



Ass. Prof. Dr. Halyna Beshley

received the Ph.D. degree in telecommunication systems and nets from Lviv Polytechnic National University, in 2021. She is currently an Associate Professor at the Telecommunications Department, Lviv Polytechnic National University. Her research interests include 5G, cloud computing, SDN, M2M, and the IoT.

promovierte 2021 an der Nationalen Polytechnischen Universität Lwiw im Fach Telekommunikationssysteme und -netze. Derzeit ist sie Privatdozentin an der Fakultät für Telekommunikation der Nationalen Polytechnischen Universität Lwiw. Ihre Forschungsinteressen umfassen 5G, Cloud Computing, SDN, M2M und IoT.

Contact/Kontakt: halyna.v.beshlei@lpnu.ua



Prof. Dr. phil. Jürgen Smettan

is qualified economist and qualified psychologist. He studied psychology, sociology and economics at the University of Freiburg i.Br. From 1985 to 1992 he researched and received his doctorate at the Max Planck Institute for Foreign and International Criminal Law and Criminology, Freiburg i.Br. He continued his scientific work at the Technical University of Dresden from 1994 to 1997. From 1997 to 2010, Prof. Smettan worked as a freelance trainer, expert, seminar leader and lecturer in Saxony and Baden-Württemberg. Since 2010 he has been a full-time lecturer in economics at the at the University of Cooperative Education Saxony, Campus Dresden. He is CEO of IDENTRA GmbH. From 2007 to 2012 he headed the Business Psychology Section of the Professional Association of German Psychologists. In the years 2008 to 2012, Prof. Smettan organized and led several congresses for business psychology in the Stuttgart and Potsdam area.

ist Diplom-Volkswirt und Diplom-Psychologe. Er studierte Psychologie, Soziologie und Volkswirtschaftslehre an der Universität Freiburg i.Br. Von 1985 bis 1992 forschte und promovierte er am Max-Planck-Institut für ausländisches und internationales Strafrecht und Kriminologie, Freiburg i.Br. Von 1994 bis 1997 setzte er seine wissenschaftliche Arbeit an der Technischen Universität Dresden fort. Von 1997 bis 2010 war Prof. Smettan als freiberuflicher Dozent, Gutachter, Seminarleiter und Lehrbeauftragter in Sachsen und Baden-Württemberg tätig. Seit 2010 ist er hauptamtlicher Dozent für Wirtschaftswissenschaften an der Berufsakademie Sachsen, Standort Dresden. Geschäftsführer der IDENTRA GmbH. Von 2007 bis 2012 war er Vorsitzender der Fachgruppe Wirtschaftspsychologie im Berufsverband Deutscher Psychologinnen und Psychologen. In den Jahren 2008 bis 2012 organisierte und leitete Prof. Smettan mehrere wirtschaftspsychologische Kongresse im Raum Stuttgart und Potsdam.

Contact/Kontakt: Juergen.Smettan@ba-sachsen.de



Prof. Dr. habil. Mykhailo Klymash

is the Chief of Telecommunication Department at Lviv Polytechnic National University, Ukraine. He received his PhD in optical data transmission, location and processing systems from Saint-Petersburg State University of Telecommunications in 1994. Mykhailo Klymash is honored member of Ukrainian Communications Academy. The topics of his current interest of research include distributed networks, cloud computing, convergent mobile networks, big data, software defined networks and 5G and Beyond as well as heterogeneous networks.

ist Lehrstuhlinhaber für Telekommunikation an der Nationalen Polytechnischen Universität Lwiw, Ukraine. Er promovierte 1994 an der Staatlichen Universität für Telekommunikation in St. Petersburg über optische Datenübertragungs-, Ortungs- und Verarbeitungssysteme. Mykhailo Klymash ist Ehrenmitglied der Ukrainischen Akademie für Kommunikation. Seine aktuellen Forschungsschwerpunkte sind verteilte Netzwerke, Cloud Computing, konvergente Mobilfunknetze, Big Data, softwaredefinierte Netzwerke, 5G & Beyond und heterogene Netzwerke.

Contact/Kontakt: mykhailo.m.klymash@lpnu.ua



Ass. Prof. Dr. habil. Mykola Beshley

is nowadays Assistant professor at Telecommunications department, Lviv Polytechnic National University (LPNU). He received his PhD in telecommunication systems and nets from Lviv Polytechnic National University in 2015 and Dr. Sci. (Habil.) in 2021 from LPNU. His research and teaching interests include Emerging Networks, Software-Defined Networking, 5G and Beyond, IoT, Intent-Based Networking, Smart Grid, Java Programming and Network Protocol Simulation.

ist derzeit Juniorprofessor am Lehrstuhl für Telekommunikation an der Nationalen Polytechnischen Universität Lwiw (LPNU). Er promovierte 2015 im Fach Telekommunikationssysteme und -netze an der Nationalen Polytechnischen Universität Lwiw und habilitierte sich 2021 an der LPNU. Seine Forschungs- und Lehrinteressen umfassen Emerging Networks, Software-Defined Networking, 5G & Beyond, IoT, Intent-Based Networking, Smart Grid, Java-Programmierung und Netzwerkprotokoll-Simulation.

Contact/Kontakt: mykola.i.beshlei@lpnu.ua



Prof. Dr. habil. Andriy Luntovskyy

is professor at the Saxon University of Cooperative Education – State Study Academy Dresden (BA Dresden). His “alma mater” is the University of Technology Kiev “Igor Sikorsky KPI”, Ukraine (diploma with award in 1989). From 1989 until 2001, he worked at University of Technology Kiev “Igor Sikorsky KPI” Ukraine as PhD student, teaching assistant, lecturer, senior lecturer, as well as private docent. In the same timetable, he worked part-time for several companies and institutions as a software developer and project manager. From 2001 until 2008, he worked as a PostDoc at the Chair of Computer Networks at TU Dresden. Since 2008, he has his position at BA Dresden. Research Interests and Areas of Teaching: Computer Networks and Mobile Communication, Highly Distributed Systems and Applied Data Security, Emerging Networking, Intent-based Softwarized Networks with Integrated AI, Software Technology and Operating Systems, Fundamentals of Programming and Computer Science.

Prof. Dr. habil. Andriy Luntovskyy ist Professor an der Berufsakademie Sachsen – Staatliche Studienakademie Dresden. Seine “Alma Mater” ist die Technische Universität Kiev “Igor Sikorsky KPI”, Ukraine (Diplom mit Auszeichnung 1989). Von 1989 bis 2001 arbeitete er an der Technischen Universität Kiev “Igor Sikorsky KPI” Ukraine als Doktorand, Assistent, Dozent, Senior Lecturer und Privatdozent. Im gleichen Zeitraum war er nebenberuflich für verschiedene Firmen und Institutionen als Softwareentwickler und Projektleiter tätig. Von 2001 bis 2008 arbeitete er als Postdoc am Lehrstuhl für Rechnernetze der TU Dresden. Seit 2008 ist er an der BA in Dresden tätig. Forschungsinteressen und Lehrgebiete: Rechnernetze und mobile Kommunikation, Hochverteilte Systeme und angewandte Datensicherheit, Emerging Networking, Intent-based Softwareized Networks with Integrated AI, Softwaretechnologie und Betriebssysteme, Grundlagen der Programmierung und Informatik.

Contact/Kontakt: Andriy.Luntovskyy@ba-sachsen.de

Cutting-edge ICT and AI integration for energy systems digitalization

Halyna Beshley/Jürgen Smettan/Mykhailo Klymash/

Mykola Beshley/Andriy Luntovskyy

Abstract

The paper presents a conceptual model for the efficient integration of information and communication technologies (ICTs), data transmission systems, and artificial intelligence (AI) tools in the country's energy sector. Within the framework of this concept, unique scientific hypotheses are proposed, the proof and implementation of which will make it possible to reduce losses in the electricity networks of

the transmission and distribution system operator, improve load management efficiency, increase reliability and quality indicators of power supply, operational characteristics, and overall energy system performance.

Keywords: ICT, AI, IoT, 5G, Smart Grid, Cloud Computing, RES, SHERS.

1. Introduction

The issue of strategic planning and development of energy systems has traditionally been a focal point of attention for researchers and government authorities. One of the primary challenges in the operation of power supply systems is the uneven distribution of load schedules. Given current conditions, the established technology for the distribution, accounting, and control of energy resources is considered outdated due to organizational and technical imperfections in the structures and operator-dependent systems, leading to constant losses, accidents, and widespread outages [1].

Furthermore, in many cases, the fundamental operating modes of equipment do not align with the operator's network distribution procedures. All of this underscores the need for creating a modern automated energy system capable of quickly adapting to changing conditions with minimal operator (dispatcher) intervention, utilizing elements of artificial intelligence and making the most of information and communication technologies [2].

However, in pursuing this synergistic approach to the digital transformation of energy systems, considering global achievements in the digitalization of the energy sector, there unquestionably arise several other technical issues that must be addressed. These include the absence in Ukraine and the inadequacies worldwide in terms of digital technological solutions and methodologies that provide effective algorithms for enhancing the cybersecurity of electrical grids and the reliable transmission of monitoring data, ensuring confidentiality and transparency in various user transactions, and employing optimal machine learning, data analytics, and processing techniques throughout the digitalization of energy systems [3].

Therefore, the development of a strategy aimed at addressing the sci-

entific and applied issue of creating innovative methods and hardware for data transmission, processing, monitoring, management, and accounting at all stages of energy resource production, transportation, trade, and consumption, using advanced artificial intelligence algorithms, blockchain platforms, and cutting-edge information and communication technologies, becomes vital [4-7]. These advancements will contribute to better meeting the needs of users and enhancing the reliability of power supply systems.

2. Key Directions in Smart Grid Evolution

In different eras of human history, energy systems have played a critical role in the development of society and the provision of comfort and prosperity. Over the past few decades, the world has faced an unprecedented increase in the demand for energy, driven by global population growth, industrialization, and the constant advancement of new technologies.

Specifically, starting from 2022, Ukraine has been contending with challenges in its energy infrastructure due to actions by an aggressor country, leading to the destruction of the country's energy infrastructure. This growth in demand necessitates not only the constant expansion and improvement of energy infrastructure but also the transformation of traditional systems into modern, intelligent, and resilient energy networks. This transformation is becoming a crucial step to ensure reliable and sustainable energy supply, as well as to secure society's safety and development in these circumstances.

In the context of Russian aggression, Ukraine's energy sector has suffered losses in the tens, if not hundreds, of billions of hryvnias. It is understood that not all the energy infrastructure destroyed by shelling will be entirely rebuilt, as a significant portion of the equipment is based on

outdated technologies and solutions. In the current wartime reality, the more practical task is to develop strategic directions for the post-war reconstruction of the energy infrastructure. This will allow transitioning to more advanced equipment, conducting redesigns, and reducing losses in the networks. This includes embracing the concept of deploying "smart grids" using modern information and communication technologies and artificial intelligence.

The development of "smart grids" in energy supply systems is viewed by developed countries as a priority for future economic competitiveness. This is evident in the substantial investments made by industrialized nations in the development of smart grids. Leading the way in energy digitization are China (\$70 billion), the USA (\$20 billion), and the EU (\$8 billion). These regions have set the course for expanding the use of renewable energy sources and increasing automation in network management. However, none of these countries is currently engaged in large-scale hostilities, unlike Ukraine. Consequently, simply aiming to match global standards with "better than now" solutions will be insufficient. It is necessary to revamp the entire national economy structure to minimize damage to critical energy infrastructure in case of a repeat aggression. This aspect should consider all the advantages that information and communication technologies and artificial intelligence can offer in the energy sector, including end consumers [8].

If switching to smart metering proves profitable, according to the "Clean Energy for Europeans" legislative package, Ukraine should equip 80% of end consumers with new smart meters within seven years. Additionally, the cost of the smart meter should be partially borne by consumers. Implementing these decisions in the concept would enable the creation of smart meters from existing simple meters, eliminating the need for their replacement by delivering a unique software and hardware package, which is much more cost-effective than ready-made smart meters and offers a certain level of protection against interception by malicious actors during data transmission. In the current wartime conditions, Ukrainians are asked to reduce their energy consumption almost daily during peak load periods. Furthermore, with the proposed solutions, it would be possible for an intelligent distribution operator to provide specific target information through a mobile application regarding energy consumption reduction. In cases of non-compliance with these recommendations (verified through real-time consumption checks), individual households could be remotely disconnected from electricity for rule violations. Moreover, it would address the issue of forced energy supply to individual households (a collective of which significantly loads the power grid) connected to the critical infrastructure facilities during rolling blackouts. In such conditions, implementing the proposed solutions with artificial intelligence can help predict energy consumption, optimize infrastructure operation, and reduce energy resource usage for all consumers.

The most crucial aspect of building "Smart Grids" is providing opportunities for national networks to decentralize and diversify electricity



Fig.1 Smart Grid Ecosystem Based on Multiple Home Solar Stations

production, integrating renewable energy sources (RES) [9]. The Smart Grid Ecosystem plays a pivotal role in modernizing the energy sector and addressing the challenges of increasing energy demand and sustainability. Smart Grid ecosystem based on multiple home solar stations is depicted in Fig.1.

Therefore, the implementation of "smart grid" programs encourages both the public and private sectors to shift to RES, particularly during wartime when energy resources are limited. In such cases, implementing a blockchain-based energy trading algorithm would enable the creation and exchange of unique digital records without the need for a centralized trusted intermediary.

Thus, investments in digital solutions, such as intelligent network optimization at the distribution level, will help reduce further capital expenditures. This, in turn, will enable the faster development of electric transportation, decentralized RES, heat pumps, and other technologies, thanks to the more efficient utilization of existing infrastructure. Considering global forecasts, it can be assumed that, on the scale of Ukraine, the economic benefits of implementing the proposed applied research results will significantly outweigh the project's implementation costs. This will be achieved through increased efficiency in energy resource management processes, attracting foreign investments, and boosting Ukraine's GDP.

Emerging Paradigms: ICT-AI Fusion for Energy System Digital Revolution

The integration of Information and Communication Technologies (ICT) and Artificial Intelligence (AI) is becoming a key direction in the digitalization of energy systems. Some of the advanced technologies and methods being used include [10]:

Data Monitoring and Analysis Systems: A large volume of data can be collected from various sources, such as smart meters and sensors. Applying data analysis, including machine learning, enables the detection of patterns, prediction of consumption, identification of anomalies, and optimization of system operations.

Smart Grids: Using information technologies to create smart grids improves the distribution of electricity, reduces losses, and enhances system reliability. This involves modern automation, communication, and control systems.

Internet of Things (IoT): Sensors and IoT devices are integrated into the energy supply networks to collect data on consumption, equipment status, and system efficiency.

Blockchain: Blockchain technology can be used to ensure security and

trust in energy resource transactions, particularly in energy accounting and trading systems [11].

Artificial Intelligence (AI): AI is used for consumption prediction, network optimization, and anomaly detection. Machine learning algorithms help automate processes and enhance the efficiency of system management [12].

Mobile networks such as 5G and LTE: High-speed mobile networks like 5G and LTE provide reliable and fast data exchange for energy systems. They enable real-time monitoring and control of systems, which is crucial for the resilience and efficiency of energy networks [13].

Combination of edge and cloud computing: This technology offers a comprehensive solution for digitalizing the energy sector. Edge computing ensures real-time operations, low latency, and local processing, while cloud computing provides scalability, extensive data storage, advanced analytics, and remote accessibility, enhancing the efficiency and effectiveness of smart energy systems [15].

In this work, we propose a state-of-the-art model for building a digital energy system in combination with ICT and AI (Fig.2).

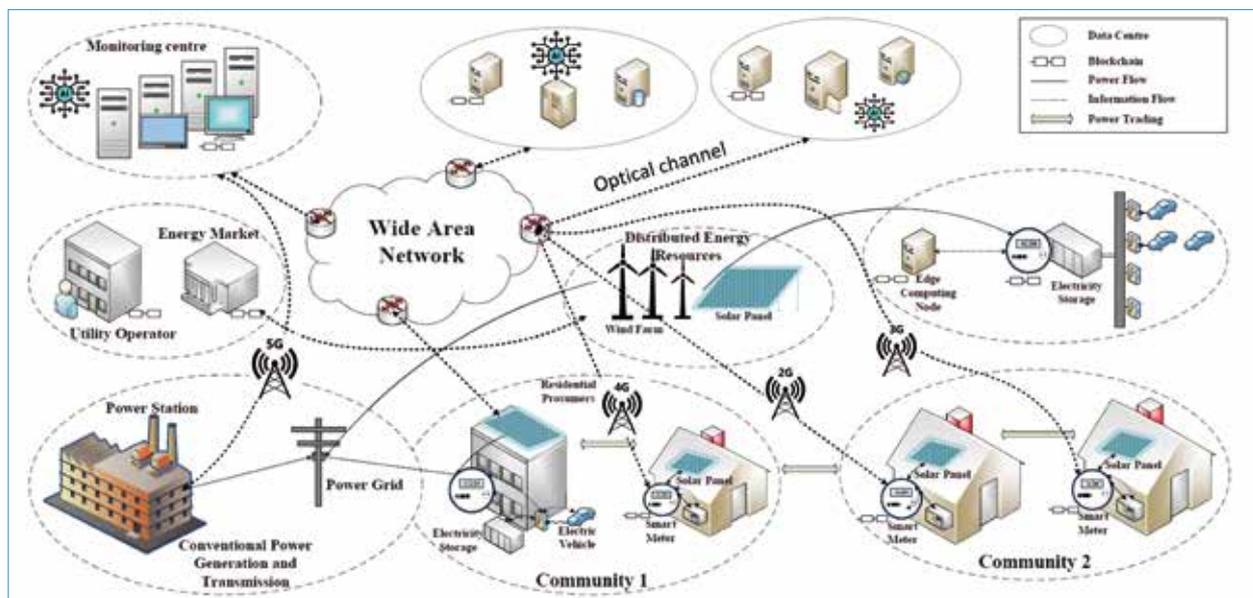


Fig.2 Cutting-edge ICT and AI integration concept for energy systems digitalization

This integration will enhance the efficiency of existing energy infrastructure and resources through the realization of several scientific hypotheses.

Specifically, the integration of energy network management systems with various sensors, data analysis tools, energy storage systems, energy management platforms, and other energy technologies creates entirely new possibilities for building a virtual model (digital twin) of the national power grid, which is a significant focus of the European Commission (Hypothesis 1). The extensive adoption of smart equipment, both industrial and residential, with the ability for automatic data

exchange and management through digital technologies and smart metering systems, is becoming increasingly widespread.

In "smart grids," numerous distributed energy sources facilitate the flow of extensive data and information. Typically, they employ both wired (fiber-optic communication, broadband power line communication) and wireless communication technologies such as 2G (GSM), 3G (WCDMA), and 4G (LTE) for monitoring and surveillance of these facilities. To provide more systematic communication with better response times and greater flexibility, 5G technology serves as the optimal communication tool to make "smart grids" more reliable (Hypothesis 2).

The development of new hardware and software tools for data collection, reliable data transmission, and monitoring of measurement data to create new-generation smart meters ensuring two-way interaction between the network operator and the consumer will allow flexible energy management and cost savings for consumers (Hypothesis 3). Additionally, energy companies will be able to utilize intelligent analytical platforms to gain knowledge about equipment consumption profiles and load forecasting (Hypothesis 4). This will enable the formulation of recommendations for efficient energy consumption and the reduction of the likelihood of load shedding and emergency outages (Hypothesis 5) (Fig. 3).



Fig.3 Energy Consumption Monitoring and Analytics Platform

The use of predictive analytics based on advanced deep learning algorithms will enable distribution system operators to anticipate when energy blocks, transformers, or individual network equipment are likely to fail [16] (Hypothesis 6). Detection of abnormal transformer behavior using a neural network model LSTM and 5G is depicted in Fig. 4.

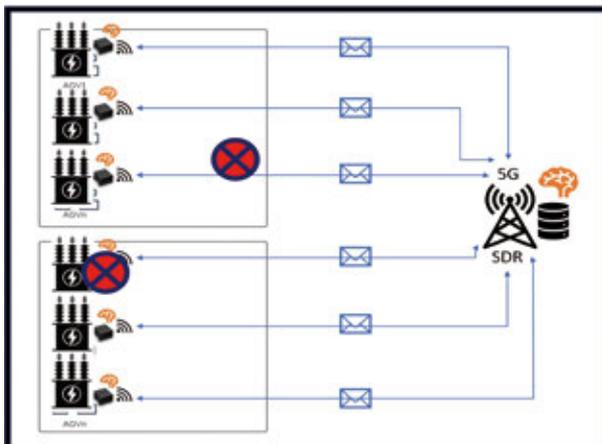


Fig. 4. Detection of abnormal transformer behavior using a neural network model LSTM and 5G

The energy system is a complex and vulnerable system when it comes to cyberattacks. The application of artificial intelligence and machine learning can be employed to enhance the security of electrical grids by preventing cyberattacks. Intelligent data analysis allows for the identification of specific patterns in information exchange systems (transmission of energy data) that may indicate the presence of a cyberattack for the purpose of blocking them (Hypothesis 7). The implementation of blockchain software with integrated smart contracts, combined with smart metering technology, will enable the tracking and verification of energy sources, energy trading, improved energy load balancing, and optimization of energy consumption. Transactions can be securely and automatically recorded using smart contracts in the blockchain, establishing a transparent process that users can trust, while also providing superior protection against cyberattacks and safeguarding personal data (Hypothesis 8).

In the context of the concept presented, let's consider an example that illustrates its practical application. Imagine a traditional smart home energy management system (SHEMS), which is typically associated with low efficiency due to limited data collection and analysis of energy consumption. This inefficiency often results in high energy costs for homeowners. The transformation of this conventional SHEMS into an intelligent energy management system by integrating the Internet of Things (IoT), Cyber-Physical Production Systems (CPPS) and AI (Fig.5). This integration enhances the SHEMS's capabilities significantly.

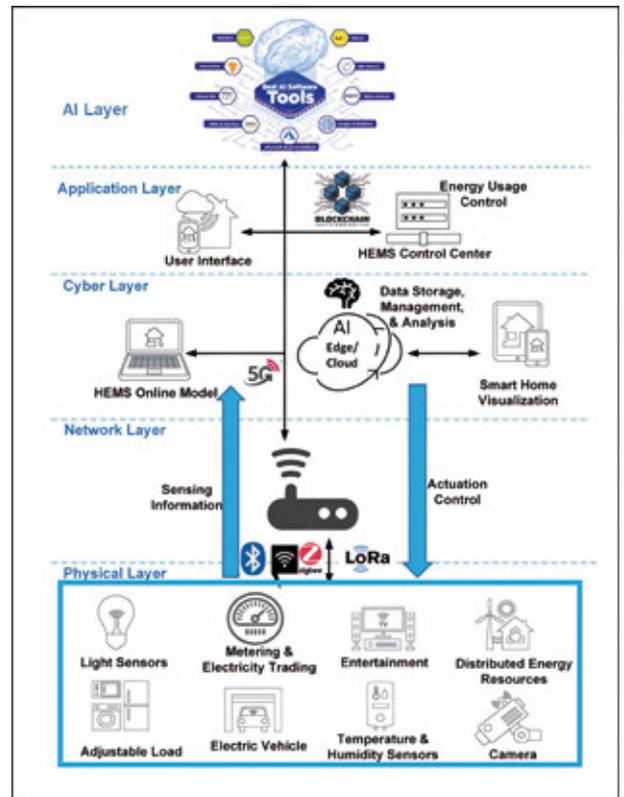


Fig. 5. Intelligent SHEMS based on ICT and AI

With advanced network infrastructure and machine learning-based big data analysis and control strategies, the intelligent SHEMS can provide a range of innovative home energy management services. These services include detailed collection of consumption data, efficient management of electric vehicles, precise control of energy loads, and personalized energy management plans tailored to individual households.

To further illustrate this concept, let's delve into the architectural layers of an intelligent SHEMS (Fig.5). It comprises the physical layer, network layer, cyber layer, and application layer, each serving a specific purpose. The physical layer encompasses various household electrical appliances, sensors, data collection devices, and electric actuators. Additionally, distributed energy resources, storage units, and electric vehicles facilitate the two-way flow of energy between households and the power grid. Within the home area network, the Internet of Things (IoT) plays a pivotal role, connecting various devices, objects, and electrical applications. It collects crucial data related to household environments, energy consumption patterns, and user behaviors.

The collected data moves through the network layer, employing wireless communication technologies like Wi-Fi and ZigBee, and is then relayed to the upper cyber layer using long-distance 5G communication. Here, cloud computing takes center stage, providing robust data storage, management, and analysis capabilities. The combination of these layers ensures seamless bidirectional data transmission, allowing real-time interactions between the physical measurement systems and digital control systems.

As we explore the concept further, consider a practical example. Suppose a family with an intelligent HEMS decides to optimize their energy consumption based on their unique lifestyle and preferences. With updated AI models, they achieve efficient energy management and can easily visualize their home's energy consumption.

The concept integrates IoT and CPPS to implement intelligent home energy management through a series of steps. Initially, the local home area network senses and aggregates environment and energy data. Subsequently, this data is sent to a remote cloud computing center operated by an SHEMS service provider. Here, data processing and integration take place, preparing the data for analysis. The CPPS then comes into play, analyzing the data and optimizing the SHEMS model or generating control parameters and instructions. Finally, the control center issues instructions to the actuators, effectively managing energy consumption to achieve cost efficiency and enhance user satisfaction. It is also important to keep in mind that the use of blockchain technology in the system can further increase security and trust in this process, for example, by securely and automatically recording transactions and ensuring transparent and reliable energy management at home.

This example demonstrates how the concept of integrating IoT and CPPS into SHEMS can lead to more efficient and personalized home energy management, significantly benefiting homeowners and contributing to sustainability.

As Ukraine rebuilds its energy infrastructure in the aftermath of the war, it has the opportunity to construct an energy system on a state-of-the-art technological foundation that is already adapted for the widespread

use of artificial intelligence, the Internet of Things, blockchain, 5G, and cloud computing. Thus, the formulated hypotheses within the conceptual framework (Fig. 4) remain relevant for addressing a significant scientific and applied problem: the development of innovative methods and hardware for data transmission, processing, monitoring, management, and accounting at all stages of energy resource production, transportation, trade, and consumption, using advanced artificial intelligence algorithms, blockchain platforms, and state-of-the-art information and communication technologies. Moreover, the ongoing missile and cyberattacks on Ukraine's critical infrastructure have exposed vulnerabilities in existing energy systems that can be partially addressed through the modernization of energy systems using the proposed solutions in this work. In the short term, such modernization will enable efficient monitoring and management of the energy infrastructure, while in the long term, it will lead to the creation of an intelligent next-generation energy system characterized by high efficiency in the generation, transportation, consumption processes, reliability, and resistance to failures.

Conclusions

In the article, we have explored promising directions for the development of "smart grids" in the field of energy. Through the integration of the IoT, CPPS, AI, Cloud/Edge computing and blockchain technology, significant advantages are attainable for optimizing the management of energy resources. The transition to intelligent smart grids increases the efficiency of energy management and reduces costs. Utilizing AI enables the development of innovative solutions for energy consumption forecasting and anomaly detection. The implementation of blockchain and smart contracts ensures the reliability and security of energy and data exchange within smart grids. Due to its high throughput and low latency, 5G can support real-time connectivity and data exchange between various devices and systems. This makes it an ideal tool for creating smart grids and optimizing energy management. These concepts can be a significant step in advancing modern energy systems and improving energy infrastructure. However, it is crucial to consider security and data protection aspects in such systems and promote the establishment of standards and legal regulations for the realization of these innovations. As a result, the proposed solutions for energy market participants will enable more efficient integration of modern ICT and AI with various energy sources and consumer types, improving user satisfaction and enhancing the reliability of power supply systems.

Acknowledgment

The authors' acknowledgment belongs to the BA Saxony enabled Erasmus+ Mobility project, especially to Mrs. Claudia Schönherr (Officer for Researchers Mobility and Coordination of Erasmus+ Internship in Leonardo Office Saxony in Dresden) and Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Hänsel, the President of Berufsakademie Sachsen (University of Cooperative Education) and Director of BA-Campus Dresden, as well as Ilona Scherm, Supervisor for Knowledge and Technology Transfer, international affairs and intercultural competence at the BA Saxony for support of the scientific stay and this publication.

Integration moderner IKT und KI für die Digitalisierung von Energiesystemen

Halyna Beshley/Jürgen Smettan/Mykhailo Klymash/

Mykola Beshley/Andriy Luntovskyy

Abstract

Der Beitrag stellt ein konzeptionelles Modell für die effiziente Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT), Datenübertragungssystemen und Werkzeugen der künstlichen Intelligenz (KI) im Energiesektor der Ukraine vor. Im Rahmen dieses Konzepts werden einzigartige wissenschaftliche Hypothesen vorgeschlagen, deren Verifizierung und Umsetzung die Verluste in den

Stromnetzen der Übertragungs- und Verteilungsbetreiber reduzieren, die Effizienz des Lastmanagements verbessern, die Zuverlässigkeit und Qualitätsindikatoren der Stromversorgung, die Betriebs-eigenschaften und die Gesamtleistung des Energiesystems erhöhen.

Keywords: *ICT, AI, IoT, 5G, Smart Grid, Cloud Computing, RES, SHEMS.*

1. Einleitung

Die strategische Planung und Entwicklung von Energiesystemen steht traditionell im Mittelpunkt des Interesses von Forschung und Politik. Eine der größten Herausforderungen beim Betrieb von Energiesystemen ist die ungleichmäßige Verteilung von Lastprofilen. Die etablierten Technologien zur Verteilung, Abrechnung und Steuerung von Energieressourcen gelten unter den heutigen Bedingungen als veraltet, da organisatorische und technische Unzulänglichkeiten in den Strukturen und betreiberabhängigen Systemen zu ständigen Verlusten, Unfällen und großflächigen Ausfällen führen [1].

Darüber hinaus stimmen in vielen Fällen die grundsätzlichen Betriebsweisen der Anlagen nicht mit den Netzverteilungsverfahren des Betreibers überein. All dies unterstreicht die Notwendigkeit, ein modernes automatisiertes Energiesystem zu schaffen, das in der Lage ist, sich schnell und mit minimalen Eingriffen des Betreibers (Dispatchers) an veränderte Bedingungen anzupassen, Elemente künstlicher Intelligenz zu nutzen und die Informations- und Kommunikationstechnologien optimal einzusetzen [2].

Bei der Verfolgung dieses synergetischen Ansatzes für die digitale Transformation der Energiesysteme gibt es angesichts der weltweiten Fortschritte bei der Digitalisierung des Energiesektors jedoch zweifellos eine Reihe weiterer technischer Fragen, die angegangen werden müssen. Dazu gehören der Mangel an digitalen technologischen Lösungen und Methoden in der Ukraine und weltweit, die effektive Algorithmen zur Verbesserung der Cybersicherheit von Stromnetzen und der zuverlässigen Übertragung von Überwachungsdaten, zur Gewährleistung der Vertraulichkeit und Transparenz der verschiedenen Nutzertransaktionen und zur Anwendung optimaler maschineller Lern-, Datenanalyse- und Verarbeitungstechniken bei der Digitalisierung von Energiesystemen bieten [3].

Daher ist es unerlässlich, eine Strategie für die wissenschaftliche und angewandte Lösung des Problems der Entwicklung innovativer Methoden und Hardware für die Übertragung, Verarbeitung, Überwachung, Verwaltung und Abrechnung von Daten in allen Phasen der Erzeugung, des Transports, des Handels und des Verbrauchs von Energieressourcen zu entwickeln, bei der fortgeschrittene Algorithmen der künstlichen Intelligenz, Blockchain-Plattformen und modernste Informations- und Kommunikationstechnologien zum Einsatz kommen [4-7]. Diese Fortschritte werden dazu beitragen, die Bedürfnisse der Nutzer/innen besser zu erfüllen und die Zuverlässigkeit der Energieversorgungssysteme zu erhöhen.

2. Hauptrichtungen der Entwicklung intelligenter Netze

Im Laufe der Menschheitsgeschichte haben Energiesysteme eine entscheidende Rolle bei der Entwicklung der Gesellschaft und der Bereitstellung von Komfort und Wohlstand gespielt. In den letzten Jahrzehnten hat die Welt einen beispiellosen Anstieg des Energiebedarfs erlebt, der durch das weltweite Bevölkerungswachstum, die Industrialisierung und die ständige Entwicklung neuer Technologien verursacht wurde. Insbesondere seit 2022 sieht sich die Ukraine aufgrund der Angriffe eines Aggressors, die zur Zerstörung der Energieinfrastruktur des Landes geführt haben, mit Herausforderungen im Bereich der Energieinfrastruktur konfrontiert. Die steigende Nachfrage erfordert nicht nur eine kontinuierliche Erweiterung und Verbesserung der Energieinfrastruktur, sondern auch die Umwandlung traditioneller Systeme in moderne, intelligente und belastbare Energienetze. Diese Transformation wird zu einem entscheidenden Schritt, um unter diesen Umständen eine zuverlässige und nachhaltige Energieversorgung sowie die Sicherheit und Entwicklung der Gesellschaft zu gewährleisten.

Durch die russische Aggression hat der ukrainische Energiesektor Verluste in Höhe von Dutzenden, wenn nicht Hunderten von Milliarden Hrywnja erlitten. Es liegt auf der Hand, dass die durch die Bombardierungen zerstörte Energieinfrastruktur nicht vollständig wiederaufgebaut werden kann, da ein großer Teil der Ausrüstung auf veralteten Technologien und Lösungen beruht. In der gegenwärtigen Kriegssituation besteht die praktischere Aufgabe darin, strategische Leitlinien für den Wiederaufbau der Energieinfrastruktur in der Nachkriegszeit zu entwickeln. Dies wird den Übergang zu moderneren Anlagen, die Durchführung von Umbauten und die Reduzierung von Netzverlusten ermöglichen. Dazu gehört auch das Konzept des Einsatzes "intelligenter Netze" unter Nutzung moderner Informations- und Kommunikationstechnologien und künstlicher Intelligenz.

Die Entwicklung "intelligenter Netze" in den Energieversorgungssystemen wird von den Industrieländern als eine Priorität für die zukünftige wirtschaftliche Wettbewerbsfähigkeit angesehen. Dies spiegelt sich in den beträchtlichen Investitionen wider, die die Industrieländer in die Entwicklung intelligenter Stromnetze tätigen. Vorreiter bei der Digitalisierung der Energieversorgung sind China (70 Mrd. \$), die USA (20 Mrd. \$) und die EU (8 Mrd. \$). Diese Regionen haben die Weichen für den Ausbau erneuerbarer Energien und die zunehmende Automatisierung des Netzmanagements gestellt. Im Gegensatz zur Ukraine ist jedoch keines dieser Länder derzeit in groß angelegte Kampfhandlungen verwickelt. Daher wird es nicht ausreichen, mit "Besser-als-heute"-Lösungen nach globalen Standards zu streben. Es ist notwendig, die gesamte Struktur der nationalen Wirtschaft so umzugestalten, dass die Schäden an der kritischen Energieinfrastruktur im Falle eines erneuten Angriffs minimiert werden. Dabei sollten alle Vorteile berücksichtigt werden, die Informations- und Kommunikationstechnologien und künstliche Intelligenz im Energiesektor bieten können, einschließlich der Vorteile für die Endverbraucher [8].

Das Gesetzespaket "Saubere Energie für Europäer" sieht vor, dass die Ukraine innerhalb von sieben Jahren 80 Prozent der Endverbraucher mit neuen intelligenten Zählern ausstattet, wenn sich die Umstellung auf intelligente Zähler als wirtschaftlich erweist. Darüber hinaus sollen die Kosten für die Smart Meter teilweise von den Verbrauchern getragen werden. Die Umsetzung dieser Beschlüsse in ein Konzept würde es ermöglichen, aus bestehenden einfachen Zählern intelligente Zähler zu machen, die nicht ersetzt werden müssen, da ein einheitliches Software- und Hardwarepaket bereitgestellt wird, das wesentlich kostengünstiger ist als vorgefertigte intelligente Zähler und einen gewissen Schutz gegen das Abfangen von Daten durch böswillige Akteure bietet. In der derzeitigen Kriegssituation werden die Ukrainer fast täglich aufgefordert, ihren Energieverbrauch zu Spitzenzeiten zu reduzieren. Mit den vorgeschlagenen Lösungen wäre es auch möglich, dass ein intelligenter Verteilungsnetzbetreiber über eine mobile Anwendung gezielte Informationen zur Reduzierung des Energieverbrauchs bereitstellt. Bei Nichteinhaltung dieser Empfehlungen (die durch ein Echtzeit-Verbrauchsmonitoring überprüft werden) könnten einzelne Haushalte per Fernzugriff vom Netz getrennt werden. Damit würde auch das Problem der Zwangseinspeisung einzelner Haushalte (ein Kollektiv,

das das Netz erheblich belastet), die an kritische Infrastrukturen angeschlossen sind, bei Stromausfall gelöst. Unter diesen Bedingungen kann die Umsetzung der vorgeschlagenen Lösungen mit künstlicher Intelligenz dazu beitragen, den Energieverbrauch vorherzusagen, den Betrieb der Infrastruktur zu optimieren und den Verbrauch von Energieressourcen für alle Verbraucher zu reduzieren.

Der wichtigste Aspekt bei der Entwicklung von Smart Grids ist die Fähigkeit der nationalen Netze, die Dezentralisierung und Diversifizierung der Stromerzeugung zu unterstützen und gleichzeitig erneuerbare Energiequellen (EE) zu integrieren [9]. Das Smart-Grid-Ökosystem spielt eine zentrale Rolle bei der Modernisierung des Energiesektors und der Bewältigung der Herausforderungen des steigenden Energiebedarfs und der Nachhaltigkeit. Abbildung 1 zeigt ein Smart-Grid-Ökosystem, das auf mehreren Haussolarstationen basiert.



Abb. 1: Smart-Grid-Ökosystem basierend auf mehreren Haussolarstationen

Aus diesem Grund fördert die Umsetzung von Smart Grid-Programmen sowohl den öffentlichen als auch den privaten Sektor bei der Umstellung auf erneuerbare Energien, insbesondere in Kriegszeiten, wenn Energieressourcen knapp sind. In solchen Fällen würde die Implementierung von Blockchain-basierten Algorithmen für den Energiehandel die Erstellung und den Austausch eindeutiger digitaler Datensätze ermöglichen, ohne dass ein zentraler vertrauenswürdiger Intermediär erforderlich wäre.

Investitionen in digitale Lösungen wie die Optimierung intelligenter Netze auf der Verteilungsebene werden dazu beitragen, weitere Investitionsausgaben zu senken. Dies wiederum wird eine schnellere Entwicklung des elektrischen Verkehrs, dezentraler erneuerbarer Energien, Wärmepumpen und anderer Technologien durch eine effizientere Nutzung der bestehenden Infrastruktur ermöglichen. Unter Berücksichtigung globaler Prognosen kann davon ausgegangen werden, dass in der Ukraine der volkswirtschaftliche Nutzen der Umsetzung der vorgeschlagenen angewandten Forschungsergebnisse die Kosten der

Projektdurchführung deutlich übersteigen wird. Dies wird durch die Effizienzsteigerung der Prozesse zur Bewirtschaftung der Energieressourcen, die Anziehung ausländischer Investitionen und die Erhöhung des BIP der Ukraine erreicht.

3 Neue Paradigmen: ICT-AI Fusion für die digitale Revolution des Energiesystems

Die Integration von Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) und künstlicher Intelligenz (KI) entwickelt sich zu einer Schlüsselrichtung bei der Digitalisierung von Energiesystemen. Einige der fortschrittlichen Technologien und Methoden, die dabei zum Einsatz kommen, sind [10]:

Systeme zur Datenüberwachung und -analyse: Große Datenmengen können aus verschiedenen Quellen wie intelligenten Zählern und Sensoren gesammelt werden. Die Anwendung der Datenanalyse, einschließlich maschineller Lernverfahren, ermöglicht die Erkennung von Mustern, die Vorhersage des Verbrauchs, die Identifizierung von Anomalien und die Optimierung des Systembetriebs.

Intelligente Netze: Der Einsatz von Informationstechnologie zur Schaffung intelligenter Netze verbessert die Stromverteilung, verringert Verluste und erhöht die Zuverlässigkeit des Systems. Dazu gehören fortschrittliche Automatisierungs-, Kommunikations- und Steuerungssysteme.

Internet der Dinge (IoT): Sensoren und IoT-Geräte werden in Energie-

netze integriert, um Daten über den Verbrauch, den Zustand der Geräte und die Effizienz des Systems zu sammeln.

Blockchain: Die Blockchain-Technologie kann eingesetzt werden, um Sicherheit und Vertrauen bei Transaktionen mit Energieressourcen zu gewährleisten, insbesondere in Energiebuchhaltungs- und -handelsystemen [11].

Künstliche Intelligenz (KI): KI wird für Verbrauchsprognosen, Netzoptimierung und die Erkennung von Anomalien eingesetzt. Algorithmen des maschinellen Lernens helfen, Prozesse zu automatisieren und die Effizienz des Systemmanagements zu steigern [12].

Mobilfunknetze wie 5G und LTE: Mobile Hochgeschwindigkeitsnetze wie 5G und LTE bieten einen zuverlässigen und schnellen Datenaustausch für Energiesysteme. Sie ermöglichen die Überwachung und Steuerung der Systeme in Echtzeit, was für die Ausfallsicherheit und Effizienz der Energienetze von entscheidender Bedeutung ist [13].

Kombination von Edge- und Cloud-Computing: Diese Technologie bietet eine umfassende Lösung für die Digitalisierung des Energiesektors. Edge Computing bietet Echtzeitbetrieb, geringe Latenzzeiten und lokale Verarbeitung, während Cloud Computing Skalierbarkeit, große Datenspeicher, fortschrittliche Analysen und Fernzugriff ermöglicht und damit die Effizienz und Effektivität intelligenter Energiesysteme verbessert [15].

In diesem Beitrag schlagen wir ein modernes Modell für den Aufbau eines digitalen Energiesystems in Kombination mit IKT und KI vor (Abb. 2).

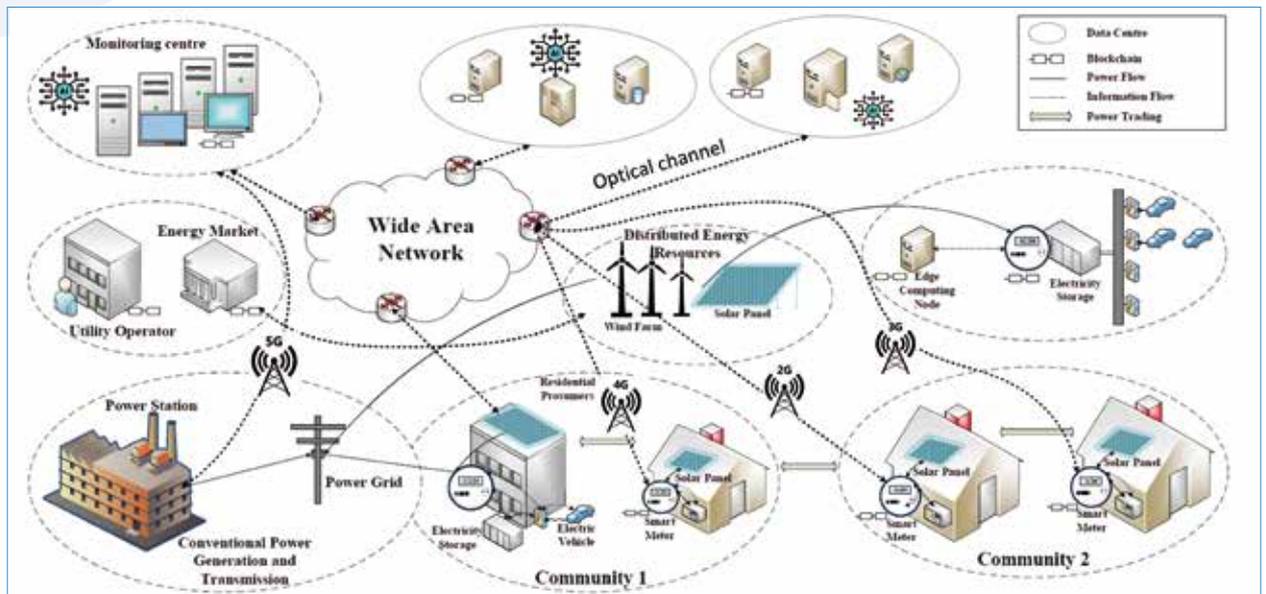


Abb. 2: Modernstes IKT- und KI-Integrationskonzept für die Digitalisierung von Energiesystemen

Diese Integration wird die Effizienz der bestehenden Energieinfrastruktur und -ressourcen durch die Umsetzung mehrerer wissenschaftlicher Hypothesen erhöhen.

Insbesondere die Integration von Energienetzmanagementsystemen mit verschiedenen Sensoren, Datenanalysetools, Energiespeichersystemen, Energiemanagementplattformen und anderen Energietechnologien eröffnet völlig neue Möglichkeiten für den Aufbau eines virtuellen Modells (digitaler Zwilling) des nationalen Stromnetzes, das ein zentrales Anliegen der Europäischen Kommission ist (Hypothese 1). Die weit verbreitete Einführung intelligenter Geräte, sowohl in der Industrie als auch in den Haushalten, mit der Fähigkeit zum automatischen Datenaustausch und -management durch digitale Technologien und intelligente Messsysteme setzt sich immer mehr durch. In intelligenten Stromnetzen erleichtern mehrere verteilte Energieressourcen den Fluss großer Daten- und Informationsmengen. Für die Überwachung und Steuerung dieser Anlagen werden in der Regel sowohl drahtgebundene (Glasfaserkommunikation, Breitband-Stromleitungskommunikation) als auch drahtlose (Breitband-Stromleitungskommunikation) und drahtlose Kommunikationstechnologien wie 2G (GSM), 3G (WCDMA) und 4G (LTE) eingesetzt. Um eine systematischere Kommunikation mit besseren Reaktionszeiten und größerer Flexibilität zu ermöglichen, wird die 5G-Technologie als optimales Kommunikationswerkzeug dienen, um "intelligente Netze" zuverlässiger zu machen (Hypothese 2).

Die Entwicklung neuer Hard- und Softwaretools für die Datenerfassung, die zuverlässige Datenübertragung und die Überwachung der Messdaten zur Schaffung einer neuen Generation von intelligenten Zählern, die eine wechselseitige Interaktion zwischen Netzbetreiber und Verbraucher gewährleisten, wird ein flexibles Energiemanagement und Kosteneinsparungen für die Verbraucher ermöglichen (Hypothese 3).

Darüber hinaus werden Energieversorger in der Lage sein, intelligente Analyseplattformen zu nutzen, um Erkenntnisse über Verbrauchsprofile von Geräten und Lastprognosen zu gewinnen (Hypothese 4). Dies wird Empfehlungen für einen effizienten Energieverbrauch ermöglichen und die Wahrscheinlichkeit von Lastabschaltungen und Notstromausfällen verringern (Hypothese 5) (Abbildung 3).



Abb. 3: Plattform zur Überwachung und Analyse des Energieverbrauchs

Der Einsatz von prädiktiver Analytik auf der Basis fortgeschrittener Deep-Learning-Algorithmen wird es den Verteilnetzbetreibern ermöglichen, vorauszusagen, wann Energieblöcke, Transformatoren oder einzelne Netzbetriebsmittel wahrscheinlich ausfallen werden [16] (Hypothese 6). Die Erkennung von abnormalem Transformatorverhalten mit einem neuronalen Netzwerkmodell LSTM und 5G ist in Abbildung 4 dargestellt

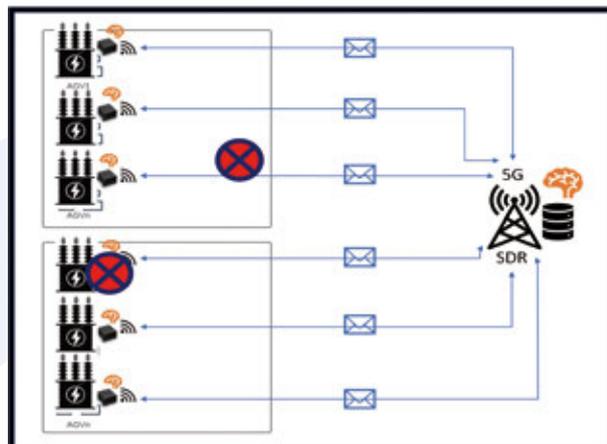


Abb. 4: Erkennung von abnormalem Transformatorverhalten mithilfe eines neuronalen Netzwerkmodells LSTM und 5G

Das Energiesystem ist komplex und anfällig für Cyberangriffe. Die Anwendung von künstlicher Intelligenz und maschinellem Lernen kann dazu genutzt werden, die Sicherheit der Stromnetze zu erhöhen, indem Cyberangriffe verhindert werden. Intelligente Datenanalyse ermöglicht es, bestimmte Muster in Informationsaustauschsystemen (Übertragung

von Energiedaten) zu erkennen, die auf einen Cyberangriff hindeuten, und diesen abzuwehren (Hypothese 7). Die Implementierung von Blockchain-Software mit integrierten Smart Contracts in Kombination mit intelligenter Zählertechnologie ermöglicht die Nachverfolgung und Verifizierung von Energiequellen, den Energiehandel, einen verbesserten Lastausgleich und die Optimierung des Energieverbrauchs. Transaktionen können mithilfe von Smart Contracts sicher und automatisch in der Blockchain aufgezeichnet werden. Dadurch wird ein transparenter Prozess geschaffen, dem die Nutzer vertrauen können, während gleichzeitig ein besserer Schutz vor Cyberangriffen und der Schutz personenbezogener Daten gewährleistet wird (Hypothese 8).

Im Zusammenhang mit diesem Konzept soll ein Beispiel die praktische Anwendung veranschaulichen. Betrachtet man ein herkömmliches Smart Home Energy Management System (SHEMS), so wird dieses aufgrund der begrenzten Datenerfassung und Analyse des Energieverbrauchs in der Regel mit geringer Effizienz assoziiert. Diese Ineffizienz führt oft zu hohen Energiekosten für Hausbesitzer.

Dieses herkömmliche SHEMS wird nun in ein intelligentes Energiemanagementsystem umgewandelt. Dabei werden das Internet der Dinge (IoT), cyber-physische Produktionssysteme (CPPS) und künstliche Intelligenz (KI) integriert (Abb. 5). Diese Integration erweitert die Möglichkeiten von SHEMS erheblich.

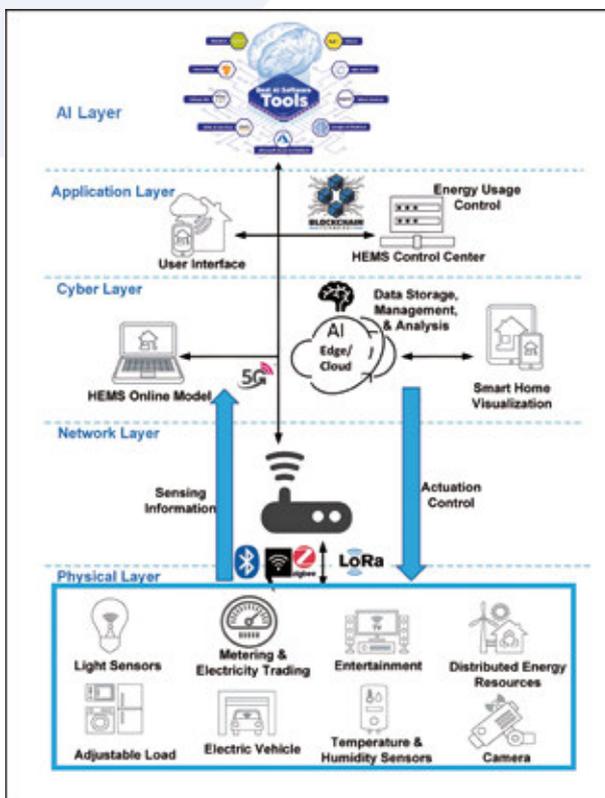


Abb. 5. Intelligente SHEMS auf der Grundlage von IKT und KI

Mit einer fortschrittlichen Netzwerkinfrastruktur und auf maschinellem Lernen basierenden Big-Data-Analyse- und Steuerungsstrategien kann das intelligente SHEMS eine Reihe innovativer Dienste für das Energiemanagement zu Hause anbieten. Dazu gehören die detaillierte Erfassung von Verbrauchsdaten, das effiziente Management von Elektrofahrzeugen, die präzise Steuerung von Energielasten und personalisierte Energiemanagementpläne für einzelne Haushalte.

Zur weiteren Veranschaulichung dieses Konzepts sollten die Architekturschichten eines intelligenten SHEMS betrachtet werden (Abbildung 5). Es besteht aus einer physikalischen Schicht, einer Netzwerkschicht, einer Cyber-Schicht und einer Anwendungsschicht, von denen jede einen bestimmten Zweck erfüllt.

Die physikalische Schicht umfasst verschiedene elektrische Haushaltsgeräte, Sensoren, Datenerfassungsgeräte und elektrische Aktoren. Darüber hinaus erleichtern dezentrale Energieressourcen, Speichereinheiten und Elektrofahrzeuge den Energiefluss zwischen Haushalten und dem Netz in beide Richtungen.

Innerhalb des Home Area Network spielt das Internet der Dinge (IoT) eine zentrale Rolle bei der Vernetzung verschiedener elektrischer Geräte, Objekte und Anwendungen. Es sammelt wichtige Daten über die häusliche Umgebung, Energieverbrauchsmuster und Nutzerverhalten. Die gesammelten Daten durchlaufen die Netzwerkschicht mithilfe drahtloser Kommunikationstechnologien wie Wi-Fi und ZigBee und werden dann über die 5G-Fernkommunikation an die oberste Cyber-Schicht weitergeleitet. Hier steht das Cloud Computing im Mittelpunkt, das eine robuste Datenspeicherung, -verwaltung und -analyse ermöglicht. Die Kombination dieser Schichten gewährleistet einen nahtlosen bidirektionalen Datentransfer, der Echtzeitinteraktionen zwischen physischen Messsystemen und digitalen Steuerungssystemen ermöglicht. Um das Konzept weiter zu untersuchen, betrachten wir ein Beispiel aus der Praxis. Angenommen, eine Familie mit einem intelligenten HEMS beschließt, ihren Energieverbrauch auf der Grundlage ihres individuellen Lebensstils und ihrer Präferenzen zu optimieren. Mit aktualisierten KI-Modellen kann sie ein effizientes Energiemanagement erreichen und den Energieverbrauch ihres Hauses einfach visualisieren.

Das Konzept integriert IoT und CPPS, um in einer Reihe von Schritten ein intelligentes Energiemanagement zu Hause zu implementieren. Zunächst sammelt und aggregiert das lokale Heimnetzwerk Umwelt- und Energiedaten. Diese Daten werden dann an ein Remote-Cloud-Rechenzentrum gesendet, das von einem SHEMS-Dienstleister betrieben wird. Dort werden die Daten verarbeitet und integriert, um sie für die Analyse vorzubereiten. Anschließend analysiert das CPPS die Daten und optimiert das SHEMS-Modell oder generiert Steuerparameter und Anweisungen. Schließlich gibt das Kontrollzentrum Anweisungen an die Aktoren, um den Energieverbrauch effektiv zu steuern, Kosteneffizienz zu erreichen und die Zufriedenheit der Nutzer zu erhöhen. Wichtig ist auch, dass der Einsatz der Blockchain-Technologie im System die Sicherheit und das Vertrauen in diesen Prozess weiter erhöhen

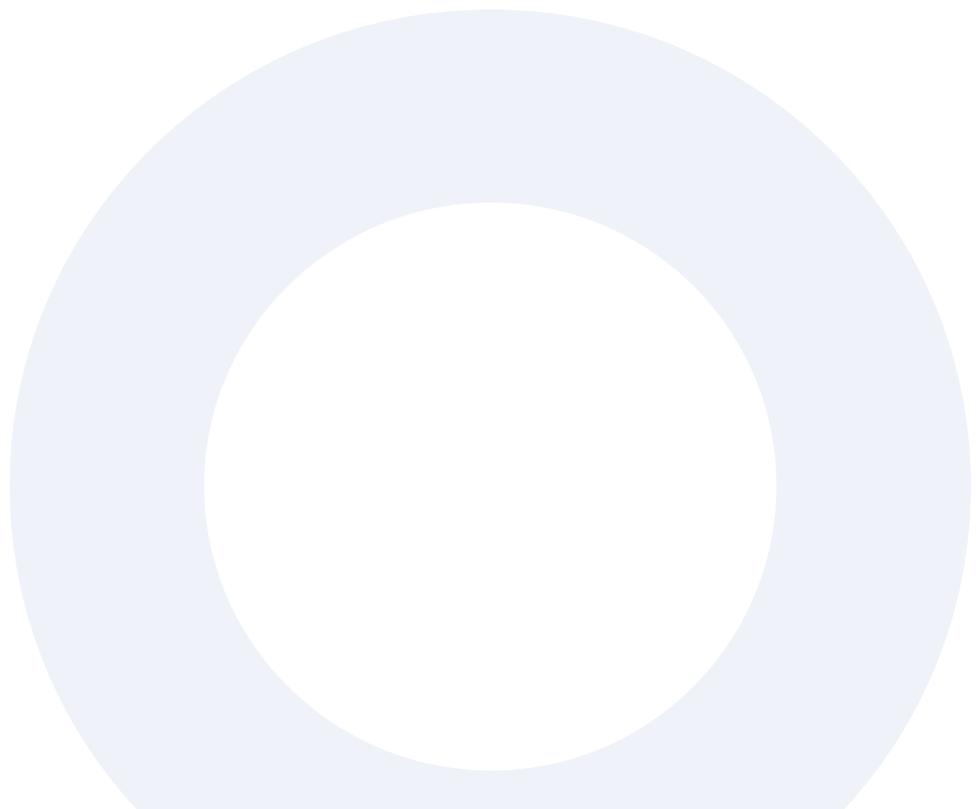
kann, indem beispielsweise Transaktionen sicher und automatisch aufgezeichnet werden und ein transparentes und zuverlässiges Energiemanagement im Haus gewährleistet wird.

Dieses Beispiel zeigt, wie das Konzept der Integration von IoT und CPPS in SHERMS zu einem effizienteren und personalisierten Energiemanagement von Häusern führen kann, was den Hausbesitzern zugutekommt und zur Nachhaltigkeit beiträgt.

Wenn die Ukraine ihre Energieinfrastruktur nach dem Krieg wieder aufbaut, hat sie die Möglichkeit, ein Energiesystem auf einer hochmodernen technologischen Grundlage zu schaffen, die bereits für den breiten Einsatz von künstlicher Intelligenz, Internet der Dinge, Blockchain, 5G und Cloud Computing geeignet ist. Die im konzeptionellen Rahmen (Abbildung 4) formulierten Hypothesen bleiben daher relevant, um ein wichtiges wissenschaftliches und praktisches Problem anzugehen: die Entwicklung innovativer Methoden und Hardware für die Datenübertragung, -verarbeitung, -überwachung, -verwaltung und -abrechnung in allen Phasen der Erzeugung, des Transports, des Handels und des Verbrauchs von Energieressourcen unter Verwendung fortgeschrittener Algorithmen der künstlichen Intelligenz, Blockchain-Plattformen und modernster Informations- und Kommunikationstechnologien. Darüber hinaus haben die anhaltenden Raketen- und Cyberangriffe auf die kritische Infrastruktur der Ukraine Schwachstellen in den bestehenden Energiesystemen aufgedeckt, die zum Teil durch eine Modernisierung der Energiesysteme mit Hilfe der in dieser Arbeit vorgeschlagenen Lösungen behoben werden können. Kurzfristig wird eine solche Modernisierung eine effiziente Überwachung und Verwaltung der Energieinfrastruktur ermöglichen, während sie langfristig zur Schaffung eines intelligenten Energiesystems der nächsten Generation führen wird, das sich durch hohe Effizienz bei Erzeugung, Transport und Verbrauchsprozessen sowie durch Zuverlässigkeit und Widerstandsfähigkeit auszeichnet.

Danksagung

Die Autoren danken dem Erasmus+ Mobilitätsprojekt, das durch die Berufsakademie Sachsen ermöglicht wurde, insbesondere Claudia Schönherr (Referentin für Forschermobilität und Erasmus+ Praktikumskoordination im Leonardo Büro Sachsen in Dresden), Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Hänsel, Präsident der Berufsakademie Sachsen und Direktor des Standortes Dresden, sowie Ilona Scherm, Referentin für Wissens- und Technologietransfer, Internationales und Interkulturelle Kompetenz an der BA Sachsen für die Unterstützung des Forschungsaufenthaltes und dieser Publikation.



References / Literatur

- [1] S. Aggarwal, N. Kumar, S. Tanwar and M. Alazab, "A Survey on Energy Trading in the Smart Grid: Taxonomy, Research Challenges and Solutions," in *IEEE Access*, Bd. 9, S. 116231-116253, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2021.3104354.
- [2] P. Kumar, Y. Lin, G. Bai, A. Paverd, J. S. Dong and A. Martin, "Smart Grid Metering Networks: A Survey on Security, Privacy and Open Research Issues," in *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Bd. 21, Nr. 3, S. 2886-2927, third quarter 2019, doi: 10.1109/COMST.2019.2899354.
- [3] T. Lieskovan, J. Hajny and P. Cika, "Smart Grid Security: Survey and Challenges," 2019 11th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), Dublin, Ireland, 2019, S. 1-5, doi: 10.1109/ICUMT48472.2019.8970738.
- [4] M. Beshley, N. Kryvinska, M. Seliuchenko, H. Beshley, E. Shakhuki, A. Yasar, "End-to-End QoS "Smart Queue" Management Algorithms and Traffic Prioritization Mechanisms for Narrow-Band Internet of Things Services in 4G/5G Networks," *Sensors*, Bd. 20, Nr.8, S. 2324, April; 2020 doi: 10.3390/s20082324.
- [5] M. Beshley, N. Kryvinska, H. Beshley, M. Medvetskyi, and L. Barolli, "Centralized QoS Routing Model for Delay/Loss Sensitive Flows at the SDN-IoT Infrastructure," *Computers, Materials & Continua*, Bd. 69, Nr. 3, S. 3727-3748, 2021.
- [6] M. Klymash, A. Luntovskyy, M. Beshley, I. Melnyk, and A. Schill, Eds., *Emerging networking in the digital transformation age: Approaches, protocols, platforms, best practices, and energy efficiency*. Cham: Springer Nature Switzerland, 2023.
- [7] M. Beshley, M. Klymash, I. Scherm, H. Beshley, and Y. Shkoropad, "Emerging Network Technologies for Digital Transformation: 5G/6G, IoT, SDN/IBN, Cloud Computing, and Blockchain," in *Emerging Networking in the Digital Transformation Age*, Cham: Springer Nature Switzerland, 2023, S. 1-20.
- [8] I. Trunina, M. Bilyk, A. Chumakova and O. Usanova, "Energy Management for the Development of Smart Regions," 2022 IEEE 4th International Conference on Modern Electrical and Energy System (MEES), Kremenchuk, Ukraine, 2022, S. 1-5, doi: 10.1109/MEES58014.2022.10005643.
- [9] S. Ganesan, U. Subramaniam, A. A. Ghodke, R. M. Elavarasan, K. Raju and M. S. Bhaskar, "Investigation on Sizing of Voltage Source for a Battery Energy Storage System in Microgrid With Renewable Energy Sources," in *IEEE Access*, Bd. 8, S. 188861-188874, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3030729.
- [10] A. Ferreira, P. Leitão and P. Vrba, "Challenges of ICT and artificial intelligence in smart grids," 2014 IEEE International Workshop on Intelligent Energy Systems (IWIES), San Diego, CA, USA, 2014, S. 6-11, doi: 10.1109/IWIES.2014.6957039.
- [11] T. Maksymyuk, M. Klymash et al., "Blockchain-Empowered Framework for Decentralized Network Management in 6G," in *IEEE Communications Magazine*, Bd. 58, Nr. 9, S. 86-92, September 2020, doi: 10.1109/MCOM.001.2000175.
- [12] M. Beshley, M. Klymash, H. Beshley, O. Urikova, Y. Bobalo, "Future intent-based networking for QoE-driven business models," *Lecture Notes in Electrical Engineering*. – 2022. – Vol. 831: Future intent-based networking. On the QoS robust and energy efficient heterogeneous software defined networks. – S. 1-18.
- [13] D. Carrillo et al., "Boosting 5G on Smart Grid Communication: A Smart RAN Slicing Approach," in *IEEE Wireless Communications*, doi: 10.1109/MWC.004.2200079.
- [14] A. Ivić, A. Milićević, D. Krstić, N. Kozma and S. Havzi, "The Challenges and Opportunities in Adopting AI, IoT and Blockchain Technology in E-Government: A Systematic Literature Review," 2022 International Conference on Communications, Information, Electronic and Energy Systems (CIEES), Veliko Tarnovo, Bulgaria, 2022, S. 1-6, doi: 10.1109/CIEES55704.2022.9990833.
- [15] M. Seliuchenko, M. Beshley, O. Shpur, N. Seliuchenko, M. Klymash and H. Beshley, "Software-Defined Multi-Access Edge/Cloud Computing for 5G/6G Time-Critical Services," 2023 17th International Conference on the Experience of Designing and Application of CAD Systems (CADSM), Jaroslaw, Poland, 2023, S. 1-4, doi: 10.1109/CADSM58174.2023.10076524.
- [16] G. Xiong et al., "Online measurement error detection for the Electronic Transformer in a smart grid," *Energies*, Bd. 14, Nr. 12, S. 3551, 2021.