellt. Hierzu werden die Ergebnisse einer Variante des Extended Kalman-Filters in 2D (EKF2D), eine Variante des Unscented Kalman-Filter in 2D (UKF2D) und eine Variante des Extended Kalman-Filters in 3D (EKF3D) verifiziert und verglichen. Die Untersuchungen ergaben, dass der EKF2D die besten und robustesten Ergebnisse für eine Lokalisierung erbringt, trotz, im Vergleich zu der UKF2D Variante, 17,3 % höhere Endpositionsabweichung aufweist. Die in diesem Projekt gewählte EKF3D Konfigurationsvariante eignet sich, wegen seinen starken Ungenauigkeiten in der Höhenbestimmung nicht für eine aussagekräftige Positionsbestimmung.

### I. EINFÜHRUNG

Ziel dieser Arbeit ist der Aufbau und die Verifikation einer Lokalisierung für ein mobiles Robotersystem Husky A200 der Firma Clearpath Robotics [1]. Diesbezüglich wurde der Roboter erstmal auf die Möglichkeiten untersucht dieses Ziel zu erreichen. Daraufhin musste der bestehende Aufbau der verteilten Computersysteme analysiert werden. Es musste festgelegt werden welche Sensoren mit welchem der Computer verbunden werden muss. Die nötigen Hardwaretreiber für die bestehenden Sensoren mussten gefunden, installiert getestet und richtig konfiguriert werden. Anschließend mussten die physische Position und Orientierung der Sensoren ausgemessen und dem ROS-System bekannt gemacht werden. Nachdem alle Hardware- und Treibereinstellungen konfiguriert waren und das System wie gewünscht arbeitete, konnten erste Testfahrten aufgenommen werden. Es wurden zu externer Auswertung, Aufzeichnungen aller Sensordaten des ROS-Systems in einem Rosbag aufgenommen. Diese Daten können in einem beliebigen ROS-System wieder abgespielt werden und so

Simulierte „echte“ Daten wieder gespiegelt werden. Das ermöglicht eine spätere Auswertung losgelöst von dem Robotersystem selbst. Zur Erreichung der gesetzten Ziele wurden mehrere Kalman-Filter mit dem ROS eigenen *robot\_localization* softwarepacket konfiguriert und dessen Ergebnisse validiert. Hierzu wurde mehrere, vorher aufgenommene, Rosbags mit den verschiedenen Arten der Kalman-Filter gefiltert und verglichen.

### II. FILTERAUFBAU UND SYSTEMKONFIGURATION

In diesem Kapitel wird der gewählte Filteraufbau mit seinen einzelnen ROS (Robot Operating System) Nodes erklärt. Des Weiteren werden drei Konfigurationen für die Verwendung in 2D, 3D und als UKF-Variante erläutert. Das gemeinsame Grundgesamtsystem der in der Evaluierung getesteten Filtervarianten wird aufgezeigt und die wichtigen Parameter erklärt. Die für die Lokalisierung zur Verfügung stehenden Daten sind die Daten der XSens IMU, der Husky Odometrie und die GNSS-Daten der Arduino GNSS. Um die in REP-105

und für die Koordinatensysteme getroffenen Vereinbarungen zu erfüllen, kann das Filtersystem, das die Daten der gewählten Sensoren fusionieren soll, in zwei Teilsysteme aufgeteilt werden [2]. Eines das die quasikontinuierlichen Daten fusioniert und eine Transformation von *odom*-Koordinatensystem zum *base\_link*-Koordinatensystem. Und eines das die quasi kontinuierlichen Daten mit den diskret sprunghaften GNSS-Daten fusioniert und dadurch eine Transformation von *map*-Koordinatensystem in das *odom*-Koordinatensystem errechnet. Nur dadurch ist eine Erfolgreiche Transformation von *base\_link*-Koordinatensystem in das *map*-Koordinatensystem möglich.

In Abb. 1. beschreibt den strukturellen Aufbau eines ROS-Lokalisierungsfiltersystems das quasikontinuierlichen Sensordaten mit sprunghaft sich ändernden GNSS-Daten fusioniert. Dieser ist unterteilt in eine Instanz der *ekf\_localization\_node* die Daten der IMU und der Achsen Odometrie des Huskys zu einer Roboterpose fusioniert. Dieser ist in Abbildung 4-1 mit *ekf\_local* bezeichnet. Und in eine Instanz der *ekf\_localization\_node* die quasikontinuierlichen Sensordaten mit den von der *navsat\_transform\_node* transformierten GNSS-Daten fusioniert. Dieser wird in Abbildung 1 mit *ekf\_global* bezeichnet. Lokale Pfad- und Bewegungsplanung sollte unter Verwendung der Schätzungsergebnisse des *ekf\_local* durchgeführt werden.

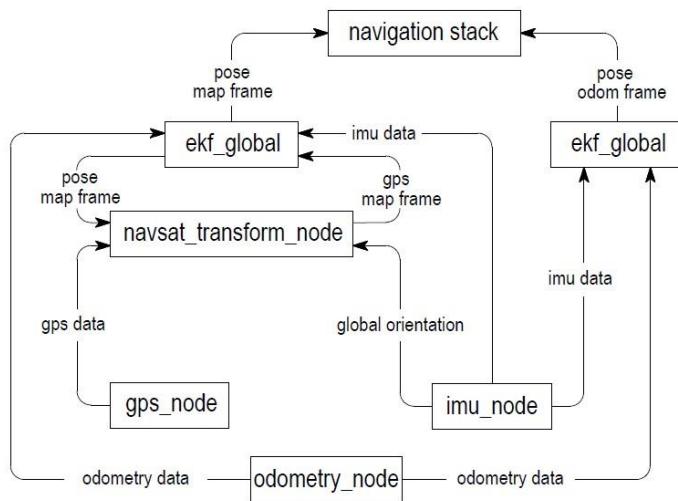


Abb. 1. Filtersystemaufbau um Vereinbarungen in REP-105 zu entsprechen

#### A. Konfiguration des Lokalen Extended Kalman-Filters

Die Konfiguration der Instanz der lokalen EKF Node lässt sich in drei wesentliche Abschnitte unterteilen [3].

Einmal in die Konfiguration der Koordinatensysteme des Filters, in die Konfiguration der verwendeten Sensordaten und in die Festlegung des Topics der ausgehenden Lokalisierungsschätzung. Es werden die Koordinatensysteme des lokalen EKFs festgelegt und die verwendeten Koordinatensystemnamen werden der *ekf\_localization\_node* mitgeteilt. Diese Instanz der *ekf\_localization\_node* fusioniert die Daten der IMU und der Husky Odometrie. Zusätzlich wird festgelegt, dass das Koordinatensystem der Lokalisierungsschätzungen das *odom*-Koordinatensystem ist.

Die wichtigste Einstellung in diesem Abschnitt ist die Festlegung der *[Sensor]\_config* Parameter. Dieser bestehen aus einem 15-dimensionalen binären Vektor und entscheidet

welche Informationen der Sensordaten in die Berechnung des KF mit aufgenommen werden. Zum Beispiel Geschwindigkeit, Winkelgeschwindigkeit des Gyroskops und die ermittelten Beschleunigungsmesswerte des Beschleunigungsmessers werden in die Berechnung eingehen.

#### B. Globalen Extended Kalman-Filters

Die Konfiguration der Instanz der globalen EKF Node lässt sich in vier wesentliche Abschnitte unterteilen. Zunächst werden wie bei der lokalen Instanz die Koordinatensysteme des Filters festgelegt. Anschließend werden die Sensordaten mit ihren *[Sensor]\_config*-Parametervektoren festgelegt. Anders wie die lokale Instanz wird bei dieser eine Prozessunsicherheitsmatrix *Q* hinzugefügt. Abschließend werden die berechneten Positionsdaten in ein vom Standard abweichenden Topic umgeleitet. Es werden die verwendeten Koordinatensystemnamen der *ekf\_localization\_node* mitgeteilt. Zusätzlich wird festgelegt, dass das Koordinatensystem der Lokalisierungsschätzungen das *map*-Koordinatensystem ist.

Diese Instanz der *ekf\_localization\_node* fusioniert die Daten der IMU, der Husky Odometrie und die transformierten GNSS-Daten. Die globale Instanz des Filters weist die gleichen Einstellungen wie die lokale Instanz des Filters, in Bezug auf die Daten der IMU und der Husky Odometrie, auf. Zusätzlich werden die *navsat\_transform*ierten GNSS-Koordinaten unter dem Namen *odom1* hinzugefügt. Der *odom1\_config* Parametervektor ist so konfiguriert das nur die transformierten Positionsdaten ( $[X, Y, Z, \dots]$ ) des GNSS in die Filterberechnung eingehen. Die Prozessunsicherheitsmatrix, üblicherweise mit *Q* bezeichnet, wird verwendet, um die Unsicherheit im Aktualisierungszyklus der Filteralgorithmen zu modellieren. Dieser Parameter ist nicht nötig, kann aber massive Verbesserungen des Vorhersageergebnisses bewirken. In diesem Projekt wurden die Hauptdiagonalwerte der  $15 \times 15$  Matrix durch mehrfaches Testen an ein gewünschtes Optimum angehängt.

#### C. Konfiguration der Unscented Kalman-Filter

Der Unscented Kalman-Filter (UKF) wurde von Julier und Uhlmann entwickelt und ist eine weitere Methode, mit der eine Zustandsschätzung in einem stark nichtlinearen Systeme durchgeführt werden kann [4].

UKF verwendet ein lineares Kalman-Filter-Framework und definiert eine Stichprobenauswahlstrategie anstelle der Wahl von zufälligen Stichproben. Die Stichprobenpunkte sind allgemein als Sigma Punkte definiert. Die Anzahl der Stichprobenpunkte in UKF ist gering und hängt von der gewählten Stichprobenstrategie ab. Die Konfiguration der Filtersystemvariante mit den Unscented Kalman-Filttern ist äquivalent zu der EKF-Variante. Es werden lediglich die Namen der verwendeten Nodes von *ekf\_localization\_node* zu *ukf\_localization\_node* geändert und die UKF eigenen Parameter *alpha*, *beta* und *kappa* hinzugefügt. Diese UKF-Filtervariante wird in Kapitel 3-Evaluierung mit UKF2D bezeichnet.

#### D. Konfiguration der *navsat\_transform\_node*

Die *navsat\_transform\_node* ist Bestandteil des *robot\_localization* Softwarepaket. Sie ermöglicht die Verwendung von GNSS-Koordinaten, die im *utm*-Koordinatensystem befinden, in einem Fusionsalgorithmen die in anderen Koordinatensystemen arbeiten. Dieses Node benötigt

für ihre Berechnungen Informationen über die globale Orientierung (*sensor\_msgs/Imu*), die aktuelle GNSS-Position (*sensor\_msgs/NavSatFix*) und die aktuelle Position (*nav\_msgs/Odometry*) der geschätzten Position. Diese Informationen werden in der Standardkonfiguration von den Topics */imu/data*, */gps/fix* und */odometry/filtered* bezogen. Unter Berücksichtigung der globalen Orientierungsdaten wird die Empfangene GNSS-Position von dem *utm*-Koordinatensystem in das Koordinatensystem des Positionsschätzers transformiert und im Topic */odometry/gps* zu weiterer Verwendung veröffentlicht. Die Transformationsbeziehung zwischen dem eingangsseitigen Koordinatensystem des Positionsschätzer und dem *utm*-Koordinatensystem wird mit einer *tf2\_msgs/TFMessage* unter dem Topic */tf\_static* veröffentlicht. Des Weiteren transformiert die Node die Odometriedaten des Positionsschätzers in das *utm*-Koordinatensystem und publiziert diese im Standardtopic */gps/filtered*. Damit ist es möglich diese Positionen auf einer globalen Karte in GNSS-Koordinaten darzustellen.

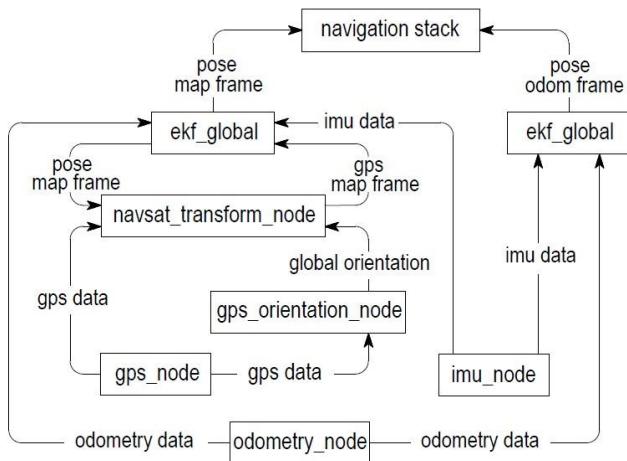


Abb. 2. Filtersystemaufbau unter Verwendung der GNSS-Orientierung anstelle der globalen Orientierung der IMU

Standardmäßig nutzt die *navsat\_transform\_node* die globalen Orientierungsdaten einer IMU, um die GNSS-Daten in das Zielkoordinatensystem zu transformieren. Hierzu müssen die Orientierungsdaten ausreichend genau sein, besonders die des Yaw-Winkels (Rotationswinkel um die z-Achse eines Roboters). Um eine, für die Transformation, ausreichend hohe Genauigkeit muss die IMU sich mittels Magnetometer kalibrieren. Das fordert eine komplette Rotation um jede Koordinatenachse des Roboters. Da dies nicht möglich ist verzichtet man in dem hier verwendeten Aufbau auf die globalen Orientierungsdaten der IMU. Stattdessen wird die globale Orientierungsreferenz von den GNSS-Daten bezogen. Diese werden von der *gps\_orientation\_node* bereitgestellt.

Durch diese Änderung verändert sich der Aufbau des in Abbildung 1 dargestellten Filtersystems zu dem Abbildung 2 dargestellten.

### E. Konfiguration für eine Lokalisierung in 3 Dimensionen

Die Nodes des *robot\_localization* Softwarepaketes weisen jeweils einen Parameter auf, mit der sich die Positionsschätzung in zwei oder drei Dimensionen einstellen lässt. Dieser Parameter ist standardmäßig auf eine Positionsschätzung in zwei Dimensionen eingestellt. Für eine Änderung auf eine dreidimensionale Positionsschätzung muss der Parameter

*two\_d\_mode* in den Konfigurationen der *ekf\_lokalization\_node* und *ukf\_lokalization\_node* mit dem Wert *false* definiert werden. Außerdem muss in der Konfiguration der *navsat\_transform\_node* der Parameter *zero\_altitude* mit dem Wert *false* definiert werden. Diese dreidimensionale Filtervariante wird in Kapitel Evaluierung mit EKF3D bezeichnet, wohingegen die zweidimensionale Filtervariante mit EKF2D bezeichnet wird.

### F. Konfiguration der *gps\_orientation\_node*

Die *gps\_orientation\_node* ist eine eigene für dieses Projekt programmierte Node, die die globale Orientierung anhand der GNSS-Daten bestimmt. Da die Erde eine Kugel ist und GNSS Koordinaten Kugelkoordinaten entsprechen, wird sie zur Bestimmung der globalen Orientierung der sphärischen Geometrie angenommen. Im Allgemeinen ändert sich Ihre aktuelle Orientierung, wenn Sie einem Pfad auf einer Kugel (Orthodrome) folgen (siehe Abbildung 3). Die endgültige Orientierung unterscheidet sich von der ursprünglichen Orientierung in unterschiedlichem Maße je nach Entfernung und Breitengrad.

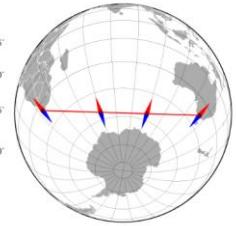


Abb. 3. Darstellung der Änderung der Orientierung beim Folgen einer Orthodrome

### G. Das konfigurierte Gesamtsystem

Alle Konfigurationen der einzelnen Nodes sind in einer ROS (Robot Operating System) Launch-Datei zusammengefasst. Diese Launch-Datei startet alle Vorgestellten Nodes und konfiguriert diese gemeinsam. So ist gewährleistet das alle nötigen Teilsysteme während der Verifikationsläufe gestartet sind.

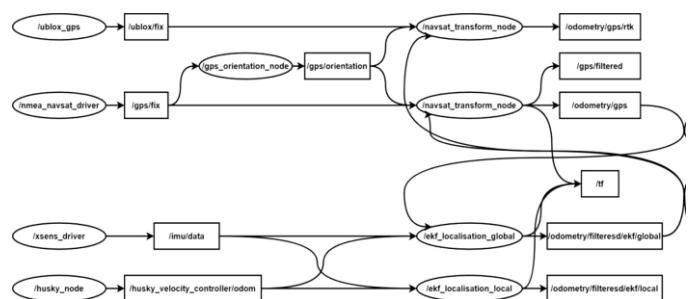


Abb. 4. Darstellung aller konfigurierten Nodes des Lokalisierungssystems

Details des Hardware- und Softwarewareaufbaus des Robotersystems sind in ausführlich vorgestellt [5].

## III. EVALUIERUNG

Nachdem in Kapitel 2 detailliert auf die Konfigurationen der verschiedenen Filteraufbauten eingegangen worden ist, soll nun mit einer Evaluierung eine Aussage über die Leistungsfähigkeit der Filtersysteme in Hinsicht auf die Genauigkeit der Bestimmung der Roboterposition getroffen werden. In diesem Kapitel werden für jede

Filtersystemkonfiguration mehrere Szenarien vorgestellt. Bei den Untersuchungen und Bewertungen der Ergebnisse sollen unter anderem folgende Fragestellungen beantwortet werden:

- Wie präzise wird die Position, in Bezug auf den absoluten Positionierungsfehler der mobilen Plattform ermittelt?
- Ist der absolute Positionierungsfehler ausreichend gering für eine Verwendung in weiteren Forschungsprojekten?
- Welche äußeren Einwirkungen haben Einfluss auf die Genauigkeit der Positionslokalisierung?
- Ist Verbesserungspotential im Aufbau der Hardware, im Aufbau der Filtersysteme oder in der Wahl der Softwarepakete zu erkennen?

Als Vergleichssystem in den Evaluierungsszenarien wird das auf dem Roboter verbaute RTK GNSS verwendet.

#### A. Evaluationsszenarien

Es werden fünf verschiedenen Szenarien vorgestellt mit denen die drei Systemkonfigurationen EKF2D, UKF2D und EKF3D auf ihre Leistungsfähigkeit hinsichtlich der Genauigkeit der Positionsbestimmung getestet werden.

##### 1) Szenario 1 Einfache Fahrt auf dem Hochschulparkplatz

Das erste vorgestellte Szenario ist eine einfache in sich geschlossene Fahrt auf dem Hochschulparkplatz der Hochschule Offenburg. Das gewählte Szenario befindet sich auf einem ebenen Parkplatz, ohne grobe Hindernisse die GNSS-Signale reflektieren und beinhaltet sowohl Rechts- als auch Linkskurven. Durch das Fahren eines geschlossenen Kreises (engl. closed loop verification), wo der Endpunkt dem Startpunkt entspricht, ist die Differenz dieser zwei Punkte der absolute Fehler der Lokalisierung.

##### 2) Szenario 2 Einfache Fahrt mit sporadischen GNSS-Ausfällen

Das hier vorgestellte Testszenario entspricht dem vorgestellten Szenario 1 mit zwei künstlich eingefügten GNSS-Ausfällen. Diese Ausfälle wurden sporadisch hinzugefügt und befinden sich nicht an speziell ausgewählten Orten. Dieses Szenario soll das Verhalten der Lokalisierung bei kurzzeitig aussetzendem GNSS aufzeigen.

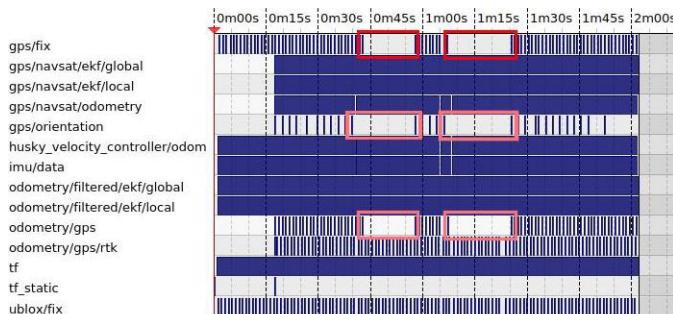


Abb. 5. Ausschnitt des *rqt\_bag* Graphen zur Darstellung der künstlich erzeugten GNSS-Ausfälle in den aufgenommen Rosbag Datei des Szenario 2

In Abb. 5 sind die zwei künstlich erzeugten GNSS-Ausfälle mit Rot markiert. Die in helleren rot markierten Lücken in den Datenströmen sind auf das Fehlen der GNSS-Daten zurück zu führen.

##### 3) Szenario 3 Abschattung des GNSS-Signals durch Bäume

Das in diesem Abschnitt vorgestellte Szenario ist wieder eine Fahrt in einem geschlossenen Kreis. Jedoch werden an vereinzelten Stellen die GNSS-Signale von Bäumen oder von einer Überdachung abgeschattet. Dieses Szenario soll das Verhalten des Filtersystems bei Abschattungs- und Multipath-Effekten aufzeigen. Die folgende Abbildung 5-4 zeigt die GNSS-Punkte der RTK-Referenz. Die nachträglich eingefügten grünen Kreise stellen die Position und Größe der dort vorhandenen Bäume dar und soll die Abschattung in diesem Szenario verdeutlichen. Des Weiteren stellt die breite graue Linie eine von dem Gebäude A ausgehende Überdachung dar, die die GNSS-Signale zusätzlich abschattet.



Abb. 6. Darstellung des Szenario 3 auf dem Kartendienst openstreetmap.org

##### 4) Szenario 4 Reflektions-, Multipath-Effekte und Ausfall des GNSS durch Gebäude

In diesem Unterkapitel wird das Szenario 4 mit seinen vorhandenen Umgebungseigenschaften und möglichen Schwierigkeiten für das Filtersystem vorgestellt. Das vierte Szenario spielt zwischen drei recht großen Gebäuden der Hochschule Offenburg (siehe Abbildung 5-5). Außerdem führt ein Teil der Strecke durch das Gebäude E des Campus. Der Weg zum dargestellten Gebäude E weist eine Steigung auf, die zusätzlich zu Fehlern in der Positionsbestimmung führen kann.

##### 5) Szenario 5 Steigungen und leichte Abschattung durch Bäume

Das letzte Testszenario besteht aus zwei Teilen. Eine Hälfte des Szenarios 5 besteht aus der Fahrt auf dem flachen Hochschulparkplatz. Die andere Hälfte besteht aus einem 1,4 m hohen (Höhe gemessen ab Parkplatz) Damm, der auf einer Seite eine Steigung von 44° aufweist. Auf der anderen Seite weist er eine Steigung von ca. 23° auf. Das Ziel dieses Szenarios besteht darin die Lokalisierungsergebnisse bei sich schnell änderndem Nick-Winkel und bei sich ändernder Höhe zu prüfen.

#### B. Zweidimensionaler Extended Kalman-Filter

In diesem Unterkapitel wird der EKF2D auf seine Leistungsfähigkeit in verschiedenen Szenarien geprüft. Hierzu werden die absoluten Fehler der gefahrenen Testszenarien aufgelistet. Die gesamte Gegenüberstellung aller Ergebnisse der fünf Szenarien sind in abgebildet. Die Spalte der IMU+Odometrie spiegeln das Ergebnis des lokalen EKF wider wohingegen die Spalte GPS+IMU+Odometrie den Ergebnissen des globalen EKF entsprechen.

TABELLE 1. ABSOLUTER FEHLER VON LOKALEN UND GLOBALEN EKF DER EKF2D KONFIGURATION

Szenarien EKF2D	GPS+IMU+Odometrie, m	IMU+Odometrie, m
Szenario 1	1,7988	4,7057
Szenario 2	1,5305	5,7222
Szenario 3	2,6144	31,3333
Szenario 4	2,6144	33,511
Szenario 5	3,1064	14,946

### 1) Ergebnis EKF2D Szenario 1

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der EKF2D Konfiguration auf das Szenario 1 betrachtet. Es wird grafisch die zurückgelegte Strecke und die Positionsunsicherheit in Form der Kovarianz grafisch dargelegt.

In Abb. 7 sind die Positionsdaten des RTK-Referenz, Arduino GNSS, lokalen EKFs und globalen EKFs zu erkennen. Die dargestellten Kreise entsprechen den Fixpunkten der GNSS-Empfänger. Die roten Kreise sind der RTK-Referenz zugeordnet wohingegen die blauen Kreise dem Arduino GNSS zugeordnet werden können. Die grüne Linie entspricht dem Ergebnis des lokalen EKFs (IMU+Odometrie). Die blaue Linie entspricht dem Positionsergebnis der globalen EKFs (GNSS+IMU+Odometrie). Es ist zu erkennen das der Graph des lokalen EKF eine gewisse Ähnlichkeit aufweist und der absolute Positionsfehler eines geschlossenen Kreises nur 4,7057 m beträgt, aber die gefahrene Strecke nicht ansatzweise der tatsächlichen entspricht. Aus diesem Grund ist die alleinige Verwendung des lokalen EKF nicht für eine Lokalisierung ausreichend.

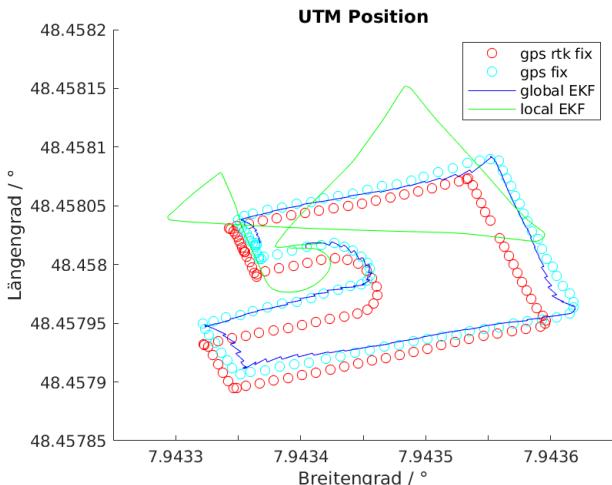


Abb. 7. Darstellung der Ergebnisse des EKF2D angewandt auf das Szenario 1

### 2) Ergebnis EKF2D Szenario 4

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der EKF2D Konfiguration auf das Szenario 2 betrachtet. Abb. 8 zeigt die Ergebnisse des EKF2D auf das Szenario 4.

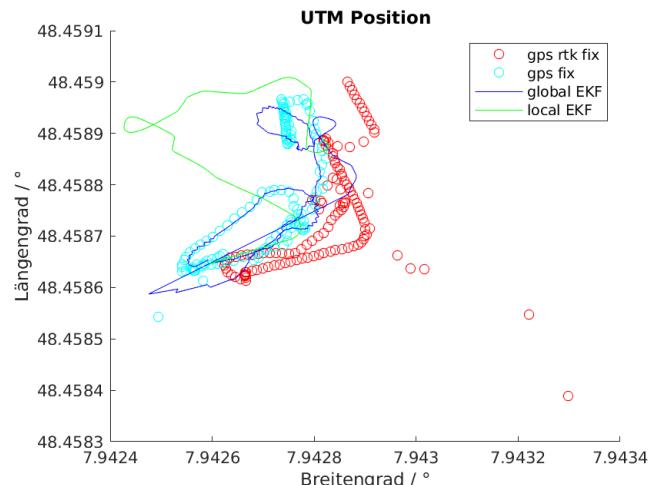


Abb. 8. Darstellung der Ergebnisse des EKF2D angewandt auf das Szenario 2

Vergleicht man die Markierungen der RTK-Referenz mit dem beschriebenen Fahrtweg wird deutlich, dass die umliegenden Gebäude die GNSS-Daten stark beeinflussen. Da zusätzlich die Fehler in den GNSS-Daten vom System nicht erkannt werden und die Kovarianzmatrix konstant bleibt, wird das Ergebnis des globalen EKFs maßgeblich falsch beeinflusst was zu einem unbrauchbaren Ergebnis der Lokalisierung führt.

### C. Zweidimensionaler Unscented Kalman-Filter

In diesem Unterkapitel wird der UKF2D auf seine Leistungsfähigkeit in verschiedenen Szenarien geprüft. Hierzu werden die absoluten Fehler der gefahrenen Testszenarien aufgelistet. Die gesamte Gegenüberstellung aller Ergebnisse der fünf Szenarien sind in Tabelle 2 abgebildet.

TABELLE 2. ABSOLUTER FEHLER VON LOKALEN UND GLOBALEN UKF DER UKF2D KONFIGURATION

Szenarien UKF2D	GPS+IMU+Odometrie, m	IMU+Odometrie, m
Szenario 1	1,6024	5,1368
Szenario 2	1,1562	6,3161
Szenario 3	7,4512	31,256
Szenario 4	3,2923	34,092
Szenario 5	2,8231	12,874

### D. Dreidimensionaler Extended Kalman-Filter

In diesem Abschnitt wird der EKF3D auf seine Leistungsfähigkeit in verschiedenen Szenarien geprüft. Hierzu werden die absoluten Fehler der gefahrenen Testszenarien aufgelistet. Die gesamte Gegenüberstellung aller Ergebnisse der fünf Szenarien sind in Tabelle 3 abgebildet.

TABELLE 3. ABSOLUTER FEHLER VON LOKALEN UND GLOBALEN UKF DER UKF3D KONFIGURATION

Szenarien EKF3D	GPS+IMU+ Odometrie, m	IMU+Odometrie, m
Szenario 1	7,2528	22,364
Szenario 2	8,2917	27,279
Szenario 3	12,412	85,544
Szenario 4	2,8495	48,941
Szenario 5	9,9951	31,845

## Ergebnis EKF3D Szenario 5

In diesem Unterkapitel werden die Ergebnisse der EKF3D Konfiguration auf das Szenario 5 betrachtet. Es werden grafisch die Positionen des RTK-Referent und des globalen EKF in Abb. 9 dargestellt. Der grüne Punkt markiert den Startwert der Schätzung und der magentafarbene Punkt markiert die Position am Ende des Szenarios.

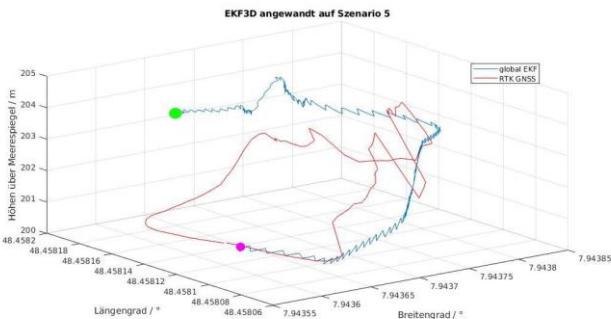


Abb. 9. Dreidimensionale Darstellung der Ergebnisse des EKF3D angewandt auf das Szenario 5

Untervernachlässigung der Höhendifferenz zwischen der Positionsschätzung und der Position des RTK GNSS ähnelt die Form des blauen Grafen in der ersten Hälfte des Szenarios sehr der wahren gefahren Strecke. Die in der zweiten Hälfte des Szenarios aufgetretene abrupten Positionsänderungen des RTK GNSS sind einer Abschattung und/oder durch Reflexion verursacht. In dieser Hälfte entspricht die EKF-Schätzung tendenziell eher dem Pfad des Szenario 5.

Aus den Daten des globalen EKF geht eine Steigung für den in Szenario 5 vorkommenden Damm von  $47,654^\circ$  und  $20,166^\circ$  hervor. Das entspricht einer relativen Abweichung von 8,3 % für das hinauf fahren des Damms und einer relativen Abweichung von 12,3 % für die geringere Steigung beim Herabfahren. Zudem ergab der Filteralgorithmus einen geschätzten Höhenunterschied von 1,12397 m. Das entspricht einer relativen Abweichung von 19,7 % zu der zuvor ermittelten Dammhöhe.

## E. Vergleich EKF2D, UKF2D und EKF3D

Nun wird der Vergleich zwischen den drei Konfigurationsvarianten EKF2D, UKF2D und EKF3D gezogen. Es wird jedoch nur ein Vergleich zwischen den Ergebnissen des globalen EKF gezogen, da sich die Ergebnisse des lokalen EKF für nicht ausreichend genau erwiesen. Diese weisen zwar einen akzeptablen Endpositionsfehler auf, aber weichen zwischenzeitlich sehr stark von der Wahren Position ab. Dies macht die Ergebnisse des lokalen EKF für eine Positionsbestimmung unbrauchbar und muss aus den genannten Gründen nicht in die folgenden Vergleiche aufgenommen werden. Die Ergebnisse des Szenario 4 durch sehr starke Reflexions- und Multipath-Effekte unbrauchbar gemacht und werden deswegen im folgenden auch Vergleich vernachlässigt.

Abb. 10 stellt die Endpositionsabweichungen der Filterkonfigurationen unterteilt in die fünf Szenarien dar. Es ist deutlich ersichtlich, dass die Fehleranfälligkeit bei der Schätzung in drei Dimensionen erhöht ist. Dies ist auf den weiteren Freiheitsgrad der Berechnung zurückzuführen.

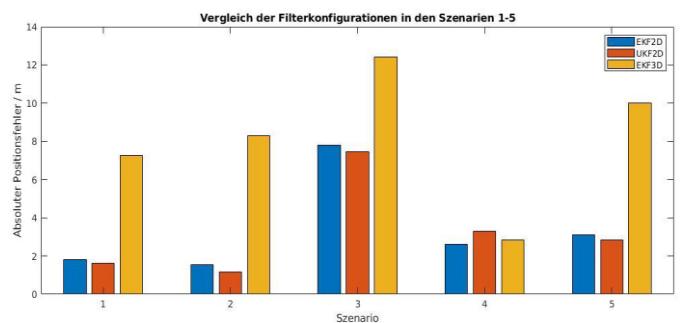


Abb. 10. Darstellung der Endpositionsabweichungen der Verschiedenen Konfigurationen aufgezeigt pro Szenario

Des Weiteren ist zu erkennen das Szenario 2 keinen großen Abweichungen zu Szenario 1 aufweist. Das bedeutet das kurzzeitige GNSS ausfälle zwar kurzzeitige Positionsfehler hervorrufen (siehe Anhang H.2 und I.2), jedoch durch das Wiedereintreffen von GNSS-Daten die Position schnell korrigiert wird. Aus Szenario 3 lässt sich ablesen, dass die Abschattung zwar die Lokalisierung ungenauer machen, diese aber dennoch möglich ist (siehe Anhang H.3 und I.3). Eine Umgebung mit viel Potenzial für Reflexionen (Szenario 4) hingegen verhindert die Lokalisierung dauerhaft. Da die Verwendung von sehr stark verzehrten GNSS-Daten unbrauchbare Ergebnisse erzeugen.

## IV. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

### Fazit

Abschließend kann zusammengefasst werden das alle drei Konfigurationen eine mehr oder weniger genaue Lokalisierung ermöglichen. Die UKF2D Konfiguration erreicht bessere Endpositionsergebnisse, weicht jedoch zwischenzeitlich sehr stark von der waren Position ab. Dahingegen liegt die Schätzung der EKF2D Konfigurationsvariante, trotz durchschnittlich 17,3 % hoher Endpositionsabweichung, deutlich besser an der Wahren Position. Die Ergebnisse des dreidimensionalen EKF Variante EKF3D hingegen weisen einen sehr hohen Fehler auf und eignen sich, in dieser Konfiguration nicht für eine genaue Lokalisierung. Die besten Lokalisierungsresultate erbringt der zweidimensionale EKF. Dieser erwies sich am robustesten und am genauesten gegenüber den zwei anderen Varianten. Es werden akzeptable Ergebnisse auch bei erschwerten Bedingungen gebildet, beispielsweise durch schweres Gelände, vereinzelte Bäume und Überraschungen. Jedoch erwiesen sich alle Varianten für unbrauchbar in Regionen, die sehr starke Reflexion- und Multipath-Effekte aufweisen. Einzelne kurzzeitige GNSS ausfälle hingegen beeinflussen das Ergebnis nur dahingehen, dass während des GNSS-Ausfalls der globale EKF dem Ergebnis des lokalen EKF folgt. Das führt dazu, dass das Ergebnis beginnt zu driften. Dieses Verhalten wird jedoch beim Eintreffen neuer GNSS-Daten korrigiert.

### Ausblick

Eine interessante Möglichkeit die Lokalisierung Ergebnisse verbessern zu können wäre das Verwenden noch weiterer Sensoren. Dahingehend könnte untersucht werden, wie stark eine visuelle Odometrie mittels einer oder mehrere Kameras die Lokalisierungsergebnisse verbessern würde. Oder zu was für eine Verbesserung die Verwendung von Sensoren zu Höhen Ermittlung (bspw. Barometer) oder globalen Orientierung (bspw. Magnetometer), insbesondere in der dreidimensionalen Anwendung führt.

#### ACKNOWLEDGMENT

The research is carried out within the frames of the contract № 222ПД0014-03, Scientific and Research Sector at the Technical University of Sofia.

#### REFERENCES

- [1] Clearpath Robotics Inc., "Husky UGV - Outdoor Field Research Robot by Clearpath".
- [2] Wim Meeussen, "REP 105 -- Coordinate Frames for Mobile Platforms (ROS.org)".
- [3] Welch, G., Bishop, G., "An introduction to the Kalman filter," in SIGGRAPH 2001, August 12-17, Los Angeles, CA, 2001
- [4] S. J. Julier and J. K. Uhlmann, "New extension of the Kalman filter to nonlinear systems," in AeroSense '97, Orlando, FL, USA, 1997.
- [5] S. Hensel, M. B. Marinov and M. Schmitt, "Experimental Setup for Investigation and Evaluation of a Mapping and Localization System," in Proceedings of the 9th FDIBA Conference - Challenges of the Digital World, Sofia, Bulgaria, 28–29 November 2019.
- [6] T. Schneider, M. Dymczyk, M. Fehr, K. Egger, S. Lynen, I. Gilitschenski and R. Siegwart, "maplab: An Open Framework for Research in Visual-inertial Mapping and Localization," CoRR, vol. abs/1711.10250, 2017
- [7] S. Hensel, M. K. C. Marinov and D. Trendafilov, "Experimental Setup for Testing and Evaluation of Kalman Filter Configurations," in FDIBA Conference, Sofia, 2022.

## **Short papers**

Chair: Mladen Mladenov, Milena Krumova, Zwetelina Gankova-Ivanova

# Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Life Cycle Costing in China – Evaluation anhand eines konkreten Unternehmensbeispiels

Shi Cheng\*, Thomas Heupel†

\* Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Germany

† FOM Hochschule, Essen, Germany

Essen, Germany, e-mail: thomas.heupel@fom.de

**Abstract** — Heutzutage wandelt die Gesellschaft sich stetig von einer Industrie- in eine Dienstleistungs- und Wissensgesellschaft. Die Technologie entwickelt sich kontinuierlich weiter sowie der kommerzielle Wettbewerb verschärft sich ständig, deswegen werden die Marktzyklen immer kürzer. Um frühzeitig künftige Entwicklungen und Erfordernisse zu erkennen und somit ihre Stellung auf dem Markt behaupten zu können, Unternehmen, insbesondere die High-Tech-Unternehmen, sind gezwungen, mehr Geld in Forschung und Entwicklung sowie in die Vorbereitung der Herstellung zu investieren. So haben z. B. die Investitionskosten für Forschung und Entwicklung von SMIC, der größte Auftragsfertiger von Chips in China, sich im Jahr 2021 auf 594 Millionen € belaufen, was 11,6 % des Umsatzes entspricht [1]. Außer der Vermehrung der finanziellen Investitionen verlängert der Zyklus für Forschung und Entwicklung sich nicht nur absolut, sondern auch im Verhältnis zum gesamten Lebenszyklus. Außerdem erhöhen Unternehmen ihre Investitionen in die After-Sales-Phase und dehnen die Haftungs- und Gewährleistungsbestimmungen aus, um den hohen Anforderungen der Kunden an die Produktqualität gerecht zu werden. Ursächlich für den Anstieg des Umweltbewusstseins der Bevölkerung und die immer strenger gesetzliche Regelungen zum Umweltschutz sind Unternehmen verpflichtet, umweltverträgliche Produkte herzustellen und die Verantwortung der endgültigen Entsorgung zu übernehmen [2]. Aus den oben genannten Gründen resultiert die erhebliche Steigerung der Vorlauf- und Folgekosten von Unternehmen. Vor diesem Hintergrund gewinnt der Einsatz von Life Cycle Costing an Bedeutung.

Obwohl das Konzept Life Cycle Costing aus USA stammt, ist das Instrument international weit verbreitet und auch bei chinesischen Unternehmen zunehmend gefragt. Problem ist, dass die anfänglichen Investitionskosten in China noch meistens als primäres und manchmal sogar als einziges Kriterium für die Investitionsentscheidungen verwendet werden. Trotz der offensichtlichen langfristigen Vorteile hat Life Cycle Costing sich langsam durchgesetzt. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage, welche Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Life Cycle Costing in China bestehen.

Gegenstand der Arbeit ist, anhand eines konkreten Unternehmensbeispiels die Möglichkeiten und Grenzen des Einsatzes von Life Cycle Costing in China aufzuzeigen. Die in der vorliegenden Arbeit angewendete Forschungsmethodik ist Fallstudie, die zu den qualitativen Forschungsmethoden gehört.

<sup>1</sup> Vgl. <http://www.cninfo.com.cn/new/disclosure/detail?orgId=gshk0000981&announcementId>, S. 127.

<sup>2</sup> Vgl. Joos, T. (2014), S. 296.

**THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK**

# Der Einfluss der Corona-Pandemie auf die Entwicklung des Homeoffice – Eine Analyse der Motivation und Arbeitszufriedenheit im Generationenvergleich

Djellëza Sadrija, Thomas Heupel

FOM Hochschule

Essen, Germany, e-mail: thomas.heupel@fom.de

**Abstract** — Der Wandel in die moderne Arbeitswelt wurde in den letzten Jahren und Jahrzehnten insbesondere durch die Digitalisierung vorangebracht. Sie ist dennoch bis zum Jahr 2020 nicht überall angekommen, wobei die Corona-Pandemie in den letzten Jahren als stärkster Impuls diente [1]. Sie hat die Welt in allen Bereichen sowohl positiv als auch negativ beeinflusst und verändert. Seit dem Beginn der Corona-Krise im Jahr 2020 wird vermehrt auf virtuellen Ebenen kommuniziert. Dadurch werden Veränderungen in den Lebens- und Arbeitsweisen der Menschen hervorgerufen. Insbesondere die Wirtschaft und damit einhergehend die Arbeitswelt sind stark davon betroffen. Durch den zunehmenden Druck der Corona-Pandemie müssen sich Unternehmen neu strukturieren und neue Wege der Arbeitserhaltung für sich sowie für ihre Mitarbeiter [2] eröffnen. Der Unternehmenserfolg kann ohne die Leistung der Arbeitskräfte nicht erfolgen, weshalb durch Lockdown- und Quarantäneverordnungen eine zielgerechte Lösung durch die Führungskräfte abverlangt wird [3].

Wenn es um das Thema Homeoffice (HO) geht, teilen sich die Meinungen von Arbeitgebern und Arbeitnehmern. Werden verschiedene AG wie Amazon, Microsoft oder Porsche betrachtet, wird schnell ersichtlich, dass sich die Ansichten spalten. Während bei den einen das HO als eine Zwischenlösung gesehen wird und nach der Pandemie eine Rückkehr in die Büros erfolgt, wird bei anderen das HO als eine gute Alternative zur Findung einer Balance gesehen, oder als eine optimale Möglichkeit, konzentriert und motiviert seine Arbeit vollständig Zuhause auszuführen [4].

UN müssen sich auch während der Pandemie gegenüber ihren MA, Kunden und zur Erhaltung ihres Unternehmensimages, mit Sicherheitsmaßnahmen sowie dem gleichzeitigen Erhalt einer optimalen Kundenbetreuung, ausstatten. Videokonferenzen ersetzen persönliche Kontakte und erweisen sich als besonders effizient, zeitsparend und ermöglichen eine transparente Kommunikation während der andauernden Pandemiezeit. Jedoch mussten die AG ebenso die Risiken und Herausforderungen der technischen Umsetzung mit ihren MA thematisieren [5].

Der aktuellen Lage ist zudem die schnelllebige und dynamische Arbeitswelt entgegenzusetzen, welche hohe Flexibilität unter ständigem Wandel und Veränderungsprozessen abverlangt. In Bereichen, welche eine Umsetzung des HO zulassen, wurde innerhalb kürzester Zeit die Voraussetzungen hierfür geschaffen [6]. Das HO hat insbesondere durch die Corona-Pandemie an Attraktivität gewonnen. Jedoch hat es ebenso unter Kritik gestanden.

Neben den positiven Aspekten für MA bezüglich der flexiblen Arbeitszeit- und Arbeitsortgestaltung, sind auch negative Aspekte der Überforderung und Zeitverlust in den Vordergrund getreten [7]. Dennoch lässt sich aus Befragungen des ifo-Instituts aus den Jahren 2020 und 2021 mit rund 6.000 Erwerbstägigen erkennen, dass die Pandemie auf die HO-Nutzung mit 4% vor der Pandemie, eine Erhöhung auf knapp 30% HO-Nutzern im ersten Lockdown bewirkte [8]. Die Zahlen der Heimarbeiter steigen im Vergleich zu der Zeit vor der Pandemie enorm. Diese lassen jedoch mit einem genaueren Blick auf die Gesamtsituation erkennen, dass nicht alle Möglichkeiten der AG zur HO-Nutzung ausgeschöpft sind und ein bestehendes Potenzial der Steigerung dieses Anteils besteht [9]. Ob das Modell des HO auch nach der Corona-Pandemie in so hohen Zahlen, wie aktuell zu belegen ist, genutzt wird ist unklar. Zurzeit ist auch seitens der Bundesregierung ein HO-Angebot an die MA, sofern es die Umstände erlauben, zur Pflicht geworden [10].

Folgende Fragestellungen betreffen nahezu jede Organisation, in welcher eine HO-Möglichkeit gegeben ist und stellen die hohe Aktualität dieses Themas dar: Welche Auswirkungen tragen Motivation und Arbeitszufriedenheit der MA im HO? Welche Unterschiede lassen sich im Hinblick auf die unterschiedlichen Generationen der Arbeitswelt ermitteln? Ist eine strikte Trennung von privatem und Beruf im HO überhaupt möglich?

In diesem Beitrag werden diese Fragestellungen anhand von Interviews über die Situation, Motivation und Arbeitszufriedenheit verschiedener Generationen im HO näher untersucht. Daraus werden mögliche Handlungsempfehlungen für MA, AG sowie Führungskräfte ausgearbeitet. In diesem Rahmen wird die Sichtweise der Arbeitnehmer und deren Empfinden gegenüber der Umsetzung des HO während der Corona-Krise in den Fokus genommen. Dadurch soll im Generationenvergleich überprüft werden, ob das Modell des HO generationenabhängig ist und sich in der Zukunft als Standard positionieren kann.

#### **Forschungsfrage: Welchen Einfluss hat die Corona-Pandemie auf die Entwicklung des HO genommen.**

- Dies wurde explizit unter der Beachtung der Motivation und Arbeitszufriedenheit der verschiedenen Generationen im Vergleich analysiert.
- Die Arbeit hat gezeigt, dass das HO während der Pandemie sowohl für AG als auch für AN positive Aspekte mitgebracht hat. AN können die Flexibilität ausüben das HO optimal mit den persönlichen Gegebenheiten, wie z.B. Familie, oder private Termine, zu verbinden, ohne dass vielleicht auch wertvolle Urlaubstage in Anspruch genommen werden müssen. AG profitieren davon, dass ein AN vielleicht, bei einem kleinen Schnupfen nicht die sofortige Krankmeldung einreicht, sondern für ein paar Tage aus dem HO arbeitet (unter der Beachtung des Gesundheitszustands).

- Im Generationenvergleich hat sich herausgestellt, dass insbesondere die Generationen Y und Z das HO sehr befürworten, da sie flexibel sind. Aber auch bei der Generation X und BB haben das HO in großen Teilen befürwortet, sehen sich aber überwiegend in einem Wechselmodell aus HO und dem Arbeiten vor Ort im Büro.

- Für die Arbeitswelt lässt sich auf jeden Fall festhalten, dass die Unternehmen sich generationenspezifisch anpassen müssen und versuchen müssen jeder Generation mehr oder weniger gerecht zu werden.

#### **REFERENCES**

- [1] Vgl. Winterbach, O., Corona-Krise, 2020, o.S.
- [2] Im Sinne der sprachlichen Vereinfachung findet in der vorliegenden Arbeit die männliche Sprachform der personenbezogenen Substantive und Pronomen Verwendung. Dies impliziert keine Benachteiligung eines anderen Geschlechtes und ist geschlechtsneutral zu betrachten.
- [3] Vgl. Cai, J., J Ryu, S., Kum-Bioccia, H. H., Wohn, D. Y., Homeoffice, 2021, o.S.
- [4] Vgl. manager magazin new media GmbH & Co.KG, Corona-Auswirkungen, 2021, o.S.
- [5] Vgl. Cai, J., J Ryu, S., Kum-Bioccia, H. H., Wohn, D. Y., Homeoffice, 2021, o.S.
- [6] Vgl. Wütschert, M., et. al., Covid-19, 2021, S. 308ff.
- [7] Vgl. Cai, J., J Ryu, S., Kum-Bioccia, H. H., Wohn, D. Y., Homeoffice, 2021, o.S.
- [8] Vgl. Statista GmbH, Homeofficeentwicklung, 2022, o.S.
- [9] Vgl. ifo Institut, Digitalisierung, 2020, o.S.
- [10] Vgl. Presse- und Informationsamt der Bundesregierung, Corona-Regelungen, 2022, o.S.

# Productive Teaming – a vision far beyond Industry 4.0

Frank Ortmeier\*, Marco Ragni†

Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Magdeburg, Germany, e-mail: e-mail: frank.ortmeier@ovgu.de

Technical University of Chemnitz†

Chemnitz, Germany

**Abstract** — Automation is one of the pillars of our modern industrial societies. Without it, it would never have been possible to even closely achieve our modern levels of productivity. However, this comes at a heavy price. Since the start of the industrial revolution – more than 100 years ago – automation forced human workers to fully adapt to processes and workflows of machines. We believe that the time is ripe for a fundamental revolution to change this fundamentally. We envision a world, where machines can be augmented to team up with human workers' processes – to become a machine team mate. Machines will no longer just be “tools”, don't need to be specifically programmed, but can directly interact with humans on a problem solving level, adapt cognitively and socially to humans.

More precisely, the vision of productive teaming is to allow for a new generation of intelligent production systems, which dynamically form productive teams. Productive means in this context, that work efficiency and quality is increased. Teaming means in this context, that both partners - humans and machines - understand each other's processes, intentions and actions. So a productive team between machine and human would act on the level of interaction (almost) exactly the same way a human team would do. On the level of problem solving such a team outperforms previous human-machine production systems.

## ➤ The way to productive teaming

The goal of productive teaming requires an interdisciplinary approach. To achieve the mentioned goals, machines need to be first adaptive to and in the visible future even understand human thinking – in particular their informational or practical needs in the production process, desires, and goals. As a consequence, this will be an interdisciplinary challenge. It focuses on three main domains of knowledge:

- Cognitive sciences - for building models of action, intentions and goals of humans

How humans are making their decisions is focus of many projects in cognitive sciences. For productive teaming, this difficult problem has to be solved at least for the context of working in an industrial context.

- Artificial Intelligence – for engineering trustworthy decision algorithms

Artificial intelligence is making tremendous advances as an enabler technology in many domains. For productive teaming, AI methods must be developed, which are for humans trustworthy and are based on both – cognitive models of humans and process specifications of engineers.

- Intelligent sensorics - for acquiring live information and behavioral context

Intelligent sensorics are the basis for many digital improvements. For productive teaming, it will be necessary to design (multi-)sensor systems such that they are (mostly) transparent for humans and at the same time capable of gathering enough information in real-time, such that cognitive models of humans in productive environments can be derived

Each of these challenges is currently neither solved in general nor do we think the questions can be answered finally in the next years. However, restricting the problem space to work in industrial scenarios and production, we believe that solutions can and will be reached if a significant and excellent group of experts is brought together solving these challenges for the domain of production. We envision the results to be a spark for a whole new generation of socio-technical, which might influence the next decades of technical products and services.

## ➤ First steps

In mid 2022, a group of more than 25 interdisciplinary researchers – mostly from Technical University of Chemnitz (TUC), Otto-von-Guericke-University Magdeburg (OVGU), and Technical University of Ilmenau (TUI) – committed themselves to the vision of productive teaming. We are convinced that this might be a lightning spark comparable to the “Agile Manifesto” in 2002. Thus, we invite researchers and collaborators from all over the world to join us making this vision come true.

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

# Approaches to coping in a crisis situation

## Ansätze zur Bewältigung einer Krisensituation

Radoslav Keremidchiev  
FDIBA, Technical University of Sofia  
Sofia, Bulgaria e-mail: rkeremidchiev@yahoo.com

**Abstract** — While we are witnessing worldwide pole changes accompanying the times in which we live, we are beginning to feel their consequences on us too. In Europe, there are signs of cascading problems that have long been neglected, but that have not gone away and threaten to do serious damage to the weakened European economy. In this study, I have examined several examples of vivid changes that have helped the reorganization of enterprises during their structural crises. Since it is unthinkable to blindly imitate actions that are taken out of the context of the time in which they developed, this sharpens the need for critical analysis. Right here, I think, crystallizes the need for the engineering view, which can correctly assess the economic possibilities of profit - through innovation and structural changes.

**Zusammenfassung** — Während wir die Zeit, in der wir leben, von weltweiten Polwechseln begleiten, beginnen wir auch deren Folgen für uns zu spüren. In Europa gibt es Anzeichen für Probleme, die lange vernachlässigt wurden, aber nicht verschwunden sind und der geschwächten europäischen Wirtschaft ernsthaften Schaden zuzufügen drohen. In dieser Studie habe ich mehrere anschauliche Beispiele untersucht, die bei der Reorganisation von Unternehmen während ihrer strukturellen Krisen geholfen haben. Da es undenkbar ist, Handlungen blind nachzuahmen, die aus dem Kontext ihrer Entstehungszeit gerissen sind, schärft dies die Notwendigkeit einer kritischen Analyse. Genau hier, denke ich, kristallisiert sich die Notwendigkeit für den Ingenieurblick heraus, der die wirtschaftlichen Gewinnmöglichkeiten richtig einschätzen kann - durch Innovation und Strukturwandel.

### I MOVING THROUGH THE NEW WORLD

The whole work in organizations these days is done by Teams. Organizational problems have many dimensions, some of which include the fact that not all employees work together at the same time.

They need to share resources, work files, revise different issues and communicate effectively. If we focus on the structure of interpersonal relationships in an organization we can say that we notice a wide variety of personal attitudes. This variety of cultural and educational differences can lead to the generation of more ideas, but it also leads to the creation of more organizational problems.

For all spheres of business, the primary goal is profit. However, the main responsibility for the preparation of future employees remains on the shoulders of schools, universities and educational centers. Organizations always need their leaders to guide them through processes of evaluating opportunities and taking the right actions.

It is becoming increasingly difficult for ordinary companies to keep up with the pace set by the leaders in their fields. This does not mean that all leaders always manage to justify the means spent to achieve innovation, but when they have a huge resource, it can soften the consequences for the company. The lack of a basis for good communication between institutions, educational structures and businesses is noticeable. Undoubtedly, this trend needs to be modeled by supporting developments, co-financing, meetings, open communication, encouraging graduates to work on their completed majors. Business is no longer the first to innovate by spending money on research and development. The fact that over the past few decades, interstate relations and loose financial policies have ensured easy access to cheap raw materials and labor.

This in turn has led to some bad practices and abuses resulting in regular global financial crises. China's leadership in manufacturing has translated into the prosperity of their society and even led to the creation of a middle class in the eastern country. On the other hand, America manages to extract the greatest professionals from all over the world through good remuneration for their work. Russia turned out to be an unreliable partner for Europe. Our small continental Europe is shaken not only by the refugee and food crisis after the war between Russia and Ukraine, but it is also dealing with the consequences of the corona crisis. Subtly, geopolitical shifts began to dictate countries' macroeconomic indicators. Some of the leading countries were able to push new policies for their future development, such as: The United States announced that it would start bringing back the exported productions back to its territory. The Chinese Communist Party imposed even tighter controls on its wealthiest entrepreneurs and imposed social responsibilities on them. The Great Britain took its own path and left the European Union, emphasizing its future close cooperation with the countries of the Anglo-Saxon community. Not long ago, Vladimir Putin talked about a new alternative center east of Europe, and he also requested a new financial system that would serve as the basis for building the alternative Eurasian center. The European Union is consolidating around the decision to break its energy dependence on Russia. The created situation will undoubtedly lead to displacements and rearrangements of the world we live in. While the development of some branches uses government subsidies, other representatives of small and medium-sized businesses must deal with this uncertain situation of crises and ever-increasing price inflation alone.

Organizations of this type will also have to deal with the fact that modern Western society is aging, indebted and losing purchasing power. Planning for ultimate goals and developing an action plan are an inevitable part of the work model. Restoring trust in continuity between different institutions along with scientific and cultural exchange should not suffer the negatives of state and economic disparities.

## II. DECISION PROCESS

The decision-making processes are of critical importance for the advancement of the new strategies where a clearer promotion of responsibility will be sought. This may even include states in their capacity as organizations. Accountability is closely related to the need for each member to be aware of the organization's goals, their personal level of expertise, and decision-making procedures. Different project managers must rely on their subordinates and even encourage them to be vocally involved in decision-making. More and more often it is necessary to make complex models, which are a set of many variables. Once management decisions are made to assess a situation, which can be strictly subjective, then modern information systems can be relied upon to carry out the calculations. The struggle of scientists to develop and implement supercomputers, even quantum computers, aims to speed up complex processes or pave the way for alternative ways of improvement in many industries such as optimizing their processes. But the task of complex systems can hardly be solved without the creation of quality databases to feed the computing power. If we summarize that every action is related to some expenditure of energy, then the creation of collective responsibility is the first step towards protecting the resources we have today. On the other hand, the practice of implementing knowledge base should ensure for all members in an organization in view of their competencies. The selection of personnel should not stop only at people who have already reached a certain limit of their competence, but also at helping people with development potential.

When we talk about innovation, we often talk about improving some old practices or reusing well-forgotten ones, we are undoubtedly facing a noticeable slowdown in industrial processes and a transition to planned production. It seems that the time is coming for more difficult decisions at the expense of more efficient and long-term ones. results.

The above analysis simply emphasizes the need for leaders, for people who have an innate need to be socially significant, who are always driven by their curiosity and sense of responsibility, who are responsible not only for analyzing information of various kinds, but also for taking correct decisions.

*„Information is a source of learning. But useless it is organized, processed and available to the right people in a format for decision making, it is a burden, not a benefit“  
William Pollard*

## III. MANAGERS AS A ROLE MODELS

The quality of inquisitiveness of personnel who occupy leadership positions is a distinctive feature of people inclined to interdisciplinarity, a desire to listen, experiment and a desire to learn new knowledge. Apart from the fact that these individuals are obliged to meet their job description, they do not shoulder the task of emotional dynamics in the structures they create or lead.

Moreover, with the personal example they set, they turn them into role models for their subordinates. Which allows them to organize interactions in teams or between individual units, as well as build habits and work manners.

### WHAT A LEADER SHOULD DO?

1. Must teach and also learn.
2. He or she must have a vision but also know how to act.
3. Focus on what's matter the most.
4. Support collaborations and stimulate the learning process.
5. Build a purposeful community (and more.).

A logical result of this type of behavior is that his followers try even more confidently to develop their qualities as good mimics and, in the future, as good leaders. Just as how beliefs can be subjective, so can preferences.

While we build our conceptual apparatus, comparing events is accomplished through our expectation operators, which can be used to compare expectations with uncertain outcomes. A lottery is a sample set of probabilities, such as the set  $S(n)$  - is the set of outcomes and  $P(n)$  - is the set full of their associated probabilities. In order to summarize the above personal statements: for the needs of the organizations, it is good to provide, in addition to more iterations between different units of the organizations and their promotion in different activities or courses, as well as clear procedures for access and use of the information and management systems - new ones should also be found and effective ways to measure the success of campaigns. As well as the overall constructive influence of organizations on the surrounding environment.

### REFERENCES

- [1] Decision making under uncertainty ISBN 978-0262-020925-4
- [2] The Toyota Way: 14 Management Principles from the World's Greatest Manufacturer
- [3] Cross-Functional Teams by Glenn M. Parker

THIS PAGE IS INTENTIONALLY LEFT BLANK

# **Authors Index**

Beloreshka, Irena, 31  
Berg, Steffen, 13  
Bonchev, Atanas, 43  
Camona, Mercedes, 13  
Cheng, Shi, 103  
Gankova – Ivanova, Zwetelina, 25  
Grigorov, Emil, 81  
Hensel, Stefan, 61, 95  
Heupel, Thomas, 13, 103, 105  
Hohmann, Sören, 89  
Hohoff, Christoph, 39  
Iliev, Dimitar, 75  
Ianova-Vassileva, Svetla, 69  
Kambosev, Nikolay, 35  
Kantshev, Vesselin, 43  
Keremidchiev, Radoslav, 109  
Krivodolski, Krasimir, 55  
Krumova, Milena, 47  
Kupitz, Christopher, 61, 95  
Lang, Franz Peter, 3  
Marinov, Marin, 61, 95  
Meier, Selina, 89  
Ortmeier, Frank, 107  
Ragni, Marco, 107  
Sadrija, Djellëza, 105  
Simidova, Viktoria, 51  
Trendafilov, Dimitre, 61, 95  
Varga, Balint, 89  
Vila, Elior, 65  
Yordanov, Yordan, 85



