



Erfolgsgeschichten aus EU-Projekten – Jahrbuch 2024

Digitale Technologien zur Lösung globaler Herausforderungen

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|----|
| Einleitung..... | 2 |
| „Success Story“ BioProS – Vom EU-Projekt zum biointelligenten Sensor | 4 |
| „Success Story“ CircEI-Paper – Vom EU-Projekt zum Impulsgeber für die Leiterplattenindustrie | 6 |
| „Success Story“ CORTEX2 – Vom EU-Projekt zum Anwendungsnetzwerk..... | 8 |
| „Success Story“ DIGIFOREST – Vom EU-Projekt zur nachhaltigen Forstwirtschaft..... | 10 |
| „Success Story“ ELSA – Vom EU-Projekt zu sicheren KI-Methoden | 12 |
| „Success Story“ ENEXA – Vom EU-Projekt zu erklärbarer KI | 14 |
| „Success Story“ FAIRWork – Vom EU-Projekt zu KI-Unterstützungssystemen | 16 |
| „Success Story“ HyperSpace – Vom EU-Projekt zur sicheren Quantenkommunikation | 18 |
| „Success Story“ NIMFEIA – Vom EU-Projekt zu neuromorphen Chips | 20 |
| „Success Story“ OpenWebSearch.EU – Vom EU-Projekt zur EU-Suchmaschine | 22 |
| „Success Story“ UNICORN – Vom EU-Projekt zur Elektronik-Kreislaufwirtschaft..... | 24 |
| „Success Story“ 6GStart – Vom EU-Projekt zum globalen Mobilfunkstandard..... | 26 |
| Über uns..... | 28 |

Success Stories 2024

Deutsche Erfolgsgeschichten aus EU-Projekten –
Digitale Technologien zur Lösung globaler Herausforderungen

International vereinbarte Ziele für nachhaltige Entwicklung, globaler Wettbewerbsdruck und die Stärkung der europäischen Resilienz scheinen auf den ersten Blick keine gemeinsamen Lösungsansätze zu haben. In der Forschungsförderung stellen die Erreichung europäischer Ziele und die Lösung globaler Herausforderungen jedoch keine Widersprüche dar.

Horizont Europa ist das wichtigste Finanzierungsprogramm der EU für Forschung und Innovation. Mit einem Budget von 95,5 Mrd. Euro und der Schaffung und Verbreitung von exzellentem Wissen und Technologien leistet es einen Beitrag zur Bekämpfung des Klimawandels, stärkt die Wettbewerbsfähigkeit und das Wachstum der EU und trägt so zur Verwirklichung der UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDG) bei.¹

Digitale Technologien spielen eine entscheidende Rolle bei der Umsetzung der SDGs, und mit Horizont Europa wird ein wichtiger Beitrag geleistet ihr Potenzial voll auszuschöpfen, um eine nachhaltige und gerechte Zukunft zu gestalten und ein resilientes, grünes, gesundes und digitales Europa aufzubauen. Einer der zentralen Programmbereiche von Horizont Europa zur Förderung digitaler Technologien zum Zweck der Erreichung der gesetzten Ziele ist dabei der Programmbereich „Digitalisierung, Industrie und Weltraum“ (Digital, Industry and Space).

Dieser Programmbereich legt seinen Schwerpunkt insbesondere auf die Erreichung des UN Nachhaltigkeitsziels „Industrie, Innovation und Infrastruktur“ (Industry, innovation and infrastructure – SDG 9), zum „Aufbau einer widerstandsfähigen Infrastruktur, Förderung einer integrativen und nachhaltigen Industrialisierung und Unterstützung von Innovationen“ (Build resilient infrastructure, promote inclusive and sustainable industrialization and foster innovation).

Die geförderten Projekte unterstützen insbesondere digitale und industrielle Schlüsseltechnologien, um globale Herausforderungen zu adressieren und die industrielle Zukunft Europas zu sichern. Innerhalb des Cluster 4 „Digitalisierung, Industrie und Weltraum“ von Horizont Europa werden digitale Schlüsseltechnologien gefördert. Dies umfasst unter anderem die Nutzung von Datenanalyse und künstlicher Intelligenz zur Bewältigung von Umweltproblemen, die Nutzung von Internet-of-Things (IoT)-Technologien zur Überwachung und Verbesserung der Umweltqualität oder die Entwicklung von intelligenten Energiesystemen zur Förderung von sauberer Energie.

Die Erfolgsgeschichten 2024

Die in diesem Jahrbuch vorgestellten EU-Projekte zeigen, wie insbesondere digitale Technologien dazu beitragen, ein resilientes, grünes, gesundes und digitales Europa aufzubauen, das einen Beitrag zur Bewältigung internationaler Herausforderungen liefert.

¹ Die UN-Ziele für nachhaltige Entwicklung (Sustainable Development Goals – SDG: <https://sdgs.un.org/goals>) stellen eine zentrale Grundlage für die Strategiepläne

von Horizont Europa dar („Horizon Europe strategic plan 2021-2024“: <https://op.europa.eu/s/zH25>, „Horizon Europe strategic plan 2025-2027“: <https://op.europa.eu/s/zH26>).

Die Projekterfolge der vorgestellten Projekte decken dabei ein breites Spektrum ab, darunter energieeffiziente 6G-Netzwerke, biointelligente Sensoren, nachhaltige Leiterplatten,

Datenanalyse und Robotik, sichere KI und transparente Wissensgraphen, satellitenbasierte Quantenkommunikationsnetzwerke, neuromorphe Chips und Ansätze zur Stärkung der Kreislaufwirtschaft in der Elektronik.

| Projekt Akronym | Erfolg | Thema | Organisation Erfolgsgeschichte |
|---------------------|---|---|--|
| BioProS | Vom EU-Projekt zum biointelligenten Sensor | Biointelligenter Produktionssensor zur Messung der Aktivität von Viren | Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA |
| CircEI-Paper | Vom EU-Projekt zum Impulsgeber für die Leiterplattenindustrie | Angewandte Kreislaufwirtschaft für elektronische Leiterplatten auf Papierbasis | Fraunhofer-Institut für Siliciumforschung ISC |
| CORTEX ² | Vom EU-Projekt zum Anwendungsnetzwerk | Kooperative Echtzeit-Erlebnisse mit erweiterter Realität | DFKI – Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz |
| DigiForest | Vom EU-Projekt zur nachhaltigen Forstwirtschaft | Digitale Analytik und Robotik für die nachhaltige Forstwirtschaft | Technische Universität München |
| ELSA | Vom EU-Projekt zu sicheren KI-Methoden | Europäischer Leuchtturm für sichere KI | CISPA – Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit |
| ENEXA | Vom EU-Projekt zu erklärbarer KI | Effizientes erklärbares Lernen auf Wissensgraphen | Universität Paderborn |
| FAIRWork | Vom EU-Projekt zu KI-Unterstützungssystemen | Flexibilisierung komplexer Ökosysteme durch demokratische KI-basierte Entscheidungsunterstützungssysteme | Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen |
| HyperSpace | Vom EU-Projekt zur sicheren Quantenkommunikation | HYPER-Verschränkung im Raum | Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF |
| NIMFEIA | Vom EU-Projekt zu neuromorphen Chips | Nichtlineare Magnonen für Künstliche Intelligenz | Helmholtz-Zentrum Dresden – Rossendorf |
| OpenWebSearch.EU | Vom EU-Projekt zur EU-Suchmaschine | Pilotprojekt einer kooperativen offenen Websuchinfrastruktur zur Unterstützung der digitalen Souveränität Europas | Universität Passau |
| UNICORN | Vom EU-Projekt zur Elektronik-Kreislaufwirtschaft | Freilegung von Innovationspotenzial zirkulärer Ansätze in der Automobilelektronik und darüber hinaus | VDI/VDE Innovation + Technik GmbH |
| 6G SNS | Vom EU-Projekt zum globalen Mobilfunkstandard | Unterstützungsleistungen für die europäischen 5G PPP und 6G SNS Initiativen | Eurescom – European Institute for Research and Strategic Studies in Telecommunications |

Tabelle 1: Übersicht der vorgestellten Erfolgsgeschichten

„Success Story“ BioProS – Vom EU-Projekt zum biointelligenten Sensor



Biointelligenter Produktionssensor zur Messung der Aktivität von Viren

Viren und virale Vektoren sind vielversprechende neue Therapieansätze zur Bekämpfung und möglichen Heilung schwer behandelbarer Krankheiten wie genetischer Defekte und Krebs. Das BioProS-Projekt zielt darauf ab, die Prozessüberwachung und Digitalisierung der Virusproduktion zu revolutionieren. Die im Projekt entwickelten Biohybrid-Sensoren und biointelligenten Systeme können vielseitig in biotechnologischen und industriellen Prozessen eingesetzt werden.

Die Erfolgsgeschichte

Viren und virale Vektoren stellen eine vielversprechende neue Therapiekategorie dar, mit dem Potenzial, bisher schwer behandelbare Erkrankungen wie genetische Defekte oder Krebs zu bekämpfen und möglicherweise zu heilen. Die manuelle Herstellung viraler Vektoren ist jedoch nach wie vor fehleranfällig, was bedeutet, dass etwa 80 bis 90 Prozent des produzierten Materials nicht funktionsfähig sein können. Zudem liegt die Produktionskapazität schätzungsweise nur bei der Hälfte bis zu einem Drittel des aktuellen und zukünftigen Bedarfs. Um die klinische Verfügbarkeit viraler Therapien zu erhöhen, ist es daher entscheidend, ihre Herstellung effizienter und zuverlässiger zu gestalten.

Das BioProS-Projekt hat sich zum Ziel gesetzt, die Prozessüberwachung und Digitalisierung der Virusproduktion zu revolutionieren. Im Mittelpunkt dieses Vorhabens steht die Anwendung von Biointelligenz – ein Konzept, das die direkte Integration technischer, informativer und biologischer Komponenten umfasst, um die Leistungsfähigkeit technologischer Systeme zu steigern.

Ein zentrales Element des Projekts ist die Entwicklung einer neuartigen Biohybrid-Sensortechnologie, die auf lebenden Zellen basiert und eine kontinuierliche sowie Echtzeit-Überwachung der Virusherstellung ermöglichen soll. Diese Technologie wird durch innovative Printing-Technologien und den Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) und digitalen Zwillingen vorangetrieben.

Die im Laufe des Projektes entwickelten Prototypen für einen Biosensorchip nutzen 3D- und 4D-Bioprinting-Techniken, die eine hohe Präzision und Auflösung bieten. Der Prototyp für die zugehörige Auswertungsplattform erkennt Defekte während des Druckvorgangs, trägt zur Minimierung von Abfall und Fehlern bei und unterstützt damit nachhaltige Produktionsprozesse.

„Das BioProS-Projekt fördert die Gesundheit und das Wohlergehen der Menschen, unterstützt die industrielle Innovation und Nachhaltigkeit und stärkt internationale Partnerschaften. Damit leistet das Projekt einen wertvollen Beitrag zur Erreichung der nachhaltigen Entwicklungsziele.“

*Dr. Natalie Gebken,
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik
und Automatisierung IPA*

Zusätzlich zur Entwicklung neuer Biosensoren und Bioprinting-Technologien werden intelligente Datenanalysen und digitale Zwillinge verwendet, um aus den während des Herstellungsprozesses gewonnenen Signalen, Bildern und Videos datenbasierte Lösungen für die Überwachung, Steuerung, Optimierung und Kalibrierung zu entwickeln. Künstliche Intelligenz und maschinelles Lernen spielen hier eine Schlüsselrolle, indem sie diese riesigen Datenmengen verarbeiten

und die Genauigkeit verbessern. Zudem werden numerische Modelle genutzt, um einen digitalen Zwilling zu erstellen, der das Verhalten der realen Produktionsplattform genau simuliert. Diese virtuelle Kopie hilft dabei, die Prozesse zu optimieren und Fehler frühzeitig zu erkennen, indem sie mit den aktuellen Betriebsdaten kalibriert wird.

Durch BioProS werden sowohl die Effizienz als auch die Qualität der Virusproduktion verbessert, was die Verfügbarkeit sicherer und effektiver virusbasierter Therapien erhöht. Damit leistet das Projekt einen wertvollen Beitrag zur Förderung der Gesundheit und des Wohlergehens der Menschen.

Hintergrund und Ausblick

Das BioProS-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt und strebt im Rahmen eines Folgeprojekts an, die biointelligente Sensortechnologie für präzisere virale Aktivitätsanalysen zu optimieren und deren Einsatzfelder auf verschiedene biobasierte Produktionsprozesse außerhalb der viralen Vektorherstellung auszuweiten. Anschließend soll die Technologie durch Technologietransfer und Kommerzialisierung auf den Markt gebracht werden. Im Fokus steht dabei die Entwicklung neuer Designkonzepte und die Erweiterung des Patentportfolios.

Die Projektkoordinatorin

Nach ihrem Biologiestudium und ihrer Promotion am Institut für Genetik arbeitete Dr. Natalie Gebken zunächst als Wissenschaftlerin bei der Biometrics GmbH, einem Spin-off des Instituts für Physikalische und Theoretische Chemie an der Eberhard Karls Universität Tübingen. 2020 wechselte sie zum Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, wo sie zunächst als Wissenschaftlerin und Projektleiterin tätig war und seit 2023 stellvertretende Gruppenleiterin der Gruppe Prozess- und Verfahrensentwicklung

für die Skalierung pharmazeutischer Entwicklung und Produktion ist.

Das Konsortium

Das Konsortium setzt sich aus neun Partnern aus Deutschland, Frankreich, Italien, den Niederlanden und Schweden zusammen. Aus Deutschland sind neben dem koordinierenden Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA weiterhin das Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB, die Eberhard Karls Universität Tübingen, die EurA AG sowie die Nano-scribe GmbH & Co. KG beteiligt.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|---|
| Akronym | BioProS |
| Titel | Biointelligent Production Sensor to Measure Viral Activity |
| Projektlaufzeit | Jul. 2022 bis Jun. 2026 |
| Gesamtkosten | 6.317.694 € |
| EU-Förderbeitrag | 6.317.694 € |
| Koordinierende Organisation | Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. |
| Projekt-Nr. | 101070120 |
| Programmbe-reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 4, Topic HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-27 "Development of technologies/devices for bio-intelligent manufacturing (RIA)" |
| URL | https://www.biopros.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070120 |
| Kontakt | Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA) Dr. Natalie Gebken natalie.gebken@ipa.fraunhofer.de |

„Success Story“ CircEI-Paper – Vom EU-Projekt zum Impulsgeber für die Leiterplattenindustrie

Angewandte Kreislaufwirtschaft für elektronische Leiterplatten auf Papierbasis



In der EU fallen jedes Jahr Millionen Tonnen Elektroschrott an, der Anteil von Recycling und Wiederverwendung bleibt mit knapp 30 % noch weit hinter den Vorgaben der EU zurück. Das EU-Projekt CircEI-Paper hat Technologien und Prozesse entwickelt, welche das Drucken von Elektronik auf Papier ermöglichen, recycelte Rohstoffe nutzen und biologisch abbaubare Materialien entwickeln. Erste Demonstratoren zeigen das Potenzial dieser nachhaltigen Technologie für die Kreislaufwirtschaft.

Die Erfolgsgeschichte

Laut aktuellen EU-Statistiken wurden 2021 13,5 Millionen Tonnen Elektro- und Elektronikgeräte auf den Markt gebracht und 4,9 Millionen Tonnen Elektro- und Elektronik-Abfall erzeugt. Die von der EU für die Mitgliedstaaten vorgegebene Mindestsammelquote von 65 % im Jahr, bezogen auf das Durchschnittsgewicht der in den jeweiligen 3 Vorjahren neu in Verkehr gebrachten Elektro- und Elektronikgeräte, wurde 2021 lediglich von Bulgarien und der Slowakei erreicht.

Das EU-Projekt CircEI-Paper zielt darauf, einen Beitrag zum besseren Recycling von Elektronik zu leisten. Ausgehend von Papier als Trägermaterial sollen die gut etablierten Altpapier Recycling-Prozesse auch für elektronische Bauteile genutzt werden. Gleichzeitig soll durch die Möglichkeit, Papier als Substrat für additive und hochvolumige Herstellungsprozesse zu verwenden, neue Möglichkeiten für die Leiterplattentechnologie erzeugt werden. Die verwendeten elektronischen Materialien sollen zudem aus rezyklierten oder biobasierten Rohstoffen aufgebaut sein.

Die Forscher konnten nicht nur die Machbarkeit beweisen, elektrische Strukturen auf Papier zu drucken, sondern auch die Möglichkeit, hochintegrierte Multilagenn mit entsprechenden Durchkontaktierungen zu erzeugen. Dies öffnet die Tür für die Entwicklung komplexer, papierbasierter elektronischer Schaltungen.

Ein weiteres Ergebnis des Projekts ist die erfolgreiche Demonstration der Galvanisierung auf Papier. Diese Technik ermöglicht es, hochleitfähige metallische Leiterbahnstrukturen auf papierbasierten Substraten zu erzeugen, was für die Herstellung langlebiger und leistungsfähiger elektronischer Komponenten entscheidend ist. Für die gedruckten Leiterbahnen konnte Silber zu mehr als 90 % aus sekundären Rohstoffquellen erfolgreich eingesetzt werden. Zudem wurden Isolatoren und Dielektrika aus biobasierten Vorstufen getestet und biologisch abbaubare Verkapselungsmaterialien entwickelt.

„Mit CircEI-Paper bieten wir nachhaltige Lösungsansätze – weg von der Petrochemie und hin zu Materialkreisläufen auch in der Elektronik.“

*Gerhard Domann,
Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC*

Für die Demonstratoren, darunter Logistik-Sensoren, Glukosesensoren und Consumer Electronics, wurden das Layout der Schaltungen und das Design entwickelt und erste Vorstufen gefertigt. Diese Demonstratoren zeigen das enorme Potenzial der neuen Technologie.

Ein weiterer Fortschritt ist das Testen der Rezyklierbarkeit im Papierrecycling-Prozess. Mit kommerziell verfügbaren Verfahren, die im

Papierrecycling eingesetzt werden, wurde Papierfaserbrei („Pulpe“) von papierbasierten Leiterplatten hergestellt. Dabei konnten Komponenten, Polymere und Metallfraktionen aus der Papierpulpe extrahiert werden, was die Möglichkeit eröffnet, Rohstoffe über übliche Papierrecycling-Verfahren zurückzugewinnen.

Insgesamt zeigt das Projekt, dass das Konzept, Elektronik auf Papier zu drucken und die Rohstoffe über ein übliches Papierrecycling-Verfahren zurückzugewinnen, grundsätzlich realisierbar ist. Diese Entwicklungen markieren einen wichtigen Schritt in Richtung nachhaltiger Elektronik und einen neuen Ansatz für die entsprechende Kreislaufwirtschaft für Elektronik.

Hintergrund und Ausblick

Vorläuferprojekt von CircEI-Paper war das vom European Institute of Innovation and Technology (EIT) geförderte EU-Projekt SUPERSMART („Scale-Up von SMARTen-Materialien für gedruckte und recycelbare Elektronik“, Fördernummer 17161), das einen Demonstrator für gedruckte elektronische Komponenten wie Sensoren und smarte Etiketten auf Papier- und Polymerbasis entwickelte. Das langfristige Ziel von CircEI-Paper und möglichen Folgeprojekten ist es, höherintegrierte Schaltungen und Baugruppen auf Papier-Leiterplatten zu realisieren und die Prozesskompatibilität zu erhöhen.

Der Projektkoordinator

Gerhard Domann studierte Physik in Heidelberg und Oldenburg und absolvierte 2008 einen MBA an der britischen Universität Bradford. Am Fraunhofer ISC war er zunächst als Projektkoordinator von internationalen oder EU-finanzierten Verbundprojekten tätig. Seit 2015 leitet er dort die Gruppe „Optik und Elektronik“ und seit 2016 den Cluster „Anwendungstechnik“. Die wissenschaftlichen Schwerpunkte seiner Forschungsarbeiten sind die Anwendung von anorganisch-organischen

Hybridpolymeren für mikrooptische/mikroelektronische Anwendungen.

Das Konsortium

Das aus acht Partnern bestehende Konsortium von CircEI-Paper deckt die gesamte Wertschöpfungskette ab. Beteiligt sind eine Reihe namhafter Forschungseinrichtungen, akademische Partner und Produktionsunternehmen. Neben dem koordinierenden Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC aus Deutschland sind dies noch Forschungsorganisationen aus Österreich und Schweden, eine französische Hochschule sowie Unternehmen aus Frankreich, Italien, Polen und Schweden.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|---|
| Akronym | CircEI-Paper |
| Titel | Circular Economy Applied To Electronic Printed Circuit Boards Based On Paper |
| Projektlaufzeit | Sep. 2022 bis Feb. 2026 |
| Gesamtkosten | 4.741.079 € |
| EU-Förderbeitrag | 4.741.079 € |
| Koordinierende Organisation | Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. |
| Projekt-Nr. | 101070114 |
| Programmbe- reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 4, Topic HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-31 "Functional electronics for green and circular economy (RIA)" |
| URL | https://circelpaper.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070114 |
| Kontakt | Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (Fraunhofer-Institut für Silicatforschung ISC) Gerhard Domann gerhard.domann@isc.fraunhofer.de |

„Success Story“ CORTEX² – Vom EU-Projekt zum Anwendungsnetzwerk



Kooperative Echtzeit-Erlebnisse mit erweiterter Realität

Remote-Zusammenarbeit durch Videokonferenzen bietet viele gesellschaftliche Vorteile, bringt jedoch auch Nachteile wie mangelndes Präsenzgefühl, eingeschränkte Interaktivität und fehlende nonverbale Kommunikationssignale mit sich. Das EU-Projekt CORTEX² nutzt Mixed Reality-Erfahrungen der nächsten Generation, um die Remote-Zusammenarbeit auf eine neue Ebene zu heben und einem breiten Spektrum von Unternehmen und KMU zugänglich zu machen.

Die Erfolgsgeschichte

Videokonferenzen stellen heute den Standard der Remote-Zusammenarbeit dar. Sie bieten viele gesellschaftliche Vorteile wie verbesserte Vernetzung und Zusammenarbeit über große Entfernungen, Reduzierung von Reisezeiten und -kosten, Förderung von Work-Life-Balance und Umweltschutz durch weniger Reisezeiten. Sie ermöglichen flexibles Arbeiten und Lernen, erleichtern den Zugang zu Bildung und beruflichen Möglichkeiten und fördern die Inklusion von Menschen mit Einschränkungen.

Videokonferenzsysteme haben jedoch Nachteile wie mangelndes Präsenzgefühl, eingeschränkte Interaktivität und fehlende nonverbale Kommunikationssignale. Sie bieten zudem begrenzte Möglichkeiten zur gemeinsamen Arbeit an virtuellen Objekten. Mixed Reality (MR) hat sich vor diesem Hintergrund als eine Technologie etabliert, die ein authentisches Präsenzgefühl und verbesserte Werkzeuge für die Zusammenarbeit bietet.

Das EU-finanzierte Projekt CORTEX² zielt darauf ab, die Lücke zwischen weit verbreiteten Videokonferenztools und innovativen

Extended Reality (XR)-Lösungen zu schließen. Hierfür wird die weit verbreitete Rainbow-Telekonferenzlösung von Alcatel Lucent Enterprise genutzt und erweitert, um eine vollständig interaktive, XR-basierte Zusammenarbeit zu ermöglichen. CORTEX² ermöglicht dabei die Schaffung gemeinsamer Arbeitserfahrungen zwischen mehreren entfernten Benutzern in verschiedenen Betriebsmodi.

„CORTEX² bietet neue Wege der kollaborativen Arbeit für entfernte Nutzer. Dies ermöglicht es, Telearbeit für viele neue Bereiche in der Industrie, im Gesundheitswesen, im Bildungswesen und in anderen Bereichen in Betracht zu ziehen.“

*Dr. Alain Pagani,
DFKI*

Im Virtual Reality-Modus können die Teilnehmenden virtuelle Besprechungsräume schaffen, in denen jede Person durch einen virtuellen Avatar vertreten ist. Die Teilnehmenden haben die Möglichkeit, in den virtuellen Räumen als videobasierte Hologramme aufzutreten, wobei sie ihr Aussehen mit Hilfe eines KI-basierten Videogenerators anonymisieren können, ohne ihre ursprüngliche Mimik zu verlieren. Die Teilnehmenden können auch Dokumente, 3D-Objekte und andere Assets austauschen und werden von einem KI-gestützten Meeting-Assistenten begleitet.

Im Augmented Reality-Modus haben die Teilnehmenden die Möglichkeit, ihre unmittelbare Umgebung durch einen vereinfachten Digitalisierungsprozess zu teilen, was zu einem texturierten 3D-Modell ihrer Umgebung führt. Dieses Modell wird von entfernten Teilnehmenden verwendet, um bestimmte Bereiche zu identifizieren, auszuwählen und zu

markieren. Diese Bereiche werden dann mit Hilfe von Augmented-Reality-Techniken in der ursprünglichen Ansicht des Nutzers dargestellt.

Um das Erlebnis noch intensiver zu gestalten, werden reichhaltige kontextbezogene IoT-Informationen in die Videoströme integriert, die als Anmerkungen über den angezeigten Objekten und Personen dargestellt werden. Zu diesem Zweck werden die von einer Vielzahl heterogener IoT-Geräte gesammelten Daten aufgenommen, aggregiert, verarbeitet und aufbereitet, um schließlich aufschlussreiche Informationen über intelligente Anlagen in verschiedenen vertikalen Bereichen zu generieren. Zu diesem Zweck wird eine vielseitige IoT-Plattform entwickelt, welche die Daten von angeschlossenen Geräten und Sensoren sammelt und in eine einheitliche, IoT-Protokoll-agnostische Ansicht bringt, und so die nahtlose Verwaltung von IoT-Informationen und ihre individuelle „Formung“ in Schichten von aggregierten IoT-Informationen ermöglicht.

Hintergrund und Ausblick

Das CORTEX²-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt. Zusätzlich zu den Projektaktivitäten investiert CORTEX² insgesamt 4 Millionen Euro in zwei offene Ausschreibungen, die darauf abzielen, Start-ups/KMU für die gemeinsame Entwicklung von CORTEX² zu gewinnen, neue Anwendungsfälle aus verschiedenen Bereichen zu gewinnen, um die Replikation von CORTEX² durch spezifische Integrationspfade zu demonstrieren, und die sozialen Auswirkungen der Einführung der XR-Technologie in internen und externen Anwendungsfällen zu bewerten und zu validieren.

Der Projektkoordinator

Dr. Alain Pagani ist seit 2008 am DFKI tätig und hat an der École Centrale in Lyon sowie der Technischen Universität Darmstadt Informatik studiert und an der Technischen

Universität Kaiserslautern promoviert. Als Principal Researcher und stellvertretender Forschungsbereichsleiter des Forschungsbereiches „Augmented Vision“ am DFKI leitet er ein Team von acht Forschenden. Dr. Pagani ist Autor von über 100 Fachartikeln. Seine Expertise sind die Felder Computer Vision, Augmented Reality, maschinelles Lernen und künstliche Intelligenz.

Das Konsortium

Das Projektkonsortium von CORTEX² besteht aus 10 Organisationen aus Belgien, Deutschland, Estland, Frankreich, Griechenland, Irland und Spanien. Aus Deutschland beteiligt sich neben dem koordinierenden DFKI noch die Actimage GmbH, welche Unternehmen bei der Entwicklung maßgeschneiderter Software-dienstleistungen in den Bereichen Mobile-, Cloud- und Embedded/IoT unterstützt.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|--|
| Akronym | CORTEX ² |
| Titel | COoperative Real-Time EXperiences with EXtended reality |
| Projektlaufzeit | Sep. 2022 bis Aug. 2025 |
| Gesamtkosten | 8.787.513 € |
| EU-Förderbeitrag | 7.997.197 € |
| Koordinierende Organisation | Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI) |
| Projekt-Nr. | 101070192 |
| Programmbe-reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 6, Topic HORIZON-CL4-2021-HUMAN-01-25 "eXtended Collaborative Telepresence (IA)" |
| URL | https://cortex2.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070192 |
| Kontakt | Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH (DFKI) (Department Augmented Vision) Dr. Alain Pagani alain.pagani@dfki.de |

„Success Story“ DIGIFOREST – Vom EU-Projekt zur nachhaltigen Forstwirtschaft



Digitale Analytik und Robotik für die nachhaltige Forstwirtschaft

Die Wälder in Deutschland leiden unter den Folgen der Klimakrise. Dürre, hohe Temperaturen und der Befall mit Parasiten setzen den Wäldern zu. Prävention und frühzeitige Erkennung sind wichtig, um Baumkrankheiten vorzubeugen und zu bekämpfen. Das EU-Projekt DigiForest leistet hierzu einen Beitrag, indem durch die Erfassung detaillierter und vielfältiger Walddaten und selektives Baumfällen eine nachhaltige Präzisionswaldbewirtschaftung ermöglicht wird.

Die Erfolgsgeschichte

Wälder sind Lebensräume für unzählige Tier- und Pflanzenarten, regulieren das Klima und den Wasserhaushalt und tragen als wichtige Kohlenstoffsенke zur Bekämpfung der Klimakrise bei. Zudem sind unsere Wälder die Quelle für regionales, nachhaltiges Holz und Erholungsraum für uns Menschen. Die Vitalität der Wälder ist daher untrennbar mit unserem Wohlergehen verbunden.

Die europäische Forstwirtschaft wurde im Rahmen der jüngsten EU-Forststrategie² mit der Aufgabe betraut, mehr Nachhaltigkeit zu erreichen. Zu den Zielen gehören eine bessere Waldbewirtschaftung und eine nachhaltige Entwicklung der holzbasierten Ressourcen. Die Wälder müssen dazu unter Berücksichtigung des gesamten Lebenszyklus bewirtschaftet werden. Ein wichtiger Indikator für die Gesundheit der Wälder ist der Kronenzustand der Waldbäume. Die Waldzustandserhebung 2023³ zeigt, dass der Anteil der Waldfläche in

Deutschland, die keine Kronenverlichtung aufweist, im Jahr 2023 bei nur 20 % lag. Auf die Warnstufe entfielen 44 % aller Bäume.

Im Rahmen von DigiForest verfolgt das Konsortium einen innovativen, neuartigen Ansatz für die Umstellung auf eine groß angelegte nachhaltige Präzisionswaldbewirtschaftung. Im Mittelpunkt steht die Erfassung detaillierter und vielfältiger Walddaten (auf Baumebene) mit Hilfe mobiler Roboter und ihre Analyse mittels künstlicher Intelligenz, um den Entscheidungsprozess der forstwirtschaftlich nachhaltigen Eingriffe zu unterstützen, sowie deren Ausführung durch automatisiertes, selektives Baumfällen.

„Mit DIGIFOREST tragen wir zu einer effizienteren und nachhaltigeren Waldbewirtschaftung bei. Wir leisten damit nicht nur einen Beitrag gegen den Klimawandel und für bessere Lebensqualität, sondern wirken auch daran mit, die Wettbewerbsfähigkeit der europäischen Forstwirtschaft zu stärken, indem suboptimale Eingriffe und zeitintensive Kartierungsprozesse vermieden werden.“

*Prof. Dr. Stefan Leutenegger,
Technische Universität München*

Hierzu wurden für heterogene Roboter die Hardware sowie Navigationssoftware und Kartierungslösungen fortentwickelt. In einem ersten, großangelegten Feldversuch in Finnland haben die Projektpartner ihre Drohnen, Laufroboter und Holzernte-Maschinen (Harvester) betrieben. Die Drohnen fliegen mit bis zu 3m/s in völlig unbekannter Waldumgebung

² New EU Forest Strategy for 2030: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52021DC0572>

³ Die jährliche Waldzustandserhebung dokumentiert seit den 1980er-Jahren, wie sich der Wald unter den oben

genannten Bedingungen verändert. Waldzustandserhebung 2023: <https://www.bmel.de/SharedDocs/Downloads/DE/Broschueren/waldzustandserhebung-2023.html>

unterhalb der Baumkronen, ohne zu kollidieren, und während sie sich lokalisieren und 3D-Rekonstruktionen live an eine Kontrollstation senden. Hierbei werden sowohl Drohnen mit genauen LiDARs⁴ eingesetzt, wie auch preiswertere und leichtere Exemplare, die sich auf passives Stereosehen beschränken. Parallel dazu sind Laufroboter in der Lage, zuverlässig über längere Zeit im Schritttempo größere Waldflächen zu erkunden.

Die entwickelten Kartierungslösungen sind in der Lage, aufgezeichnete Messungen und vorläufige Rekonstruktionen der verschiedenen Roboter in sich und miteinander genau zu registrieren. Die Drohnenaufnahmen über den Baumkronen ermöglichen so letztlich die Erstellung kohärenter, genauer und großflächiger Karten. Bis zum Ende der Projektlaufzeit wird der Harvester teilautomatisiert Bäume fällen können, wobei Karteninformationen der anderen mobilen Roboter bei der Navigation bis zum ausgewählten Baum unterstützen.

Die Ergebnisse des Projektes werden durch ihre Roboter und KI-basierten Analysen den Entscheidungsprozess der nachhaltigen forstwirtschaftlichen Eingriffe effizient unterstützen und einen Beitrag zu einer nachhaltigen Präzisionswaldbewirtschaftung leisten.

Hintergrund und Ausblick

Das DIGIFOREST-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt. Verschiedene Teile des Konsortiums arbeiten in anderen EU-Projekten miteinander oder planen gemeinsam neue Anträge für EU-Projekte.

Der Projektkoordinator

Nach seinem Maschinenbaustudium promovierte Prof. Dr. Stefan Leutenegger am Autonomous Systems Lab der ETH Zürich. Als Senior Lecturer baute er anschließend am Imperial College in London das Smart

Robotics Lab auf. Seit 2021 ist Prof. Dr. Stefan Leutenegger Assistenzprofessor an der Technischen Universität München. Sein Forschungsgebiet ist der Bereich der mobilen Robotik, mit Schwerpunkt auf Roboter-Navigation in potentiell unbekannter Umgebung.

Das Konsortium

Das Projektkonsortium umfasst 10 Partner aus Deutschland, Finnland, den Niederlanden, Norwegen, Schweiz sowie dem Vereinigten Königreich. Neben der koordinierenden Technischen Universität München ist aus Deutschland noch die Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn Teil des Projektkonsortiums.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|--|
| Akronym | DIGIFOREST |
| Titel | Digital Analytics and Robotics for Sustainable Forestry |
| Projektlaufzeit | Sep. 2022 bis Feb. 2026 |
| Gesamtkosten | 2.730.222 € |
| EU-Förderbeitrag | 2.399.074 € |
| Koordinierende Organisation | Technische Universität München |
| Projekt-Nr. | 101070405 |
| Programmbe-reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 4, Topic HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-09 "AI, Data and Robotics for the Green Deal (AI, Data and Robotics Partnership) (IA)" |
| URL | https://digiforest.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070405 |
| Kontakt | Technische Universität München (Informatics 9 - Assistant Professorship of Machine Learning for Robotics) Prof. Dr. Stefan Leutenegger stefan.leutenegger@tum.de |

⁴ LiDAR (Light detection and ranging oder Light imaging, detection and ranging) ist eine dem Radar verwandte

Methode zur optischen Abstands- und Geschwindigkeitsmessung sowie zur Fernmessung atmosphärischer Parameter.

„Success Story“ ELSA – Vom EU-Projekt zu sicheren KI-Methoden



Europäischer Leuchtturm für sichere KI

Dank steigender Rechenleistung, neuen Algorithmen und wachsenden Datenmengen erobert Künstliche Intelligenz (KI) mehr und mehr Anwendungsfelder. Je mehr Anwendungsfälle durch KI erschlossen werden, desto mehr gehen Sorgen um KI-Sicherheit und Datenschutz einher. Das EU-Projekt ELSA adressiert diese Sorgen mit einem wachsenden Exzellenznetz, das die Forschung im Bereich der sicheren KI-Methoden vorantreibt.

Die Erfolgsgeschichte

Künstliche Intelligenz (KI) ist bereits Teil unseres täglichen Lebens geworden, zu Hause, am Arbeitsplatz und im öffentlichen Raum. Von den empfohlenen Inhalten in den sozialen Medien bis hin zur Diagnose seltener Krankheiten in Krankenhäusern auf der ganzen Welt – wir bauen unsere Welt allmählich um das maschinelle Lernen herum auf. Mit zunehmenden Fähigkeiten und Anwendungsfällen in sicherheitskritischen Bereichen steigen jedoch die Anforderungen an eine sichere KI.

Das von der Europäischen Union geförderte Exzellenznetzwerk ELSA – European Lighthouse on Secure and Safe AI stellt die Weichen, um die EU zu einem Leuchtturm sicherer und vertrauenswürdiger künstlicher Intelligenz zu machen. Disruptive Forschung, enger Austausch mit Industrievertretenden, strategische Forschungsausrichtung, Politikberatung auf höchster Ebene – das wachsende Netzwerk adressiert in allen Dimensionen die drängenden Fragen, die künstliche Intelligenz für die Gesellschaft bereithält.

ELSA fokussiert sich dabei auf drei große Herausforderungen: technisch robuste und sichere KI-Systeme zu entwickeln, daten-

schutzfreundliches und robustes kollaboratives Lernen zu ermöglichen und menschliche Kontrollmechanismen für den ethischen und sicheren Einsatz von KI zu entwickeln.

Die konkreten Anwendungsfälle, die ELSA in den Blick nimmt, sind Gesundheit, autonomes Fahren, Robotik, Cybersicherheit, Multimedia, Dokumentenintelligenz sowie Large Language Models. Die von ELSA veröffentlichte Benchmarks-Plattform ermöglicht, Daten und Metriken zu teilen und sogenannte „Competitions“ zu den genannten Anwendungsfällen zu veröffentlichen.

„ELSA leistet durch die Entwicklung rigoroser Methoden sowie Benchmarks einen entscheidenden Beitrag zur Entwicklung vertrauenswürdiger und sicherer KI-Anwendungen und des maschinellen Lernens in so wichtigen und gesellschaftlich relevanten Anwendungsbereichen wie dem Gesundheitssektor, dem autonomen Fahren, der Dokumentensicherheit, der Cybersicherheit, der Robotik und der Medienanalyse.“
Prof. Dr. Mario Fritz,
CISPA – Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit

Im Mai 2023 hat das Netzwerk kleine und mittelständische Unternehmen sowie innovative Startups aufgerufen, sich um Förderung zu bewerben und zusammen mit ELSA-Forschenden an Methoden, Benchmarks und Softwarelösungen zu arbeiten und diese in die industrielle Anwendung zu bringen. Fünf Startups wurden dazu von einem Gremium aus Expertinnen und Experten ausgewählt. Sie erhalten über ELSA jeweils rund 60.000 Euro EU-Förderung und werden zusammen mit ausgewählten Konsortiumsmitgliedern an konkreten Projekten arbeiten.

Eine weitere wichtige Aufgabe von ELSA ist der Wissenstransfer, welcher durch die Durchführung von und Teilnahme an Workshops und Konferenzen gelingt, und durch gezielte Nachwuchsbildung. Zudem arbeitet ELSA mit dem MLSec-Labor zusammen, eine Forschungsabteilung des Pattern Recognition and Applications Lab an der Universität Cagliari, Italien, das eine Reihe von Seminaren zum Thema Sicherheit beim maschinellen Lernen anbietet.

Darüber hinaus greift ELSA aktuelle Themen zentraler Wichtigkeit der sicheren KI auf. Beispielsweise hat das Konsortium Pionierarbeit im Bereich Foundation Models und Large Language Models (LLMs) sowie Chatbots geleistet. Dazu zählen eine Taxonomie von Angriffen auf anwendungsintegrierte LLMs/Chatbots. Dies wurden von internationalen Organisationen aufgenommen und im ELSA-Netzwerk geteilt. Aktuelle Arbeiten beschäftigen sich mit der Behebung dieser Probleme, aber auch Gegenmaßnahmen bei Halluzinationen in solchen Modellen oder Problemen mit Deep Fakes und Misinformation der generativen KI.

Hintergrund und Ausblick

ELSA baut auf dem bestehenden und international anerkannten Exzellenznetzwerk ELLIS (European Laboratory for Learning and Intelligent Systems) auf und erweitert es. Im weiteren Projektverlauf wird ELSA weitere Partner ins Netzwerk aufnehmen. Zudem hat das Exzellenznetzwerk im September 2024 einen zweiten „Open Call“ zur Förderung weiterer Startups veröffentlicht.

Der Projektkoordinator

Nach seinem Informatikstudium an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg und Promotion an der Technische Universität Darmstadt arbeitete Prof. Dr. Mario Fritz zunächst als Postdoc am International Computer Science Institute (ICSI) und der University of California in Berkeley (USA). Im Anschluss

leitete er eine Forschungsgruppe am Max-Planck-Institut für Informatik und ist heute leitender Wissenschaftler am CISPA Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit, Honorarprofessor an der Universität des Saarlandes und ELLIS-Fellow. Seine Forschung konzentriert sich auf vertrauenswürdige künstliche Intelligenz, insbesondere an der Schnittstelle von Informationssicherheit und maschinellem Lernen.

Die Gründungsmitglieder

Gegründet wurde ELSA von 26 Partnerinstitutionen aus acht europäischen Ländern, darunter 13 Hochschulen, sieben Forschungseinrichtungen und sechs Partnern aus der Privatwirtschaft. Aus Deutschland sind neben dem koordinierenden CISPA Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit noch das European Molecular Biology Laboratory und das Max-Planck-Institut für Informatik beteiligt.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|--|
| Akronym | ELSA |
| Titel | European Lighthouse on Secure and Safe AI |
| Projektlaufzeit | Sep. 2022 bis Aug. 2025 |
| Gesamtkosten | 10.029.845 € |
| EU-Förderbeitrag | 7.434.059 € |
| Koordinierende Organisation | CISPA – Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit gGmbH |
| Projekt-Nr. | 101070617 |
| Programmbe- reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 6, Topic HORIZON-CL4-2021-HUMAN-01-03 “European Network of AI Excellence Centres: Pillars of the European AI lighthouse (RIA)” |
| URL | https://www.elsa-ai.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070617 |
| Kontakt | CISPA – Helmholtz-Zentrum für Informationssicherheit gGmbH Prof. Dr. Mario Fritz fritz@cispa.de |

„Success Story“ ENEXA – Vom EU-Projekt zu erklärbarer KI



Effizientes erklärbares Lernen auf Wissensgraphen

Erklärbare Künstliche Intelligenz (KI) ist entscheidend, um die Entscheidungsprozesse von KI-Systemen für Anwender transparent und nachvollziehbar zu gestalten und ethische Prinzipien umzusetzen. Das EU-Projekt ENEXA entwickelt aus diesem Grund neuartige maschinelle Lernverfahren für Wissensgraphen mit besonderem Fokus auf Erklärbarkeit und Skalierbarkeit.

Die Erfolgsgeschichte

Künstliche Intelligenz (KI) umfasst Systeme, die mit Hilfe von Algorithmen und großen Datenmengen eigenständig Aufgaben erledigen und Entscheidungen treffen können. In einer digitalisierten Welt sind KI-gestützte Systeme allgegenwärtig und ihre Entscheidungen beeinflussen zunehmend das Leben der Menschen. Um KI-Prozesse nachvollziehbar zu gestalten, ist die Erklärbarkeit von KI entscheidend. Erklärbarkeit bezeichnet das Maß an Transparenz, mit dem die Entscheidungsprozesse einer KI nachvollzogen werden können. Erklärbare KI fördert Sicherheit, Vertrauen und trägt zur Akzeptanz von KI in der Gesellschaft bei.

Wissensgraphen bezeichnen eine Familie von Modellen, die Informationen als Knoten und typisierte Kanten speichern und dadurch die Beziehungen zwischen Datenpunkten sichtbar machen. Sie tragen zur Erklärbarkeit bei, weil sie Wissen strukturiert und vernetzt abbilden, was das Nachvollziehen von Entscheidungsprozessen erleichtert. Komplexe Informationen werden so dargestellt, dass KI-Systemen ermöglicht wird, für Menschen nachvollziehbare Entscheidungen zu treffen.

Wissensgraphen verbessern auch die Effizienz des Lernprozesses von KI-Modellen. Sie liefern zusätzlichen Kontext und erleichtern das schnelle Auffinden relevanter Informationen, was zu präziseren Vorhersagen und einer schnelleren Lernkurve führt. Insgesamt ermöglichen Wissensgraphen KI-Systemen, große Datenmengen effektiv zu verarbeiten und zu nutzen, was ihre Leistungsfähigkeit und ihre Fähigkeit zur Problemlösung erheblich steigert.

„Fast jedes europäische Unternehmen nutzt eine Datenbank zur Datenverwaltung. Die im ENEXA-Projekt entwickelte Graphdatenbank ist bis zu 1000x schneller als vergleichbare Lösungen und verbraucht folglich signifikant weniger Energie.“
Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo,
Universität Paderborn

Einige der existierenden Ansätze des maschinellen Lernens für Wissensgraphen bieten bereits Gewährleistungen hinsichtlich ihrer Vollständigkeit und Korrektheit. Allerdings sind sie aufgrund der Größe, Unvollständigkeit und Inkonsistenz von Wissensgraphen in realen Anwendungsfällen oft nicht praktikabel oder nicht einsetzbar.

Das EU-Projekt ENEXA baut auf neuen und vielversprechenden Ergebnissen in den Bereichen Wissensrepräsentation und maschinelles Lernen auf, um skalierbare, transparente und erklärbare maschinelle Lernalgorithmen für den Einsatz mit Wissensgraphen zu entwickeln. Das Konsortium von ENEXA entwickelt dazu neuartige und hochgradig skalierbare maschinelle Lernverfahren für Wissensgraphen, in deren Fokus die Erklärbarkeit der erarbeiteten Ansätze sowie deren Skalierbarkeit steht.

Die Kerninnovation des Projekts ist die parallele Nutzung multipler Repräsentationen von Wissensgraphen während des Lernprozesses.

Die bereits entwickelten neuartigen Verfahren für die Speicherung von Wissensgraphen und die entwickelte Datenbank Tentriss ist durch ihre neuartige Datenstruktur um Größenordnungen schneller als der aktuelle Stand der Technik. Dadurch ermöglicht sie erstmalig den Einsatz von erklärbarem maschinellem Lernen auf großskaligen Graphen mit Milliarden von Knoten und Kanten.

Ein weiterer innovativer Aspekt von ENEXA liegt in seinem Ansatz zur Erklärbarkeit. Der Schwerpunkt liegt dabei auf der Entwicklung von menschenzentrierten Erklärungsmethoden auf der Grundlage der Ko-Konstruktion, bei der Menschen und Maschinen ein Gespräch beginnen, um gemeinsam für den Menschen verständliche Erklärungen zu erstellen. Um die vorgeschlagenen Ansätze zu validieren, untersuchen die Projektpartner drei Anwendungsfälle: Geschäftssoftware-dienste, Geoinformationsdienste und daten-gesteuerte Markenkommunikation. Angesichts ihrer erwarteten Wachstumsraten werden diese Sektoren eine wichtige Rolle in den zukünftigen europäischen Datenwertschöpfungsketten spielen.

Hintergrund und Ausblick

Das ENEXA-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt. Im weiteren Verlauf des Projektes steht die Entwicklung weiterer Verfahren und die weitere Verbesserung der Skalierbarkeit der erarbeiteten Lösungen im Fokus.

Der Projektkoordinator

Prof. Dr. Ngonga studierte Informatik und Physik an der Universität Leipzig. Nach seiner Promotion und Habilitation leitete er die Agile Knowledge Engineering and Semantic Web-Gruppe an der Universität Leipzig, wo er zu verschiedenen Themen im Zusammen-

hang mit dem Lebenszyklus von Wissensgraphen forschte. Seit 2017 ist er Professor für Data Science an der Universität Paderborn, wo er auch Direktor des Joint Artificial Intelligence Institute und der Rechenbetriebe ist. Prof. Ngonga ist derzeit in über 15 nationalen und internationalen Forschungsprojekten engagiert und Koordinator von zwei internationalen Trainingsnetzwerken.

Das Konsortium

Das Projektkonsortium besteht aus sechs Partnern aus Deutschland, Griechenland, den Niederlanden, Österreich und Spanien. Aus Deutschland ist neben der koordinierenden Universität Paderborn zudem die DATEV eG Partner, ein Softwarehaus und IT-Dienstleister für Steuerberater, Wirtschaftsprüfer und Rechtsanwälte.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|---|
| Akronym | ENEXA |
| Titel | Efficient Explainable Learning on Knowledge Graphs |
| Projektlaufzeit | Okt. 2022 bis Sep. 2025 |
| Gesamtkosten | 3.991.270 € |
| EU-Förderbeitrag | 3.991.270 € |
| Koordinierende Organisation | Universität Paderborn |
| Projekt-Nr. | 101070305 |
| Programmbereich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 6, Topic HORIZON-CL4-2021-HUMAN-01-01 "Verifiable robustness, energy efficiency and transparency for Trustworthy AI: Scientific excellence boosting industrial competitiveness (AI, Data and Robotics Partnership) (RIA)" |
| URL | https://enexa.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070305 |
| Kontakt | Universität Paderborn (Department of Computer Science, Data Science Group) Prof. Dr. Axel-Cyrille Ngonga Ngomo axel.ngonga@upb.de |

„Success Story“ FAIRWork – Vom EU-Projekt zu KI-Unterstützungssystemen



Flexibilisierung komplexer Ökosysteme durch demokratische KI-basierte Entscheidungsunterstützungs- und Empfehlungssysteme am Arbeitsplatz

Ein hybrides Entscheidungsfindungsmodell nutzt sowohl maschinen- als auch menschenzentrierte Elemente. Es kann jedoch eine Herausforderung sein, Menschen und Maschinen zusammenzubringen. Das EU-Projekt FAIRWork entwickelt ein System zur Entscheidungsunterstützung mit dem Arbeiterinnen / Arbeiter und Maschinen an der Entscheidungsfindung teilnehmen können.

Die Erfolgsgeschichte

Digitalen Technologien, darunter etwa Multi-Agenten-Systemen zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen wird großes demokratisierendes Potenzial auch im Kontext von Unternehmen zugetraut. Jedoch stellen sich eine Vielzahl von relevanten konzeptionellen wie praktischen Fragen an diese Form von Demokratisierung.

Das EU-Projekt FAIRWork konzentriert sich auf die Förderung der Demokratisierung von Entscheidungsprozessen in der industriellen Produktion durch die Entwicklung eines innovativen, KI-basierten Entscheidungsunterstützungssystems (DAI-DSS). Dieses System ermöglicht es, dass sowohl menschliche Mitarbeiter als auch Maschinen durch Agenten repräsentiert werden, die auf der Grundlage des aktuellen Prozesszustands verhandeln können. Dadurch wird eine partizipative und gerechte Entscheidungsfindung angestrebt, bei der alle relevanten Akteure berücksichtigt werden.

Das Konsortium untersucht in ausgewählten Unternehmen sogenannte sozio-technische Arrangements, die digitale Technologien zur Entscheidungsunterstützung einbeziehen. Diese Untersuchungen sind besonders

relevant im Kontext wirtschaftlicher Organisationen, wo die Demokratisierung von Entscheidungsprozessen durch den Einsatz von KI-Tools auf besondere Herausforderungen stößt. Das Projekt legt dabei besonderen Wert darauf, grundlegende Ansprüche an die Demokratisierung, wie Fairness, Transparenz, Partizipation und Repräsentation, zu analysieren. Diese Kriterien sind entscheidend, um den komplexen Anforderungen in Produktionsprozessen gerecht zu werden.

„FAIRWork rückt europäische Ziele in den Mittelpunkt. Es geht um eine industrielle Entwicklung, die zugleich den Ansprüchen der demokratischen Entwicklung in Europa gerecht wird.“
Noushin Gheibi,
RWTH Aachen

Ein zentraler Aspekt des Projekts ist die Frage nach der Repräsentation in diesen Entscheidungsprozessen. Das Konsortium hat hierfür ein Modell von Repräsentationsordnungen entwickelt, das die Analyse der sozio-technischen Arrangements erleichtert und die Reflexion des Demokratisierungspotenzials digitaler Tools in Unternehmen ermöglicht.

Um die Erkenntnisse praktisch umzusetzen, erforscht das Projekt verschiedene Modelle für Fertigungsprozesse, die eine Integration der Transparenzanforderungen in die KI-Systeme ermöglichen. Es wurden bereits zahlreiche industrielle Anwendungsszenarien und Entscheidungsmodelle analysiert und erste Lösungen entwickelt, wie etwa die Ressourcenallokation durch den Einsatz linearer Summenzuordnungslöser und neuronaler Netze. Ein besonderes Augenmerk lag auf der Analyse von Reinforcement Learning-

Methoden für die Optimierung industrieller Planungsprozesse. Hier zeigte sich, dass eine Belohnungsfunktion, die auf der Maschinenauslastung basiert, besonders effektiv zur Minimierung der Durchlaufzeit (Make-Span) in komplexen Produktionsprozessen ist.

Ein weiteres Ergebnis des Projekts ist die Identifizierung einer Klassifizierungslücke in bestehenden Entscheidungsunterstützungssystemen. Um diese Lücke zu schließen, wurde eine strukturierte Kategorisierung dieser Systeme in vier Hauptklassen vorgenommen: regelbasiert, optimierungsbasiert, simulationsbasiert und lernbasiert. Diese Klassifizierung dient nicht nur der Verbesserung der Methoden zur Empfehlungsgenerierung, sondern berücksichtigt auch die spezifischen Anforderungen der Endnutzer.

Insgesamt trägt das Projekt entscheidend dazu bei, das Potenzial von KI und digitalen Technologien zur Unterstützung demokratischer Entscheidungsprozesse in Unternehmen zu reflektieren und auch zu heben. Es zeigt auf, wie durch transparente, faire und partizipative KI-Systeme eine zukunftsweisende Demokratisierung in der industriellen Produktion realisiert werden kann.

Hintergrund und Ausblick

Das FAIRWork-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt. Im weiteren Verlauf des Projektes werden die technischen Lösungen sowie die menschenzentrierten und demokratischen Aspekte in das im Rahmen des FAIRWork-Projekts entwickelte demokratische KI-basierte Entscheidungsunterstützungssystem integriert.

Die Projektmitarbeiterinnen

Die FAIRWork Projektleiterinnen der RWTH Aachen sind Noushin Gheibi (Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Human Technology Center der RWTH Aachen), Sylwia Olbrych (Wissenschaftliche Mitarbeiterin am Lehrstuhl für Informations-, Qualitäts- und Sensorsysteme (IQS) des Werkzeugmaschinenlabors

WZL der RWTH Aachen) und Johanna Werz (Gruppenleiterin am WZL-IQS mit ihrem Team Human Technology Interaction).

Das Konsortium

Das Projekt wird von der österreichischen BOC Products & Services AG koordiniert. Zu dem aus neun Partnern bestehenden Konsortium gehören neben zwei weiteren Partnern aus Österreich und zwei Partnern aus Deutschland noch Partner aus Italien, Norwegen, Portugal und Rumänien. Aus Deutschland beteiligt sich neben der RWTH Aachen noch das Open Models Initiative LABoratory – OMiLAB gGmbH. Die RWTH Aachen ist Projektpartner mit der höchsten Fördersumme und wird durch zwei Institute vertreten.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|---|
| Akronym | FAIRWork |
| Titel | Flexibilization of complex Ecosystems using Democratic AI based Decision Support and Recommendation Systems at Work |
| Projektlaufzeit | Sep. 2022 bis Aug. 2025 |
| Gesamtkosten | 3.496.388 € |
| EU-Förderbeitrag | 2.979.375 € |
| Koordinierende Organisation | BOC Products & Services AG, Österreich |
| Projekt-Nr. | 101069499 |
| Programmbe-reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 4, Topic HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-10 "AI, Data and Robotics at work (AI, Data and Robotics Partnership) (IA)" |
| URL | https://fairwork-project.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101069499 |
| Kontakt | Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen (Human Technology Center) Noushin Gheibi noushin.gheibi@humtec.rwth-aachen.de |

„Success Story“ HyperSpace – Vom EU-Projekt zur sicheren Quantenkommunikation



HYPER-Verschränkung im Raum

Die Quantenverschränkung gilt heute als Schlüsselressource für modernste Anwendungen in der Informationsverarbeitung und Datensicherheit. Die Vision von HyperSpace ist es, ein globales, satellitenbasiertes Quantenkommunikationsnetzwerk zu spannen. Dazu werden eine Machbarkeitsstudie durchgeführt und Fehlbedarfe in Hard- und Software identifiziert und adressiert.

Die Erfolgsgeschichte

Die Quantenverschränkung – die Fähigkeit getrennter Objekte, einen Zustand gemeinsam zu nutzen – gilt heute als Schlüsselressource für modernste Anwendungen in der Informationsverarbeitung und Datensicherheit. Durch Quantenverschränkung bleiben verschränkte Photonen über beliebige Distanzen miteinander verbunden und teilen ihre physikalischen Eigenschaften. Sobald man eine Eigenschaft an einem der beiden Lichtteilchen misst, ist zwingend auch die entsprechende Eigenschaft des zweiten Teilchens damit identisch. Es lässt sich somit also an zwei Orten zeitgleich exakt dieselbe Information erzeugen.

In den letzten Jahrzehnten haben Physikerinnen und Physiker den Effekt über immer größere Entfernungen nachgewiesen, sogar von der Erde bis zu Satelliten im Weltraum. Dadurch ermöglicht dieses Quantenphänomen Kommunikation über weite Strecken, was in der Zukunft zur Entwicklung eines Quanteninternets führen könnte. Dieses wird deutlich verbesserte, bisher undenkbbare Anwendungen ermöglichen, wie z. B. die präzisere Synchronisierung von Uhren, hocheffizientes Cloud-Computing und maßgeblich auch die hochsichere Datenübertragung

mittels Quantenkryptografie. Im Gegensatz zu herkömmlichen kryptographischen Verfahren, die Sicherheit durch den Rechenaufwand bei der Entschlüsselung bieten, beruht die Sicherheit der Quantenkryptographie auf physikalischen Prinzipien. Die Gesetze der Quantenphysik garantieren dabei, dass niemand diese Information abhören kann. Diese Erzeugung und Verteilung abhörsicherer Schlüssel zur Ver- und Entschlüsselung von Informationen wird als „Quantum Key Distribution“ (QKD; dt.: Quantenschlüsselaustausch) bezeichnet.

Das übergreifende Ziel des EU-Projekts HyperSpace ist es, die satellitengestützte Quantenkommunikation durch geeignete Experimente zu skalierbaren globalen Quantennetzen weiterzuentwickeln und ein globales satellitenbasiertes Quantenkommunikationsnetzwerk zu spannen.

„Sichere internationale Kommunikation ist von hohem politischem Interesse. Durch HyperSpace wird die Expertise im Bereich der Quantentechnologien weiter ausgebaut, wodurch die Wettbewerbsfähigkeit und die europäische Resilienz gestärkt werden.“

Dr. Karin Burger

Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Zu diesem Zweck umfasst HyperSpace Forschung und Innovation entlang der gesamten Prozesskette der photonischen Quantenkommunikation: von rauschresistenter Zustandskodierung, vollständig in Fasern eingebetteten und photonisch integrierten Quantenlichtquellen und freiraumkompatiblen Zustandsanalytoren bis hin zur Implementierung fortschrittlicher Protokolle, die durch die Nutzung der Verschränkung in mehreren

Freiheitsgraden (die sogenannte Hyperverschränkung) erleichtert oder sogar erst ermöglicht werden.

Neben der Durchführung einer Machbarkeitsstudie identifiziert HyperSpace Fehlbedarfe in Hard- und Software und adressiert diese. Konkret wurden hochperformante Photonenpaarquellen entwickelt, sowohl on-chip als auch faserbasiert unter Ausnutzung verschiedener Freiheitsgrade der Lichtteilchen für die zukünftige Anwendung im Weltraum. Zur Durchführung von Experimenten mit hochdimensionaler Verschränkung wurden geeignete Protokolle entwickelt und im Feld getestet. Außerdem konnte für den Freiheitsgrad der Frequenz eine Rekordzertifizierung für diskretisierte Frequenzverschränkung erreicht werden.

Mit HyperSpace wird die Forschung im Bereich der Quantenkommunikation auf eine neue Ebene gehoben und technologische Herausforderungen adressiert, deren Ergebnisse Informationsverarbeitung und Datensicherheit neue Dimensionen eröffnen.

Hintergrund und Ausblick

Das HyperSpace-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt und wird unter der wissenschaftlichen Leitung von Prof. Steinlechner (Fraunhofer IOF) umgesetzt. Auf Basis komplexer Simulationen in der bisherigen Projektlaufzeit von HyperSpace wurden spezifische Missionsszenarien identifiziert, für welche nun in der zweiten Projekthälfte ein konkretes Missionskonzept ausgearbeitet wird. Auf Basis des Missionskonzepts und der identifizierten Fehlbedarfe strebt das Konsortium nach erfolgreichem Abschluss des Projektes eine weitere gemeinsame Zusammenarbeit an, welches die Vision von HyperSpace weiterverfolgt.

Die Projektkoordinatorin

Dr. Karin Burger studierte Physik in einem trinationalen Bachelorstudiengang an der deutsch-luxemburgisch-französischen Grenze und promovierte nach ihrem Masterstudium an der Technischen Universität München. Im

Anschluss arbeitete sie zunächst als Postdoc an der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin. Seitdem ist sie am Fraunhofer IOF als wissenschaftliche Referentin in der Abteilung Zukunftstechnologien von Prof. Steinlechner tätig, wo sie insbesondere wissenschaftliche Projekte im Bereich Quantentechnologien koordiniert.

Das Konsortium

Das Konsortium besteht aus sechs Hochschulen, zwei Forschungsorganisationen und einem Unternehmen aus Deutschland, Frankreich, Italien (zwei Partner), Malta, Österreich und Kanada (drei Partner). Letztere werden durch das Natural Sciences and Engineering Research Council of Canada (NSERC), Kanadas föderale Förderorganisation für universitäre Forschung und Studentenausbildung in den Natur- und Ingenieurwissenschaften, finanziert.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|--|
| Akronym | HyperSpace |
| Titel | HYPER entanglement in SPACE |
| Projektlaufzeit | Okt. 2022 bis Sep. 2025 |
| Gesamtkosten | 2,8 Mio. € (inkl. Partner Kanada) |
| EU-Förderbeitrag | 1.941.172 € |
| Koordinierende Organisation | Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. |
| Projekt-Nr. | 101070168 |
| Programmbe- reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 4, Topic HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-23 "International cooperation with Canada (RIA)" |
| URL | https://hyperspace.international |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070168 |
| Kontakt | Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e.V. (Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF) Dr. Karin Burger karin.burger@iof.fraunhofer.de |

„Success Story“ NIMFEIA – Vom EU-Projekt zu neuromorphen Chips



Nichtlineare Magnonen für Künstliche Intelligenz

Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) hat einen großen und zunehmenden Anteil an den weltweiten globalen Treibhausgasemissionen. Das EU-Projekt NIMFEIA entwickelt einen Prototyp für die industrielle Fertigung neuromorpher Chips, die nur einen Bruchteil der Energie klassischer Chips verbrauchen und leistet so einen Beitrag zur Einhaltung der sektoralen Klimaziele, die für die IKT vorgegeben werden.

Die Erfolgsgeschichte

Zunehmender Datenverkehr, eine wachsende Nachfrage nach Cloud-Rechenzentren, das Internet-of-Things und zuletzt zunehmend das Training und der Betrieb generativer KI-Systeme lassen den Energieverbrauch von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) stetig steigen. Studien schätzen den Anteil der IKT an den globalen Treibhausgasemissionen auf 1,8 % bis 3,9 % (die breite Spanne bedingt sich durch unterschiedliche Annahmen, die den Studien zu Grunde liegen).⁵ Um den Fußabdruck des IKT-Sektors mit dem Pariser Abkommen in Einklang zu bringen, ist eine Reduktion des Energieverbrauchs unumgänglich.

Neuromorphe Chips, die selbstlernend Muster erkennen und das mit einem Bruchteil der Energie, die herkömmliche Systeme dafür benötigen, sollen einen wesentlichen Beitrag dazu leisten. Die Bezeichnung „neuromorph“ bezieht sich dabei auf die Prozesse, die denen im Gehirn ähneln. Anders als klassische von-Neumann Computer verarbeiten

neuromorphe Computer Informationen anhand neuronaler Netze. Diese simulieren die Funktionsweise von Neuronen und Synapsen, um Muster in großen Datenströmen energieeffizient und schnell zu erkennen. Für die bahnbrechenden Entdeckungen, die maschinelles Lernen mit künstlichen neuronalen Netzwerken ermöglichen, wurden John Hopfield und Geoffrey Hinton 2024 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet.

Das EU-Projekt NIMFEIA geht mit dem revolutionären Ansatz einer neuromorphen Logik, die IKT ohne verlustbehafteten Ladungstransport im Raum ermöglicht, einen neuen und noch nicht verfolgten Weg zur Entwicklung solcher Chips. NIMFEIA nutzt mikrometerkleine magnetische Scheiben, in denen magnetische Wellen erzeugt werden. Durch die nichtlineare Wechselwirkung verschiedener magnetischer Wellen lassen sich Informationen innerhalb der Scheibe extrem effizient verarbeiten.

„KI transformiert zwar schon jetzt in vielen Bereichen Arbeitsabläufe in der Industrie und Verwaltung, aber immer noch unter energetisch riesigem Aufwand. Zum Erreichen einer nachhaltigen KI, die auch mit unseren Vorstellungen von Klimaschutz kompatibel sind, braucht es zur konventionellen, binären Datenverarbeitung alternative Konzepte, die dennoch mit den Prozessen der Chip-Industrie kompatibel sind.“
Dr. Katrin Schultheiß,
Helmholtz-Zentrum Dresden-Rossendorf e. V.

Anspruch des NIMFEIA Konsortiums ist die Entwicklung einer Hardware für die bisher

⁵ "The real climate and transformative impact of ICT: A critique of estimates, trends, and regulations" (Charlotte Freitag, Mike Berners-Lee, Kelly Widdicks, Bran

besonders energieintensive KI, die mit den gängigen Prozessen und Materialien der Chip-Industrie voll kompatibel ist.

Da die neuartigen Technologien nicht nur sehr klein, sondern auch äußerst energieeffizient sind, können sie direkt an den Sensoren arbeiten. Das nennt sich Edge Computing und hilft überall dort, wo die Übertragung großer Datenmengen schwierig oder teuer ist. Mit dem neuartigen Ansatz leistet NIMFEIA seinen Beitrag zur Einhaltung der sektorweiten Klimaziele der IKT damit nicht nur durch energieeffiziente Chips und Sensoren sondern auch durch die indirekte Einsparung von Energie und Ressourcen. So könnten beispielsweise neuromorphe Sensoren in den Antriebswellen von Windrädern nach Schwingungsmustern suchen, die auf einen Lager Schaden hinweisen. Dadurch wäre die Wartung möglich, bevor das Lager überhaupt ausfällt.

Hintergrund und Ausblick

Das NIMFEIA-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt. Aktuelles Ziel von NIMFEIA ist die Validierung eines Prototyps zur neuromorphen Mustererkennung mit den Prozessen, die von den Industriepartnern zur Verfügung gestellt werden. Im Fortgang des Projekts wird demonstriert werden, dass der Labor-Prototyp auf 300mm Wafern mit industriellen Prozessen in Masse gefertigt werden kann. Nach dieser Validierung steht eine Fokussierung der Anwendungsfelder an, die in einem Folgeprojekt mit Chip-Entwicklern durchgeführt werden soll.

Die Projektkoordinatorin

Dr. Katrin Schultheiß hat an der Technischen Universität Kaiserslautern Physik studiert und dort 2013 nach einem einjährigen Forschungsaufenthalt am Argonne National Laboratory in Chicago, USA, promoviert. Direkt im Anschluss trat sie eine Postdoc-Stelle am Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V. (HZDR) an, gefördert durch ein 3-Jahres-Stipendium der Helmholtz-Gemeinschaft.

2021 wurde sie für ihre Arbeiten zum Thema Neuromorphes Computing mit Spinwellen mit dem Forschungspreis des HZDR ausgezeichnet. Seit Ende 2022 koordiniert Dr. Katrin Schultheiß das EU Konsortium NIMFEIA.

Das Konsortium

Das Konsortium setzt sich aus acht Partnern aus Deutschland, Frankreich, den Niederlanden und Portugal zusammen. Neben drei Forschungseinrichtungen und drei Hochschulen beteiligen sich auch zwei Unternehmen aus der Privatwirtschaft. Neben dem koordinierenden Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V. beteiligen sich aus Deutschland zudem Infineon Technologies Dresden GmbH & Co. KG, GlobalFoundries Dresden Module One LLC & Co. KG und die Johannes Gutenberg-Universität Mainz.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|---|
| Akronym | NIMFEIA |
| Titel | Nonlinear Magnons for Reservoir Computing in Reciprocal Space |
| Projektlaufzeit | Okt. 2022 bis Sep. 2026 |
| Gesamtkosten | 3.421.000 € |
| EU-Förderbeitrag | 3.421.000 € |
| Koordinierende Organisation | Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V. |
| Projekt-Nr. | 101070290 |
| Programmbe- reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 4, Topic HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-14 "Advanced spintronics: Unleashing spin in the next generation ICs (RIA)" |
| URL | https://www.nimfeia.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070290 |
| Kontakt | Helmholtz-Zentrum Dresden - Rossendorf e. V. (Institut für Ionenstrahlphysik und Materialforschung) Dr. Katrin Schultheiß k.schultheiss@hzdr.de |

„Success Story“ OpenWebSearch.EU – Vom EU-Projekt zur EU-Suchmaschine



Pilotprojekt einer kooperativen offenen Websuchinfrastruktur zur Unterstützung der digitalen Souveränität Europas

Innovation und Wirtschaftswachstum in Europa hängen zunehmend von der digitalen Souveränität und dem direkten Zugang zu offenen Daten ab. Das EU-Projekt OpenWebSearch.EU entwickelt einen europäischen Open Web Index (OWI) als Grundlage für eine unabhängige Websuche in Europa. Der Webindex stellt Transparenz und Offenheit sicher und vermeidet Verzerrungen durch kommerzielle Interessen.

Die Erfolgsgeschichte

Die digitale Welt nimmt zunehmend mehr Raum im persönlichen, gesellschaftlichen und wirtschaftlichen Kontext ein. Insbesondere der Zugang zu Wissen erfolgt mehr und mehr über digitale Medien – über Suchmaschinen und inzwischen auch über an das Internet gekoppelte KI-Chatbots. Das Problem: Global dominieren nur vier Suchmaschinenanbieter aus den USA, Russland und China den Markt und wirken als Gatekeeper. In Europa gibt es bislang keinen unabhängigen Dienst. Zwar gibt es wenige in Europa beheimatete „alternative Suchmaschinen“, jedoch bauen diese auf den Webindexen der genannten Gatekeeper auf und stehen somit in einem Abhängigkeitsverhältnis zu den globalen Anbietern.

Ein Webindex ist ein strukturiertes Verzeichnis des World Wide Webs. Sogenannte „Crawler“ durchsuchen das Internet mehrmals täglich nach neuen und bestehenden Webseiten, lesen Inhalte aus, verschlagworten und sortieren bzw. kategorisieren sie. Auf diesen Inhalten bauen Suchmaschinen und ihre – meist intransparenten kommerziell ausgerichteten – Algorithmen auf. Darüber hinaus bilden die Daten in einem solchen Webindex einen

äußerst wertvollen Datenschatz für Forschung, Entwicklung und Webanalyse.

Im Zentrum des EU-Projekts OpenWebSearch.eu steht die Entwicklung und Erprobung eines europäischen, offenen Webindex. Dieser soll als Basis für künftige Suchmaschinen und KI-Anwendungen die digitale Souveränität Europas fördern.

„Unsere Mission ist es, einen Beitrag zu einem fairen, offenen, vielfältigen und freien Web zu leisten. Wir stärken die europäische Wirtschaft und Gesellschaft und machen sie unabhängiger von globalen digitalen Akteuren, indem wir einen transparenten und offenen Zugang zu Webdaten ermöglichen – für unabhängige Suchmaschinen ebenso wie für die Analyse von Webdaten und den Einsatz von KI. Zudem verankern wir europäische Werte, indem wir ethische und gesellschaftliche Aspekte erforschen.“

*Prof. Dr. Michael Granitzer,
Universität Passau*

Das ambitionierte Vorhaben wirft vielerlei rechtliche und ethische Fragestellungen auf. Daher wurden von Anfang an gesellschaftliche und ethische Fragen sowie rechtliche Aspekte wie „Schutz der Privatsphäre“, „Datensicherheit“ und „Urheberrechte“ mitgedacht und im Projekt und durch angeschlossene Arbeitsgruppen und Projekte der Community konzeptionell erschlossen. Im Zuge von Drittpartner-Ausschreibungen („Open Calls“) wurden unter anderem Orientierungspunkte für die rechtlichen Rahmenbedingungen eines operativen offenen Webindex definiert und Studien zur Wirtschaftlichkeitsprüfung durchgeführt. Diese zeigt das enorme direkte und indirekte ökonomische und gesellschaftliche Potenzial eines europäischen Webindex auf.

Der Index wird aktuell über eine Infrastruktur von vier europäischen Supercomputing-Zentren gehostet und zukunfts offen modelliert, so dass neue zukunftssträchtige Technologien wie KI-Anwendungen berücksichtigt werden können. Denkbar ist beispielsweise das Aufsetzen verschiedener Arten von Suchmaschinen, z. B. vertikale Suchmaschinen, die sich auf spezielle Themen konzentrieren, oder eine „Argument-Suche“, die Vor- und Nachteile für bestimmte Suchanfragen liefern kann.

Der Index-Prototyp OWI (Open Web Index) hat bis dato 1,2 Milliarden URLs in 185 Sprachen „gecrawlt“ und umfasst 330 Tebibit.⁶

Die kollaborative, dezentrale und interdisziplinäre, europäische Herangehensweise leistet einen großen Beitrag zu einem fairen, offenen, vielfältigen und freien Web.

Hintergrund und Ausblick

Das OpenWebSearch.EU-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt. Im weiteren Projektverlauf steht die Erarbeitung ethischer Vorgaben für die Kuratierung und Etablierung sowie Finanzierung der Hosting-Infrastruktur sowie die Datenaufbereitung für die Nutzung von KI-getriebener Websuche im Fokus. Zudem wird eine weitere Skalierung des Index angestrebt, mit dem Ziel, einen relevanten Teil des Webs abzudecken und die Daten in Anwendungsszenarien für Websuche, KI, Webdaten-Analyse nutzbar zu machen.

Der Projektkoordinator

Prof. Dr. Michael Granitzer studierte Telematik an der Technischen Universität Graz und promovierte anschließend in den technischen Wissenschaften. Parallel arbeitete er als F&E-Projektleiter und später als Bereichsleiter für Knowledge Discovery am Know-Center Graz, wo er Projekte zur automatischen Textklassifikation, zum Text Retrieval und zur

Dokumenten-Visualisierung durchführte und leitete. Nach seiner Habilitation nahm er 2012 die Professur für Medieninformatik an der Universität Passau an und ist dort seit 2017 Inhaber des Lehrstuhls für Data Science.

Das Konsortium

Das von der Universität Passau koordinierte Projektkonsortium umfasst 14 Partner aus sieben europäischen Ländern. Neben sieben Partnern aus Deutschland und zwei Partnern aus den Niederlanden sind Partner aus Finnland, Österreich, Schweiz, Slowenien und Tschechien vertreten. Neben sechs Hochschulen, vier Forschungseinrichtungen und zwei Unternehmen beteiligen sich zudem zwei Vereine, die sich für eine offene und freie Internetsuche und Informationsgesellschaft einsetzen.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|---|
| Akronym | OpenWebSearch.EU |
| Titel | Piloting a Cooperative Open Web Search Infrastructure to Support Europe's Digital Sovereignty |
| Projektlaufzeit | Sep. 2022 bis Aug. 2025 |
| Gesamtkosten | 8.502.622 € |
| EU-Förderbeitrag | 8.502.622 € |
| Koordinierende Organisation | Universität Passau |
| Projekt-Nr. | 101070014 |
| Programmbe-reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 6, Topic HORIZON-CL4-2021-HUMAN-01-05 "Trustworthy open search and discovery (RIA)" |
| URL | https://openwebsearch.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070014 |
| Kontakt | Universität Passau (Institut Data Science) Prof. Dr. Michael Granitzer michael.granitzer@uni-passau.de |

⁶ 1 Tebibit entspricht 2⁴⁰ Bits oder 1.099.511.627.776 Bits, was ungefähr der Datenmenge von 143.000 Fotos entspricht.

„Success Story“ UNICORN – Vom EU-Projekt zur Elektronik-Kreislaufwirtschaft



Freilegung von Innovationspotenzial zirkulärer Ansätze in der Automobilelektronik und darüber hinaus

Die Förderung von Kreislaufwirtschaftsprozessen ist ein zentrales Ziel der EU, um Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen und den Verlust der biologischen Vielfalt aufzuhalten. Das EU-geförderte Forschungsprojekt UNICORN leistet hier seinen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft durch neue Industriedesigns für Systeme der Automobilelektronik und als Treiber für innovative Lösungen in der nachhaltigen Elektronik.

Die Erfolgsgeschichte

Die Gesamtmenge der von der Weltwirtschaft verbrauchten Materialien steigt stetig an. Allein in den letzten sechs Jahren wurden mehr als eine halbe Billion Tonnen Material verbraucht – fast so viel wie im Verlauf des gesamten 20. Jahrhunderts. Der Anteil der Sekundärrohstoffe lag im Jahr 2018 bei gerade einmal 9,1 % - und ist im Jahr 2023 sogar auf nur 7,2 % gesunken.⁷

Eine der Maßnahmen, um dem stetig steigenden Ressourcenverbrauch zu senken und den Anteil an Sekundärrohstoffen zu erhöhen, ist der im März 2020 veröffentlichte „Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft“ (CEAP) der Europäischen Kommission.⁸ Der CEAP ist einer der wichtigsten Bausteine des European Green Deal, der europäischen Agenda für nachhaltiges Wachstum. Der Übergang der EU zu einer Kreislaufwirtschaft soll den Druck auf die natürlichen Ressourcen verringern und nachhaltiges Wachstum und Arbeitsplätze schaffen. Er ist auch eine

Voraussetzung, um das EU-Ziel der Klimaneutralität bis 2050 zu erreichen und den Verlust der biologischen Vielfalt aufzuhalten.

„UNICORN ermöglicht der Automobilindustrie mit kleinen, gezielten Schritten, eine verstärkte Kreislaufwirtschaft. Die Innovationen des Projekts haben das Potenzial, weitreichende Auswirkungen auf die globale Nachhaltigkeit zu entfalten und maßgeblich zur Bewältigung des Klimawandels sowie zur Erreichung internationaler Nachhaltigkeitsziele beizutragen.“

*Nicolas Gouze,
VDI/VDE Innovation + Technik GmbH*

Eines der zahlreichen EU-Projekte, die einen Beitrag zu der Agenda leisten, ist UNICORN, welches sich auf die Automobilbranche als Anwendungsfall fokussiert, da bei der Forschung und Entwicklung von Fahrzeugelektronik wertvolle Rohstoffe, hochwertige Metalle und seltene Erden eingesetzt werden.

UNICORN verfolgt die Integration fortschrittlicher Funktionalitäten der gedruckten und flexiblen Elektronik sowie eine reduzierte Umweltbelastung durch eine erhöhte Kreislauffähigkeit in vier Bereichen: Dekarbonisierung, Materialrecycling, Nutzungsverbesserung und Lebensdaueroptimierung. Die vier industriellen Anwendungsfälle des Projekts (Batteriegehäuse, Armaturenbrett, Sitz & Tür, Reifen) haben erfolgreich die endgültigen Industriedesigns für Systeme definiert, die sowohl die Anforderungen an fortschrittliche Funktionalitäten als auch an Kreislauffähigkeit erfüllen.

⁷ Circularity Gap Report 2024 der Circularity Gap Reporting Initiative, einer Initiative der Circle Economy Foundation, einer Organisation, die sich für die Beschleunigung des Übergangs zur Kreislaufwirtschaft einsetzt.: <https://www.circularity-gap.world/2024>

⁸ A new Circular Economy Action Plan For a cleaner and more competitive Europe: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=COM:2020:98:FIN>

Der Schwerpunkt lag dabei unter anderem auf dem Ersetzen von Materialien durch umweltfreundlichere Alternativen und der Entwicklung von Prozessen und Systemen, die ein besseres Trennen ermöglichen und das Potenzial für Wiederverwendung, Reparatur und Recycling erhöhen. Darüber hinaus wurden Bemühungen unternommen, fortschrittliche elektronische Funktionalitäten zu entwickeln, die vorbeugende Wartung und Zweitnutzung fördern.

Auf der nicht-technischen Seite hat sich UNICORN als anerkannter Treiber für innovative Lösungen in der nachhaltigen Elektronik etabliert. Darüber hinaus legt der ganzheitliche Ansatz des Projekts eine Grundlage für die Erweiterung des Potenzials der UNICORN-Ergebnisse. Dies eröffnet die Möglichkeit, die Projektergebnisse auch in anderen Sektoren außerhalb der Automobilindustrie anzuwenden und damit deren Reichweite und Wirkung zu vergrößern.

Insgesamt wird UNICORN dazu beitragen, die Zukunft der Elektronik nachhaltiger und umweltfreundlicher zu gestalten und gleichzeitig innovative Ansätze und Technologien zu fördern.

Hintergrund und Ausblick

Das UNICORN-Projekt startete ohne Vorläuferprojekt. Die zukünftige Entwicklung des Projekts UNICORN sieht vor, die entwickelten innovativen Ansätze weiter zu entwickeln und zu erproben, um Elektronik nachhaltiger zu gestalten und das Potenzial der Elektronik zu nutzen, um Fahrzeuge umweltfreundlicher zu machen. Dabei wird ein besonderer Fokus auf die Etablierung von Zirkularität als eines der Hauptkriterien im Produktdesign gelegt, neben Leistung und Kosten-Nutzen-Effizienz.

Der Projektkoordinator

Nicolas Gouze hat an der Universität Paris-Saclay Optronik studiert und dort einen Ingenieurabschluss erworben. Anschließend

absolvierte er ein Studium des Innovationsmanagements an der Universität Valenciennes in Frankreich. Seit 2004 ist Nicolas Gouze bei der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH in Berlin tätig und dort insbesondere in den strategischen Aktivitäten von EPoSS, der europäischen Technologieplattform für die Integration intelligenter Systeme, engagiert.

Das Konsortium

Das UNICORN Konsortium besteht aus 13 Partnern aus Belgien, Deutschland, Finnland, Frankreich, Luxemburg, Niederlande und Portugal. Neben fünf Forschungseinrichtungen beteiligen sich acht Unternehmen an dem Projekt. Aus Deutschland ist neben der koordinierenden VDI/VDE Innovation + Technik GmbH auch die Continental Reifen Deutschland GmbH Teil des Konsortiums.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|--|
| Akronym | UNICORN |
| Titel | Unveiling Innovation Potential of Circular Approaches in Automotive Electronics and Beyond |
| Projektlaufzeit | Sep. 2022 bis Aug. 2025 |
| Gesamtkosten | 4.936.017 € |
| EU-Förderbeitrag | 4.936.017 € |
| Koordinierende Organisation | VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (Department for European and International Business Development) |
| Projekt-Nr. | 101070169 |
| Programmbereich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 4, Topic HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-31 "Functional electronics for green and circular economy (RIA)" |
| URL | https://project-unicorn.eu |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101070169 |
| Kontakt | VDI/VDE Innovation + Technik GmbH (Department for European and International Business Development) Nicolas Gouze nicolas.gouze@vdivde-it.de |

„Success Story“ 6GStart – Vom EU-Projekt zum globalen Mobilfunkstandard



Unterstützungsleistungen für die europäischen 5G PPP und 6G SNS Initiativen

Die wachsende Nachfrage nach „Konnektivität“ für Smart Cities, E-Health, intelligenten Verkehr, Bildung, Unterhaltung und Medien erfordert stabile, sichere und energieeffiziente Netzwerke. Das EU-Projekt 6GStart unterstützt erfolgreich zwei zu diesem Zweck initiierten Initiativen der EU.

Die Erfolgsgeschichte

Eine stabile Hochgeschwindigkeits-Kommunikationsinfrastruktur ist für die Bürgerinnen und Bürger sowie Unternehmen in ganz Europa für ihre täglichen Aktivitäten von entscheidender Bedeutung. Ein exponentiell steigendes Datenverkehrsvolumen, ein massives Wachstum von Geräten im Internet („Internet der Dinge“), eine große Diversität von neuen Diensten und Anwendungen, die spezifischen Anforderungen verschiedener Industriezweige und der Bedarf an energieeffizienten Lösungen stellen dabei hohe Anforderungen an 5G-/6G-Netze.

Um diesen Herausforderungen zu begegnen, legte die EU gemeinsam mit der 6G Infrastructure Association (6G-IA) als Vertreterin der privaten Seite, zu deren Mitgliedern mehr als 250 Firmen und akademische Institutionen gehören, umfangreiche Initiativen auf. Das „Smart Networks and Services Joint Undertaking“ (kurz: SNS JU) dient der Bündelung von Aktivitäten in Forschung und Innovation sowie der Durchführung zahlreicher Feldversuche in Vorbereitung des Aufbaus von 6G-Netzen. Sie ist auf den Zeitraum 2021-2027 angelegt und setzt damit die im Zeitraum 2014-2020 erfolgreichen Arbeiten im Rahmen der „5G Infrastructure Public Private Partnership“ (kurz: 5G PPP) nunmehr im Bereich 6G Mobilfunk fort. Die groß angelegten Partnerschaften zur Schaffung der

Grundlagen für die Kommunikationsnetze der nächsten Dekade und die Entwicklung von Technologien und Lösungen mit dem Ziel eines einheitlichen, globalen Standards für die Kommunikationsinfrastruktur des kommenden digitalen und grünen Jahrzehnts gehen mit einem hohem Koordinations- und Unterstützungsaufwand einher.

Das EU-Projekt 6GStart geht diese Herausforderungen mit verschiedenen Unterstützungsleistungen an, konkret mit der Unterstützung des Betriebs der 5G PPP und der vorbereiteten Aktivitäten für die Europäische 6G Smart Networks and Services (SNS) Initiative sowie der Organisation und Durchführung der Eu-CNC & 6G Summit Konferenzen.

„Nachhaltigkeit ist ein zunehmend wichtiger Faktor für das Design von Mobilfunknetzen geworden und Netzbetreiber haben sich zur Verringerung des ökologischen Fußabdrucks verpflichtet. In der 6G SNS wurde in 2024 ein eigenes Supportprojekt zu diesem Thema gestartet, und in 2025 wird ein großes F&U Projekt zum Thema Nachhaltigkeit seine Arbeit aufnehmen.“
Uwe Herzog, Eurescom

6GStart baut für seine Arbeiten auf dem Momentum der 5G PPP auf und leistete vielfältige Unterstützung, um einen reibungslosen Betrieb zu ermöglichen sowie die Verbreitung und Verwertung der Projektergebnisse zu unterstützen, was am Ende des Programms eine besondere Wichtigkeit erlangte. Projekte wurden entsprechend der entwickelten Strategien bei Ihren Dissemination- und Kommunikationsaktivitäten oder bei der Organisation der Präsenz bei Veranstaltungen, Konferenzen etc. unterstützt.

Über den Gesamtzeitraum der 5G PPP wurden durch 6GStart und seine Vorgängerprojekte 93 Projekte unterstützt, mit 789 teilnehmenden Organisationen und 713 Mio. Euro Finanzierung. Dabei wurden über 40 Berichte sowie über 2.500 wissenschaftliche Publikationen veröffentlicht. Die 5G PPP Projekte trugen mit über 800 Beiträgen zur globalen 5G Standardisierung bei. Ebenso unterstützten 6GStart und seine Vorgängerprojekte die 5G Infrastructure Association (5G IA) bei dem Verfassen und der Unterzeichnung zahlreicher Abkommen mit Initiativen und Trägern weltweit, um den Austausch bei 5G und die Erreichung eines einheitlichen, globalen 5G Standards zu befördern.

In 2022 begannen die vorbereitenden Tätigkeiten zum Start der 6G SNS die von 6GStart seit dem Projektstart unterstützt wurden. Hier unterstützte 6GStart den Aufbau der entsprechenden Leitungsgremien und Arbeitsgruppen und den Entwurf einer Vereinbarung über die Zusammenarbeit (das sog. „SNS Collaboration Agreement“). Der dritte Projektschwerpunkt – die Organisation der EuCNC & 6G Summit Konferenzen in 2023 und 2024 – ist bereits erfolgreich abgeschlossen. Die Konferenzserie hat sich mit jährlich über 900 Teilnehmenden zu einer weithin anerkannten Veranstaltung entwickelt, auf der Ergebnisse von EU-geförderten Projekten im Bereich der Kommunikationstechnologien in Vorträgen und durch Demonstratoren präsentiert werden.

Hintergrund und Ausblick

Vorgänger von 6GStart war das Projekt Full-5G (Projekt-Nr. 856777), das von 2019 bis 2021 durchgeführt wurde und dessen Konsortium weitgehend dem von 6GStart identisch war. Folgeprojekt von 6GStart ist das Projekt SNS OPS (Projekt-Nr. 101095811), das von 2023 bis 2025 mit einem leicht erweiterten Konsortium durchgeführt wird. Auch hier ist das Ziel, durch Unterstützungs- und Koordinierungsarbeiten zu dem Erfolg der Gesamtinitiative beizutragen.

Der Projektkoordinator

Uwe Herzog ist Programm-Manager bei der Eurescom GmbH mit mehr als 25 Jahren Erfahrung in der IKT-Forschung und dem Management von kooperativen Forschungsprojekten. Er hat das Studium zum Dipl.-Ing. für Informationstechnik an der Technischen Universität Chemnitz absolviert und hat einen MBA Abschluss der Mannheim Business School und ESSEC Business School Paris. Uwe Herzog hat zahlreiche wissenschaftliche Arbeiten verfasst.

Das Konsortium

Das 6GStart Konsortium umfasst 17 Projektpartner aus acht europäischen Ländern, darunter je zwei Partner aus Belgien, Deutschland, Frankreich, Portugal und Schweden. Neben der koordinierenden Eurescom GmbH ist aus Deutschland die Nokia Solutions and Networks GmbH & Co. KG Teil des Konsortiums.

Projektdaten

| | |
|-----------------------------|---|
| Akronym | 6GStart |
| Titel | Starting the Sustainable 6G SNS Initiative for Europe |
| Projektlaufzeit | Mai 2022 bis Sep. 2024 |
| Gesamtkosten | 2.874.248 € |
| EU-Förderbeitrag | 2.874.248 € |
| Koordinierende Organisation | Eurescom – European Institute for Research and Strategic Studies in Telecommunications GmbH |
| Projekt-Nr. | 101069987 |
| Programmbe- reich | Horizont Europa, Cluster 4, Destination 4, Topic HORIZON-CL4-2021-DIGITAL-EMERGING-01-26 "Coordination of European Smart Network actions (CSA)" |
| URL | https://5g-ppp.eu/6gstart/ |
| CORDIS URL | https://cordis.europa.eu/project/id/101069987 |
| Kontakt | Eurescom – European Institute for Research and Strategic Studies in Telecommunications GmbH Uwe Herzog herzog@eurescom.eu |

Über uns

Die Nationale Kontaktstelle Digitale und Industrielle Technologien – NKS DIT ist eine Beratungs- und Serviceeinrichtung zur europäischen Forschungsförderung und arbeitet im Auftrag des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF).

Nationale Kontaktstellen und die Aufgaben der NKS DIT

Die Nationalen Kontaktstellen wurden von der Bundesregierung eingerichtet, um eine möglichst breite Beteiligung deutscher Interessenten an den Rahmenprogrammen für Forschung und Innovation der EU sicherzustellen. Sie beraten unabhängig, wettbewerbsneutral und unentgeltlich und stehen allen deutschen Unternehmen, Hochschulen und Forschungseinrichtungen zur Verfügung.

Die Nationale Kontaktstelle Digitale und Industrielle Technologien – NKS DIT deckt das gesamte Themenspektrum der digitalen und industriellen Technologien im europäischen Rahmenprogramm für Forschung und Innovation (Horizont Europa) ab.

Das Serviceangebot der NKS DIT umfasst im Einzelnen die folgenden Angebote und Dienstleistungen:

- > Newsletter
- > Ideenpapier- und Skizzenprüfung
- > Antragsprüfung und „Proposal-Feedback“
- > Publikationen
- > Leistungen für Multiplikatoren

Auf fachlicher und wettbewerbsneutraler Basis kooperiert die NKS DIT mit anderen Informations- und Beratungsstellen für Programme der Europäischen Union auf nationaler und europäischer Ebene und vermittelt Kontakte.

<https://www.nks-dit.de>

Herausgeber: DLR Projektträger / Projektträger Jülich
Kontakt: NKS-DIT@dlr.de / NKS-DIT@fz-juelich.de
Copyright ©: Nationale Kontaktstelle Digitale und Industrielle
Technologien – NKS DIT
Haftungsausschluss: Änderungen und Irrtümer für alle Angaben
vorbehalten
Bildnachweis Titelbild: Tierney – stock.adobe.com
Stand: 11/2024 [FS]