

Future-Energy- Technologiescouting

Digitale Technologien für die Energiewende

Ausgabe 3



Future Energy
Lab

Ein Projekt der

dena

Das Future-Energy-Technologiescouting

Scouting (dt. Aufklärung/Erkundung) ist vor allem aus dem Profisport oder der Personalbeschaffung großer Unternehmen bekannt. In diesen Fällen suchen sogenannte Talentscouts nach neuen Protegés und handeln dabei meist im Auftrag von Vereinen oder Konzernen oder selbstständig und motiviert durch eine potenzielle Teilhabe an den zukünftigen Verdiensten ihrer Funde. Doch gescoutet werden schon seit Langem nicht mehr nur talentierte Personen. Seit einiger Zeit hat sich in Unternehmen auch das Technologiescouting etabliert. Dabei wird nach Lösungen für konkrete Probleme, aber auch nach Innovationen und Disruptionen gesucht, die das Potenzial für neue Produkte und Geschäftsmodelle zur Sicherung des fortwährenden Unternehmenserfolgs unter Einfluss der stetigen wirtschaftlichen, technischen und gesellschaftlichen Veränderungen haben.

Das FEL-Technologiescouting unterscheidet sich von dem privater Unternehmen durch die Kombination der folgenden zwei Schwerpunkte. Erstens: Es zielt auf neue Softwarelösungen, Hardwarekomponenten und Digitalisierungsstrategien für die Energiewende ab. Darunter fallen zum einen Innovationen im Bereich der Datenerfassung, -übertragung, -speicherung und -verarbeitung, die die Einbindung einer großen Anzahl von Erneuerbare-Energien-Anlagen in das bestehende Energiesystem erleichtern und sicherer gestalten, und zum anderen digitale Technologien, die die Energieeffizienz der Digitalisierung selbst steigern können. Zweitens: Der Nutzen der Technologien dieses Scoutings maximiert sich erst bei ihrem flächendeckenden Einsatz. Daher werden die Ergebnisse nicht nur einzelnen, sondern allen Akteuren der Energiebranche und darüber hinaus zur Verfügung gestellt.

Für das FEL-Technologiescouting strecken wir – das Future Energy Lab – neben unserer Arbeit an Pilotprojekten und Studienvorhaben sowie der Pflege unserer Community unsere Fühler aus. Wir durchkämmen das Internet, studieren Trend-Reports und tauschen uns mit Expertinnen und Experten der Digital- und Energiebranche aus. Auf Basis der dabei gewonnenen Erkenntnisse erstellen wir einen

umfangreichen Pool von Talenten digitaler Technologien und wählen schließlich jene aus, die es in den Bericht des FEL-Technologiescoutings schaffen.

In Steckbriefen der ausgewählten Technologien beschreiben wir die ursprünglichen Probleme, für deren Lösung sie konzipiert wurden, und geben einen Einblick in ihre Funktionalität. Darauf aufbauend leiten wir erste Impulse für die Verwendung der Technologien in der Energiewirtschaft ab. Weitere Einsatzmöglichkeiten werden Sie, liebe Leserinnen und Leser, da sind wir unsicher, durch Ihre detaillierten Kenntnisse des Energiesystems und seiner Unternehmen identifizieren.

Wir wünschen Ihnen viel Spaß beim Lesen und sind gespannt, wann und wie die diesjährige Auswahl in Zukunft zum Einsatz kommen wird!

Ihr Team des Future Energy Lab



Für die Einschätzung des Nutzens der vier Technologien für die Digitalisierung erfolgt eine Visualisierung mittels Netzdiagrammen. Sie stellen die qualitative Bewertung auf Basis unserer Expertise dar und bilden unsere Einordnung in die sechs vorgegebenen Kategorien ab.

Die Angabe „Etablierung in ... Jahren“ orientiert sich an den „Hype Cycles“ der Technologien. Sie beschreiben den Verlauf der öffentlichen Wahrnehmung einer Technologie. Ein Hype Cycle findet in fünf Phasen statt, die hier zum besseren Verständnis kurz umrissen werden sollen:

1. Technologischer Auslöser

- Technologischer Durchbruch
- Proof of Concept Stories + Medieninteresse = Öffentlichkeitswirkung
- Produkte ohne definierte Anwendung

2. Gipfel der überzogenen Erwartungen

- Erfolgsgeschichten und Misserfolge werden der Öffentlichkeit bekannt
- Unternehmen reagieren

3. Tal der Enttäuschung

- Stagnierendes öffentliches Interesse durch fehlende erfolgreiche Anwendungen
- Rückgang von Investitionen

4. Pfad der Erleuchtung

- Steigende Zahl an Anwendungsfällen (und Pilotprojekten) und besseres Verständnis für die Verwendung der Technologie
- Produkte befinden sich bereits in höheren Generationen (z. B. 2. und 3.)

5. Plateau der Produktivität

- Ankommen der Technologie im Mainstream
- Erfolgreiche Marktanwendung
- Der geschätzte Zeitraum, den eine Technologie für die Etablierung benötigt, bezieht sich in unserem Technologiescouting auf das Erreichen des „Plateaus der Produktivität“, also den Punkt, an dem der Nutzen einer Technologie klar abschätzbar ist. Wenn Sie beim Lesen auf Angaben wie „Etablierung in 2–5 Jahren“ stoßen, wird damit prognostiziert, dass die Technologie innerhalb des angegebenen Zeitraums das „Plateau der Produktivität“ erreicht hat.

Die Auswahl des Future-Energy-Technologiescoutings

Continuous Threat Exposure Management (CTEM)

Seite 4



Grid Foundation Models

Seite 7



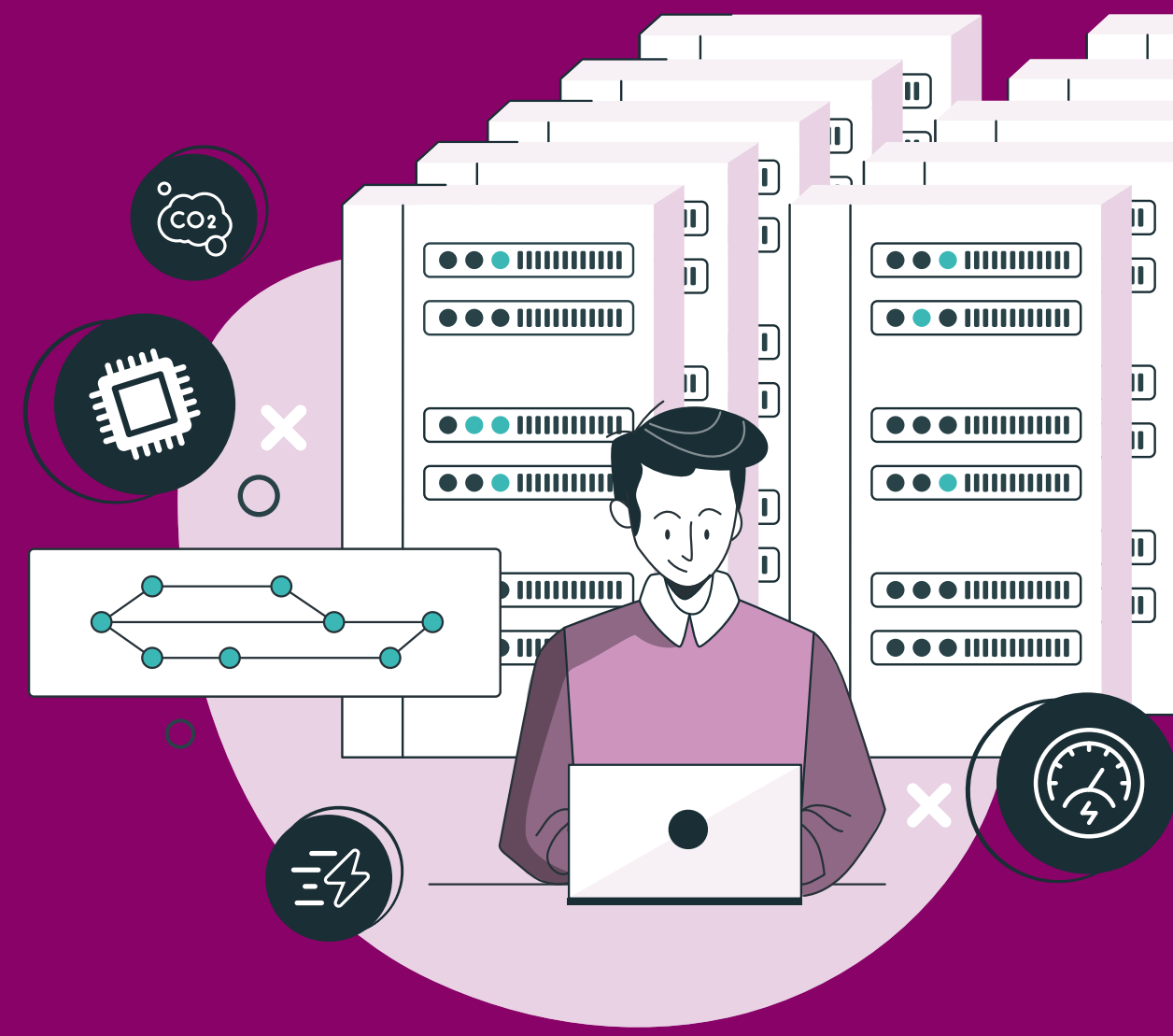
AI Agents

Seite 9



Exascale Computing

Seite 11



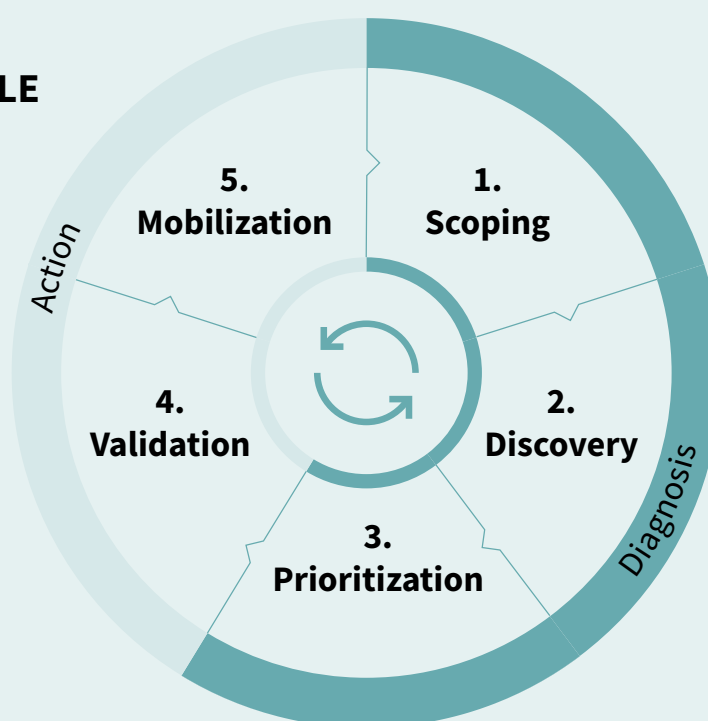
Continuous Threat Exposure Management (CTEM)

In den letzten Jahren hat sich die Bedrohungslandschaft für Unternehmen in nahezu allen Branchen dramatisch verändert. Besonders deutlich zeigt sich diese Entwicklung im Energiesektor, der nicht nur zunehmend digitalisiert, sondern auch immer stärker mit geopolitischen, wirtschaftlichen und technologischen Risiken konfrontiert ist. Die klassische IT-Infrastruktur verschmilzt zudem immer mehr mit der Operational Technology (OT), was zusätzliche Angriffsflächen schafft. Die Europäische Union hat auf diese Entwicklung mit einer grundlegenden Überarbeitung ihrer regulatorischen

Anforderungen reagiert und insbesondere mit der NIS2- und der CER-Richtlinie neue Vorgaben an die Betreiber Kritischer Infrastrukturen eingeführt. Während NIS2 die Anforderungen an Informationssicherheit und Vorfallmanagement verschärft und ausweitet, fokussiert CER Resilienzstrategien, Risikobewertungen und Abhängigkeiten in der kritischen Versorgungskette. Die beiden Regelwerke verdeutlichen, dass die Sicherheit Kritischer Infrastrukturen sich nicht mehr durch einzelne Maßnahmen oder formale Zertifizierungen gewährleisten lässt, sondern die Fähigkeit erfordert, auf eine zunehmend dynamische und unvorhersehbare Risikolage sowohl technisch als auch organisatorisch zu reagieren. Welche operativen Ansätze dafür geeignet sind, ist Gegenstand aktueller Debatten, insbesondere im Zusammenhang mit neuen Konzepten wie Continuous Threat Exposure Management (CTEM).

CTEM ist ein von Gartner¹ geprägter Begriff, der viel Aufmerksamkeit erfährt. Er beschreibt ein methodisches Framework, in dem operative Sicherheitsprozesse verbunden werden, um einen strukturierten und kontinuierlichen Ansatz zu schaffen, der es ermöglicht, proaktiv in einer sich wandelnden Bedrohungslandschaft zu agieren. Dieses Framework soll Unternehmen dazu befähigen, die Zugänglichkeit, Gefährdung und Ausnutzbarkeit der eigenen digitalen und physischen Assets – von Netzwerk und Softwareanwendungen bis hin zu Kraftwerken und Umspannwerken – kontinuierlich und konsequent zu bewerten.² Dafür wird eine iterative Vorgehensweise in fünf Schritten definiert (vgl. Abbildung links)³:

5 STEPS IN THE CYCLE OF CONTINUOUS THREAT EXPOSURE MANAGEMENT



Technologietyp:	Software	Hardware
	Konzept/Strategie	
Einfluss auf Daten:	Erfassung	Übertragung
	Speicherung	Verarbeitung

**Technology Readiness / Etablierung in:
frühe Adoptionsphase**

Verwandte Themen:

- NIS-Richtlinie
- CER-Richtlinie
- ISO 27001
- IT-Grundschutz (BSI)
- KRITIS-Dachgesetz



1 www.gartner.com/en

2 www.gartner.com/en/documents/4016760

3 xmcyber.com/ctem/
Siehe auch: www.gartner.com/en/articles/how-to-manage-cybersecurity-threats-not-episodes

1. Eingrenzung

In der Eingrenzungsphase wird die Angriffsfläche eines Unternehmens systematisch erfasst und priorisiert. Dabei ist es entscheidend, unterschiedliche fachliche Perspektiven einzubeziehen, da sich im Zeitverlauf Verwundbarkeit und Bedeutung eines Assets für den Betrieb des Unternehmens ändern können. Auch weniger sichtbare Komponenten zählen zur Angriffsfläche.

2. Erkennung

In der Erkennungsphase werden alle sichtbaren und versteckten Assets auf potenzielle Schwachstellen und Fehlkonfigurationen untersucht. Dabei geht es nicht nur um einzelne Sicherheitslücken, also klar identifizierbare technische Fehler, die ausgenutzt werden können, sondern auch um zusammenhängende Expositionen, also Konstellationen, in denen Systeme, Identitäten oder Konfigurationen so sichtbar oder zugänglich sind, dass sie in Kombination ein erhöhtes Risiko darstellen. Ziel ist es, Angriffswege zu erkennen. Entscheidend ist, dass die Entdeckung risikoorientiert erfolgt und nicht nur auf Umfang, sondern auf Relevanz abzielt.

3. Priorisierung

In der Priorisierungsphase werden identifizierte Schwachstellen und Expositionen hinsichtlich ihres Risikopotenzials bewertet. Dabei geht es nicht darum, alle Probleme zu beheben, sondern jene anzugehen, die kritische Assets am stärksten gefährden. Berücksichtigt werden unter anderem die Bedrohungslage, die Relevanz der betroffenen Systeme sowie die vorhandene Risikotoleranz. CTEM erweitert die Priorisierung über klassische Schwachstellen hinaus und bezieht auch digitale Identitäten, Fehlkonfigurationen und mögliche Angriffswege ein.

4. Validierung

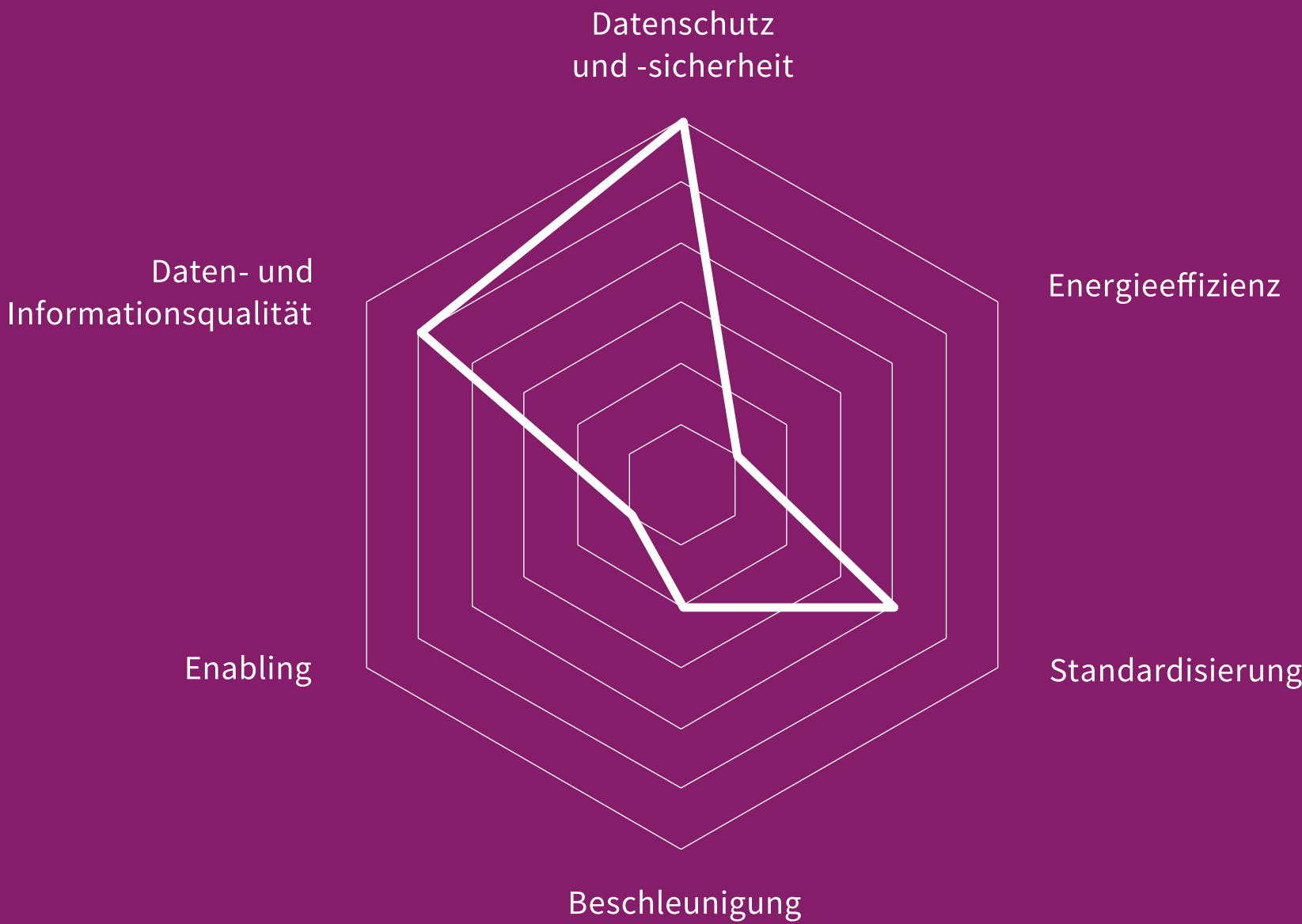
In der Validierungsphase wird geprüft, ob identifizierte Schwachstellen tatsächlich ausnutzbar sind und welche Angriffswege zu kritischen Assets führen könnten. Dabei wird auch bewertet, ob bestehende Sicherheitsmaßnahmen ausreichend wirken. Die Validierung unterstützt sowohl die Priorisierung als auch die regelmäßige Überprüfung der Wirksamkeit von Schutzmechanismen und Reaktionsplänen.

5. Mobilisierung

In der Mobilisierungsphase wird sichergestellt, dass alle beteiligten Teams ihre Rollen und Verantwortlichkeiten im Rahmen des CTEM-Frameworks verstehen und gemeinsam an der Umsetzung der Maßnahmen arbeiten. Dabei ist es wichtig, den Wert der Risikominderung durch die Behebungsmaßnahmen klar zu kommunizieren und den Fortschritt der Sicherheitsverbesserungen transparent zu machen. Automatisierte Behebungen können sinnvoll sein, ihnen sollte jedoch nicht blind vertraut werden. Ziel der Mobilisierung ist es, Hindernisse bei Genehmigungen, Implementierungen und der Umsetzung von Gegenmaßnahmen zu beseitigen und insbesondere abteilungsübergreifende Genehmigungsprozesse klar zu dokumentieren.

Einordnung des Nutzens für die Digitalisierung

Für eine Beschreibung der Funktionskategorien siehe Seite 14



Kritische Infrastrukturen (KRITIS) in Deutschland sind durch das IT-Sicherheitsgesetz 2.0 verpflichtet, ein Informationssicherheitsmanagementsystem (ISMS) einzuführen. Ein ISMS ist das zentrale Rahmenwerk, mit dem Organisationen ihre Informationssicherheit systematisch steuern und kontinuierlich verbessern. Es bündelt Prozesse, Richtlinien und technische Maßnahmen, um Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, gesetzliche Vorgaben einzuhalten und auf Vorfälle angemessen zu reagieren. Mit der Umsetzung der NIS2-Richtlinie wird der Rahmen für die Cybersicherheit in der Energiewirtschaft deutlich ausgeweitet und verschärft. Das ISMS bleibt dabei weiterhin der zentrale Ankerpunkt, unter dessen Dach sämtliche Sicherheitsmaßnahmen geplant, umgesetzt und kontrolliert werden. Die NIS2-Richtlinie betont die Notwendigkeit eines systematischen und risikobasierten Ansatzes für Cybersicherheit, indem sie strengere und umfassendere Anforderungen an die Risikoanalyse, das Risikomanagement und die kontinuierliche Bewertung der Sicherheitslage stellt. Zudem wird der risikobasierte Ansatz in NIS2 noch stärker als verbindlicher Grundsatz herausgestellt und durch zusätzliche Governance- und Berichtspflichten untermauert. Hier können ergänzende Frameworks und Methoden wie CTEM unterstützend wirken, indem sie operativ helfen, die Umsetzung der Anforderungen dynamisch und agil zu gestalten, ohne das ISMS als übergeordnetes Steuerungsinstrument zu ersetzen.

Das CTEM-Framework bietet mit seinem zyklischen Prozess zur Identifikation, Bewertung und Behebung von Sicherheitslücken eine besondere Stärke in der risikobasierten Analyse und fortlaufenden Bewertung der IT-Sicherheitslage. Die Integration von CTEM in ein bestehendes ISMS kann somit eine operative Umsetzung der Vorgaben aus NIS2 und CER ermöglichen. In einem komplementären Einsatz zu bestehenden Standards und Normen kann es dazu beitragen, die dynamische und sich ständig ändernde Bedrohungslage besser abzubilden und schneller auf Risiken zu reagieren.

Allerdings ist die Frage noch offen, inwieweit CTEM die spezifischen Anforderungen und Herausforderungen der Energiewirtschaft in Deutschland tatsächlich adressiert. CTEM ist ein neues Konzept, das in der Energiewirtschaft bisher nur begrenzt implementiert und evaluiert wurde. Vor diesem Hintergrund erscheint es sinnvoll, seinen Einsatz kritisch zu prüfen, insbesondere im Hinblick auf seine praktische Implementierung, den Ressourceneinsatz und die Kompatibilität mit bestehenden regulatorischen und organisatorischen Anforderungen im deutschen Energiesektor.



Alle, die mehr zum Thema Cybersicherheit in der Energiewirtschaft erfahren wollen, sind [hier](#) genau richtig.



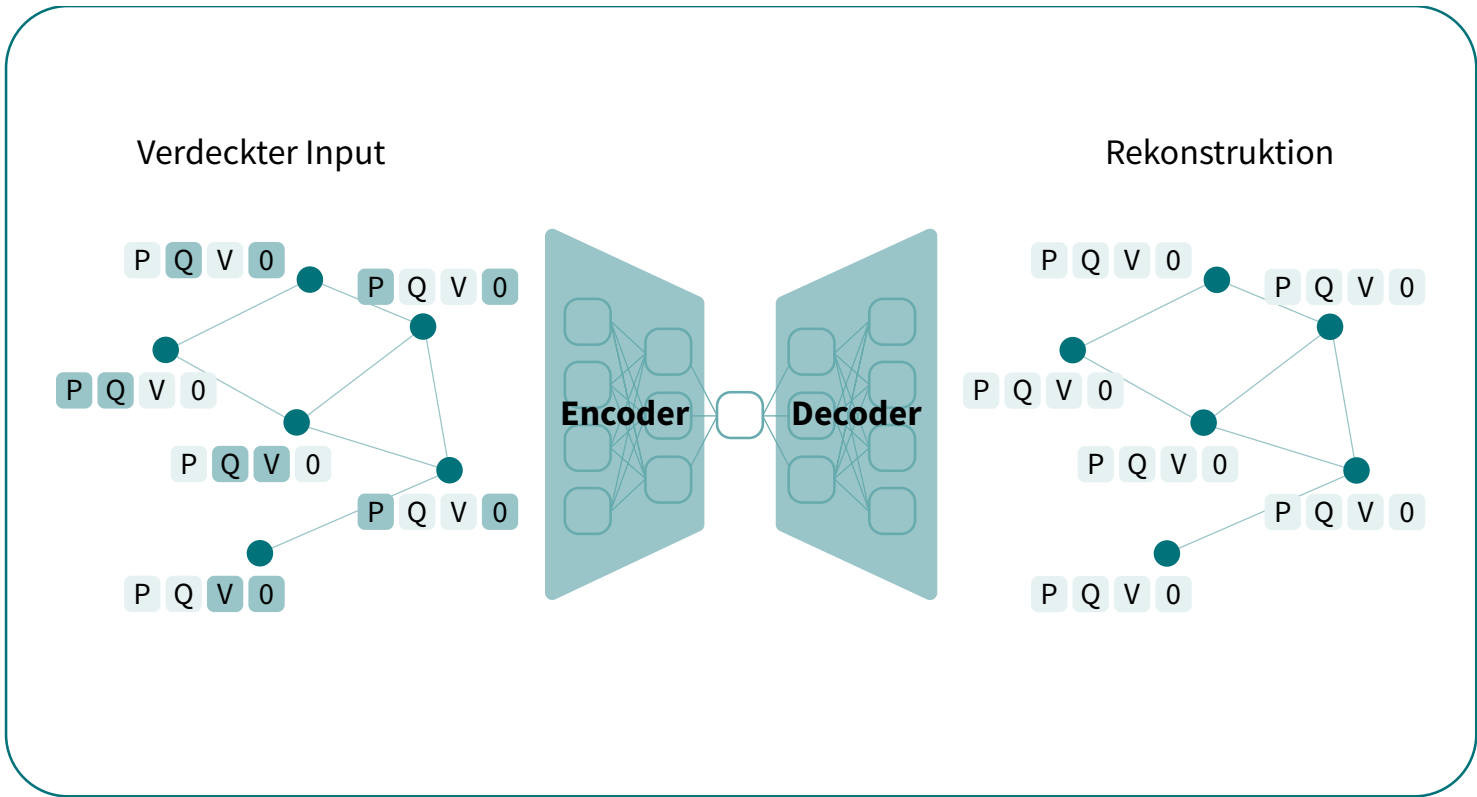
Grid Foundation Models

Die fortschreitende Transformation des Energiesystems, geprägt durch Sektorenkopplung und volatile Energieerzeugung, sieht sich mit einem signifikanten Anstieg an Komplexität und Unsicherheit konfrontiert. Gleichzeitig stoßen bestehende Berechnungsmethoden in Netzplanung und -betrieb zunehmend an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit, da sie oft auf deterministischen Modellen basieren, die die wachsende Dynamik nur eingeschränkt abbilden können. Der breite Einsatz datengetriebener Ansätze auf Basis maschinellen Lernens (ML) ist bislang allerdings oft aufgrund unzureichend verfügbarer, gelabelter Trainingsdaten⁴ und begrenzter Übertragbarkeit eingeschränkt. Bisherige ML-basierte Modelle beruhen meist auf Architekturen, die lediglich

auf bestimmte Aufgaben oder Netztopologien zugeschnitten sind, oder vernachlässigen die physikalischen Grundlagen der Netztechnik. Eine Lösung hierfür liefern Foundation Models (FMs). Dabei handelt es sich um ML-Modelle, die Zusammenhänge aus großen und heterogenen Datensätzen erfassen und damit die Basis für eine effiziente weitere Anpassung an spezifische Anwendungen bilden.⁵

Foundation Models basieren meist auf einer Transformer-Architektur⁶ mit Encoder-Decoder-Komponenten und werden mithilfe selbstüberwachten Lernens⁷ aus riesigen Mengen ungelabelter Daten vortrainiert. Im Falle von FMs für Stromnetze, sogenannten Grid Foundation Models (GFM), lernen sie, komplexe Zusammenhänge in Netzstrukturen, Lastflüssen, Wetterdaten und Betriebszuständen zu erkennen. Durch die Integration von physikalischen Gesetzmäßigkeiten in den datengetriebenen Lernprozess kann die Plausibilität der rekonstruierten Werte weiter erhöht werden. Nach dem Vortraining lassen sich GFM mit relativ wenigen anwendungsspezifischen gelabelten Daten effizient auf konkrete Aufgaben wie Last- und Erzeugungsprognosen oder Leistungsflussanalysen feinabstimmen.⁸

Der reduzierte Bedarf an gelabelten Daten für das Fine-Tuning ist ein entscheidender Vorteil von FMs. Dadurch können Modelle für Anwendungen geschaffen werden, für die eine Modellentwicklung mit herkömmlichen ML-Methoden nicht rentabel wäre. Analysen zeigen eine deutliche Effizienzsteigerung bezüglich Trainingszeit und erforderlicher Rechenleistung gegenüber ML-Modellen ohne Vortraining.⁹



4 Gelabelte Trainingsdaten sind Daten mit einer Kennzeichnung (Label), auf deren Basis ein ML-Modell die Verknüpfung zu einer korrekten Ausgabe erlernen kann. Trainingsdaten mit dem gleichen Label besitzen ähnliche Eigenschaften.

5 Hamann, Hendrik F. et al. (2024): Foundation models for the electric power grid. Joule 8.12: 3245-3258

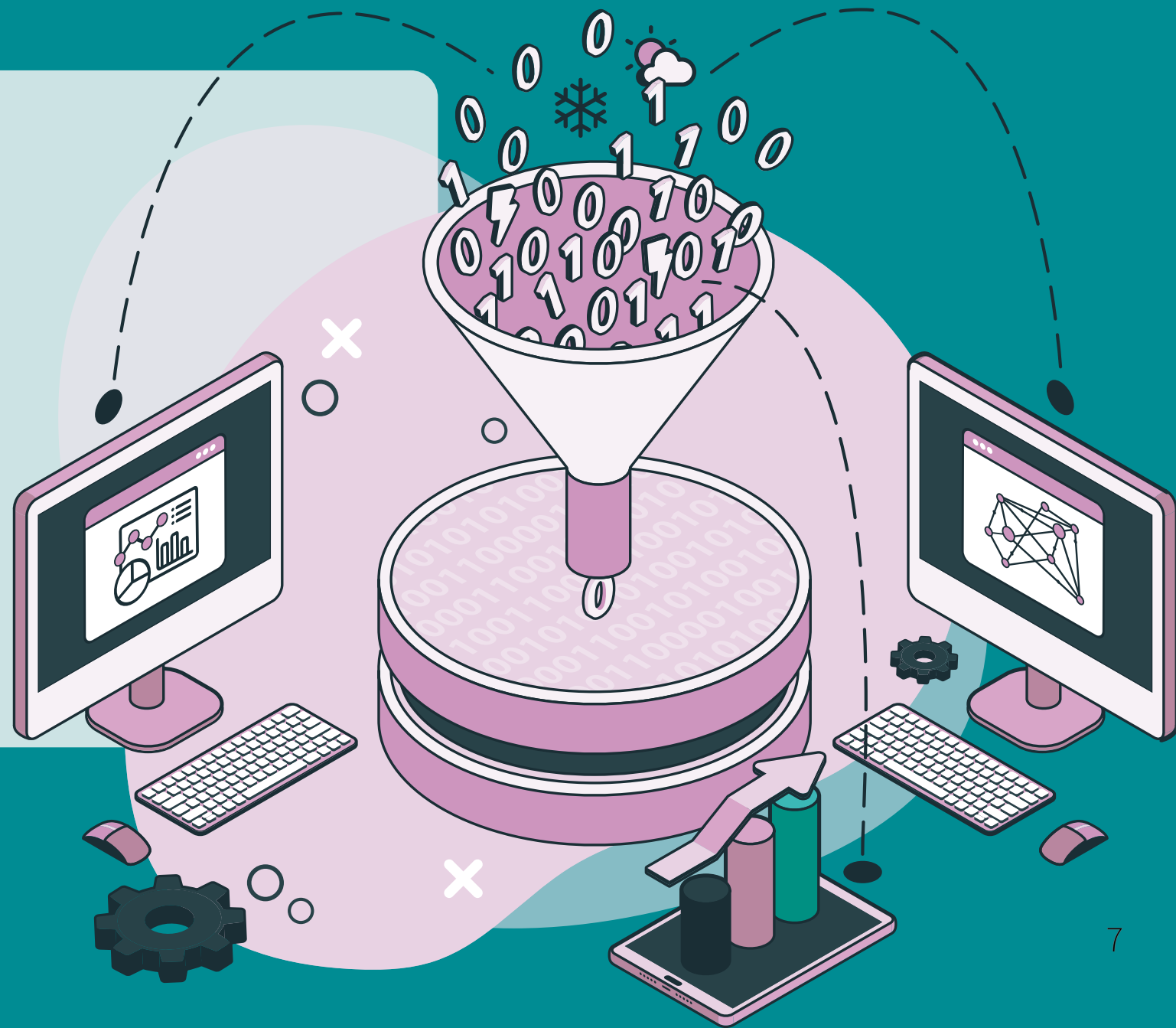
6 Transformer sind Deep-Learning-Modelle, die mithilfe von sogenannten Attention-Mechanismen Zusammenhänge in sequenziellen Daten erkennen und globale Abhängigkeiten zwischen Input und Output herstellen; vgl. Vaswani, Ashish et al. (2017): Attention is all you need. Advances in neural information processing systems 30

7 Selbstüberwachtes Lernen ist eine Methode des maschinellen Lernens, die unüberwachtes Lernen nutzt, um aus Daten implizit Labels abzuleiten, indem sie Teile der Eingabe aus anderen Teilen vorhersagt und damit keine von Menschen gelabelten Trainingsdaten erfordert; vgl. Liu, Xiao et al. (2021): Self-supervised learning: Generative or contrastive. IEEE transactions on knowledge and data engineering 35.1: 857-876

8 Hamann, Hendrik F. et al. (2024): Foundation models for the electric power grid. Joule 8.12: 3245-3258

9 Mazzonelli, Matteo (2025): Foundation Model for the Power Grid. MS thesis. ETH Zurich

Technologietyp:	Software	Hardware
	Konzept/Strategie	
Einfluss auf Daten:	Erfassung	Übertragung
	Speicherung	Verarbeitung
Technology Readiness / Etablierung in:		
3–5 Jahren		
Verwandte Themen:		
<ul style="list-style-type: none">Transfer LearningPhysics Informed Neural NetworksGraph Neural Networks		



Deutlich wird der Mehrwert am Beispiel von Leistungsflussanalysen, die in der Regel auf numerischen Methoden¹⁰ basieren. Gerade für Anwendungen, die eine hohe Berechnungsgeschwindigkeit erfordern, kommen meist linearisierte numerische Methoden wie das DC-Leistungsflussverfahren¹¹ zum Einsatz. Sie basieren auf Vereinfachungen der Leistungsflussgleichungen und sind demnach ungenauer als nichtlineare numerische AC-Leistungsflussverfahren. Da einsatzbereite GFM keine iterative Gleichungslösung mehr durchführen müssen, sondern Ergebnisse durch einfache Inferenz liefern, benötigen sie insbesondere bei sich wiederholenden und großskaligen Aufgaben weniger Rechenzeit bei gleichzeitig höherer Genauigkeit als linearisierte Modelle. Aufgrund des reduzierten Rechenaufwands gegenüber numerischen Modellen bieten GFM hinsichtlich ihrer Genauigkeit einen Kompromiss zwischen linearisierten numerischen Methoden und präzisen, aber rechenintensiven nichtlinearen numerischen AC-Leistungsflussmethoden. In Anwendungen wie der (N-1-) Ausfallanalyse können damit in der gleichen Rechenzeit mehr Szenarien untersucht werden. Es wird erwartet, dass die Rechengeschwindigkeit mit GFM um drei bis vier Größenordnungen beschleunigt werden kann. In sicherheitskritischen Netzrechnungen sind AC-Leistungsflussberechnungen aufgrund der erforderlichen Präzision zwar nicht zu ersetzen, für großflächige Szenarioanalysen oder Echtzeitabschätzungen bieten GFM jedoch eine sinnvolle Ergänzung.¹²

Damit GFM auf jegliche Einsatzumgebungen anwendbar sind, müssen sie mittels einer möglichst diversen Sammlung von gelösten Leistungsflussproblemen aus verschiedenen Netztopologien und Betriebsbedingungen vortrainiert werden. Zur Modellierung von Stromnetzen eignet sich die Repräsentation als Graph (z. B. Graph Neural Networks oder Graph Transformers) mit Wirk- und

Blindleistungsbilanz, Spannung und Spannungsphasenwinkel (P , Q , V , θ) als Variablen für jeden Netzknoten und Leitungsadmittanzen (Y) für die Verbindungen zwischen den Netzknoten. Für das Vortraining wird eine Strategie verfolgt, bei der abwechselnd ein zufällig ausgewählter Anteil der Netzknotenwerte in den Trainingsdaten „verdeckt“ wird, um eine Rekonstruktion dieser fehlenden Informationen auf Basis der restlichen Daten zu erlernen. Rekonstruktionsfehler werden durch eine Verlustfunktion „bestraft“, wodurch das Modell beim Training lernt, sie zu minimieren. Abweichungen von physikalischen Gesetzmäßigkeiten (Leistungsflussgleichungen) werden ebenfalls sanktioniert.¹³ Für das Vortraining können öffentlich verfügbare Datensätze herangezogen werden. Das GFM kann dann beispielsweise mittels proprietärer Daten auf spezifische Umgebungen und Anwendungen abgestimmt werden. Insbesondere leistungsflussbasierte Anwendungen wie Ausfallanalysen oder Optimal Power Flow profitieren von GFM.¹⁴

Erfolgreiche Beispiele für FM aus anderen Bereichen sind Large Language Models (LLMs) oder Wettervorhersagemodelle. Diese FM wurden zur Erlernung von sprachlichen bzw. zeitlich-räumlich-meteorologischen Mustern vortrainiert. Weitere Potenziale für energiewirtschaftliche Anwendungsfälle von GFM bestehen unter anderem in Last- bzw. Erzeugungsprognosen, transienten und dynamischen Stabilitätsanalysen, der Netzausbauplanung und der Cybersicherheit. In Zukunft sollen GFM zudem in der Lage sein, verschiedene für den Netzbetrieb relevante Datenmodalitäten zu verarbeiten. Ähnlich wie bei FM aus anderen Bereichen ist auch bei GFM mit der Entstehung zahlreicher nachgelagerter Anwendungsfälle zu rechnen.¹⁵

10

Numerische Methoden dienen der näherungsweisen Lösung komplexer mathematischer, nicht analytisch lösbarer Probleme, indem sie auf iterative oder diskrete Verfahren zurückgreifen; vgl. www.studysmarter.de/studium/mathematik-studium/differentialgleichungen/numerische-loesungsmethoden/

11

Mit der Bezeichnung „DC-“ bzw. „AC-Leistungsfluss“ ist nicht die Unterscheidung zwischen Gleich- und Wechselstromsystem gemeint, sondern „DC“ verweist vielmehr darauf, dass mit dieser vereinfachten Methode nur Wirkleistungsflüsse berechnet werden, während die AC-Leistungsflussmethode auch Blindleistungsflüsse miteinbezieht. AC-Leistungsflussverfahren lösen nichtlineare Gleichungen (Leistungsflussgleichungen), DC-Leistungsflussverfahren treffen vereinfachende Annahmen dieser Gleichungen, um sie zu linearisieren; vgl. www.enargus.de/pub/bscw.cgi/d2114-2/*/*/*DC-Leistungsflussrechnung.html?op=Wiki.getwiki

12

Hamann, Hendrik F. et al. (2024): Foundation models for the electric power grid. Joule 8.12: 3245-3258

13

Mazonelli, Matteo (2025): Foundation Model for the Power Grid. MS thesis. ETH Zurich

14

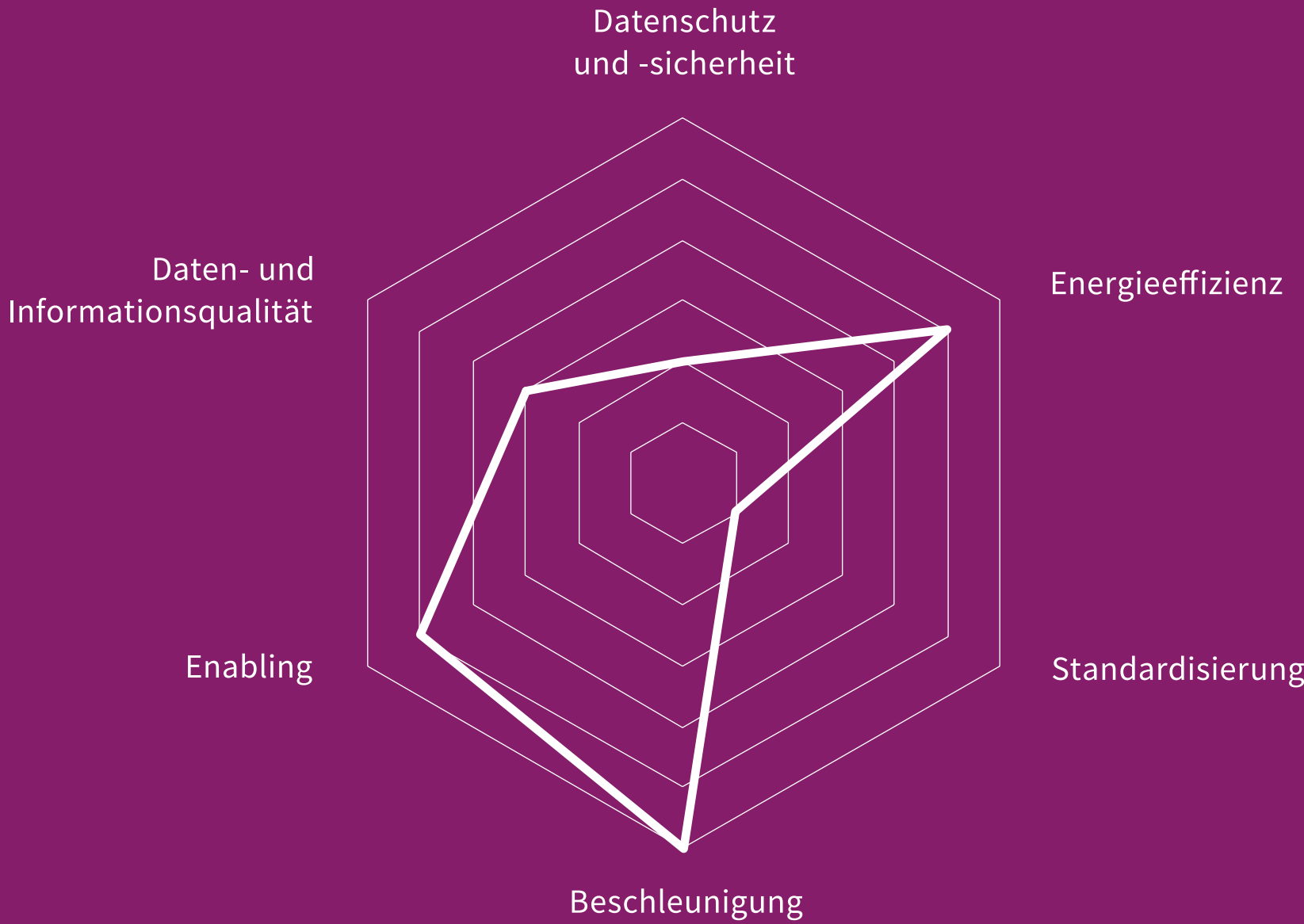
Hamann, Hendrik F. et al. (2024): Foundation models for the electric power grid. Joule 8.12: 3245-3258

15

Ebd.

Einordnung des Nutzens für die Digitalisierung

Für eine Beschreibung der Funktionskategorien siehe Seite 14



Hier geht es zu mehr Lesestoff über KI in Stromnetzen.

AI Agents

Generative Künstliche Intelligenz wie große Sprachmodelle (LLMs) sind mittlerweile allgegenwärtig und dienen für viele Aufgaben als nützliches Hilfsmittel. Bei komplexeren Problemen stoßen jedoch auch diese Modelle an ihre Grenzen, da sie lediglich reaktiv auf Anfragen reagieren und nicht proaktiv handeln.¹⁶ Im menschlichen Kontext werden Aufgaben üblicherweise an Dritte delegiert, wenn die dafür notwendigen Fähigkeiten intern nicht vorhanden sind oder eine Auslagerung als die effizientere Lösung erscheint. Diese Strategie auf KI-Modelle zu übertragen, ist folglich der nächste Entwicklungsschritt, damit KI-Modelle nicht nur als einfache Werkzeuge dienen, sondern vielmehr als Akteure selbstständig komplexe Probleme im Auftrag von Menschen lösen können. Diese als AI Agents bezeichneten KI-Systeme ergänzen LLMs um diverse externe Ressourcen, die die Fähigkeiten zur Lösung komplexer Aufgaben erweitern.¹⁷ AI Agents sind autonome Systeme, die wahrnehmen, planen, handeln und lernen, um ein definiertes Ziel zu erreichen.¹⁸ Dabei können sie Aufgaben logisch miteinander verknüpfen, Arbeitsschritte koordinieren, eigenständig Entscheidungen treffen und auf situative Veränderungen reagieren. Sie sind in der Lage, sowohl ihr eigenes Verhalten als auch die erzielten Ergebnisse zu analysieren und zu bewerten.¹⁹

Während LLMs vereinfacht als „Kopiloten“ betrachtet werden können, handelt es sich bei AI Agents vielmehr um „Autopiloten“. Zu den wichtigsten agentischen Fähigkeiten zählen Planungslogik, Gedächtnis und die Nutzung von Werkzeugen (Tools). In der Planung zerlegt ein AI Agent ein übergeordnetes Ziel in kleinere Teilaufgaben. Für das Gedächtnis werden externe Datenspeicher, beispielsweise Vektordatenbanken (siehe Technologiescouting Ausgabe 2), verwendet, um Informationen effizient abzurufen.

Die Fähigkeit zur Toolnutzung erlaubt es AI Agents, über Application Programming Interfaces (APIs) auf externe Websites und externe Software zuzugreifen. Dadurch können sie zum Beispiel eigenständig Suchanfragen ausführen, proprietäre Datenbanken auslesen oder sogar Handlungen wie das Durchführen von Finanztransaktionen übernehmen.²⁰ AI Agents stellen eine übergeordnete Anwendungsebene der Künstlichen Intelligenz dar und kombinieren dabei meist mehrere KI-Ansätze in einem System. Besteht ein System aus mehreren autonomen Agenten, die innerhalb einer gemeinsamen Umgebung interagieren, sich organisieren und in Abstimmung miteinander sowie mit menschlichen Nutzern Ziele verfolgen, spricht man von einem Multi-Agenten-System (MAS). Die Entwicklung dieser agentenbasierten KI (Agentic AI) erfordert einen Fokus auf die Orchestrierung und Zusammenarbeit der einzelnen Agenten.²¹

Einen gesellschaftlichen Mehrwert könnten AI Agents beispielsweise in der öffentlichen Verwaltung liefern, indem sie die Beschäftigten von stetig anfallenden Routineaufgaben entlasten. So könnten ein Agent zur Vollständigkeitsprüfung und Zusammenfassung eingereichter Anträge, ein Agent zum Abgleich mit gesetzlichen Vorschriften sowie ein Agent zur Erstellung eines Berichts für die Sachbearbeitung zusammenarbeiten und damit den zuständigen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern zeitaufwendige Arbeitsschritte abnehmen.

16

Münstermann, B., Klier, J., Wiesinger, A., Lehmann, T., & Schlamann, A. (2025): KI-Agenten im Einsatz: So wird die öffentliche Verwaltung zukunftssicher. McKinsey & Company [online]. Verfügbar unter: www.mckinsey.com/de/publikationen/2025-05-15-ki-agenten-im-einsatz [abgerufen: 23.07.2025]

17

Kolt, N. (2025): Governing AI agents. arXiv preprint arXiv: 2501.07913

18

Kapoor, S., Stroebl, B., Siegel, Z. S., Nadgir, N., & Narayanan, A. (2024): AI agents that matter. arXiv preprint arXiv: 2407.01502

19

McKinsey & Company (2025): What is an AI Agent? [online]. Verfügbar unter: www.mckinsey.com/featured-insights/mckinsey-explainers/what-is-an-ai-agent [abgerufen: 21.07.2025]

20

Kolt, N. (2025): Governing AI agents. arXiv preprint arXiv: 2501.07913

21

Siebert, J. (2025): Agentic AI – Multi-Agenten-Systeme im Zeitalter generativer KI. Fraunhofer IESE [online]. Verfügbar unter: www.iese.fraunhofer.de/blog/agentic-ai-multi-agenten-systeme [abgerufen: 24.07.2025]

Technologietyp:	Software	Hardware
	Konzept/Strategie	
Einfluss auf Daten:	Erfassung	Überragung
	Speicherung	Verarbeitung
Technology Readiness / Etablierung in:		
1–3 Jahren		
Verwandte Themen:		
<ul style="list-style-type: none">Generative KIAgentic AIRetrieval-Augmented Generation		



Des Weiteren können durch Prozessanalysen Optimierungsvorschläge entwickelt werden, um die Zufriedenheit der Bürgerinnen und Bürger mit dem Service zu erhöhen. AI Agents können damit zu einer produktiven Digitalisierung der öffentlichen Verwaltung beitragen.²²

Auch für das Energiesystem bieten AI Agents und MAS vielseitige Möglichkeiten, um im zunehmend komplexen Netzbetrieb zum Beispiel bei Planungsentscheidungen, bei der Echtzeit-Steuerung bzw. beim Energiemanagement von Microgrids oder bei der Optimierung von Energieverbräuchen in Gebäuden als hilfreiche Assistenz zu dienen.²³ So könnten sie mit bestehenden Arbeitsabläufen und technischen Tools nahtlos interagieren und Aufgaben wie den Aufbau von Simulationen, die Analyse von Störfällen oder die Erstellung von Berichten unterstützen. Potenziale bestehen bei allen Arbeitsprozessen, die sowohl Kontextverständnis als auch eine strukturierte Ausführung erfordern. Da AI Agents meist auf LLMs basieren, profitieren auch diese von den Vorteilen des Foundation Model hinsichtlich des geringen Aufwands im Tuning (Anpassung an spezifische Aufgaben).²⁴

Allgemein sind AI Agents günstig und durchgehend verfügbar und können individuell angepasst werden. Agentenbasierte KI-Systeme sollen Expertinnen und Experten nicht ersetzen, sondern repetitive Aufgaben automatisieren, Analysen beschleunigen und die Qualität von Entscheidungen verbessern. Gleichzeitig ist jedoch zu beobachten, dass Beschäftigte ohne ausreichende Qualifizierung in leicht automatisierbaren Arbeitsprozessen zunehmend ihre Jobs verlieren, während Unternehmen aufgrund dieser erhöhten Produktivität ihre Profite steigern können.²⁵ Der Unterschied zu den meisten technischen Innovationen liegt in der enormen Geschwindigkeit, mit der diese Disruption vonstattengeht.²⁶ Damit AI Agents ihr volles Potenzial als Helfer im Energiesystem entfalten können, ist es entscheidend, ihre sozioökonomischen Auswirkungen von Anfang an mitzudenken – nur so kann sichergestellt werden, dass ihr Einsatz nicht nur Effizienzgewinne für einige wenige bringt, sondern auch einen echten gesamtgesellschaftlichen Mehrwert liefert.²⁷

22 Münstermann, B., Klier, J., Wiesinger, A., Lehmann, T., & Schlamann, A. (2025): KI-Agenten im Einsatz: So wird die öffentliche Verwaltung zukunftssicher. McKinsey & Company [online]. Verfügbar unter: www.mckinsey.com/de/publikationen/2025-05-15-ki-agenten-im-einsatz [abgerufen: 23.07.2025]

23 Vgl. El Hafiane, D., El Magri, A., Chakir, H. E., Lajouad, R., & Boudoudouh, S. (2024): A multi-agent system approach for real-time energy management and control in hybrid low-voltage microgrids. Results in Engineering, 24: 103035; vgl. Polagani, S. S. (2025): AI Agents For Smart Grid Operations and Renewable Energy Management. IRE Journals, 8, 11: 1708600; vgl. Coelho, V. N., Cohen, M. W., Coelho, I. M., Liu, N., & Guimarães, F. G. (2017): Multi-agent systems applied for energy systems integration: State-of-the-art applications and trends in microgrids. Applied energy, 187: 820-832; vgl. El Zerk, A., Ouassaid, M., & Zidani, Y. (2022): Decentralised strategy for energy management of collaborative microgrids using multi-agent system. IET Smart Grid, 5(6): 440-462

24 Qian Zhang, Le Xie (2025): PowerAgent: A Roadmap Towards Agentic Intelligence in Power Systems. TechRxiv. June 06, 2025

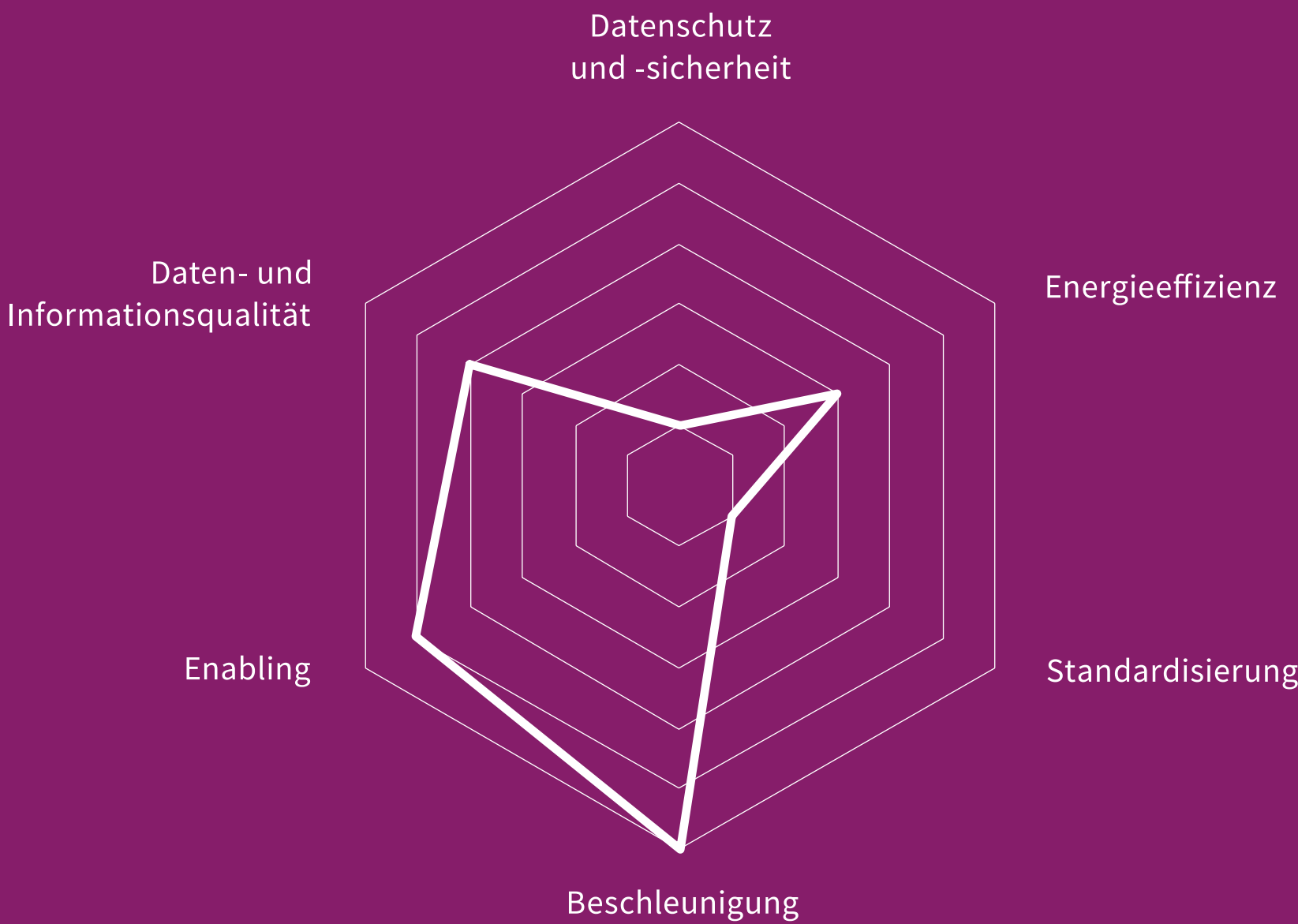
25 Vgl. Kelly, J. (2025): It's Time To Get Concerned As More Companies Replace Workers With AI. Forbes [online]. Verfügbar unter: www.forbes.com/sites/jackkelly/2025/05/04/its-time-to-get-concerned-klarna-ups-duolingo-cisco-and-many-other-companies-are-replacing-workers-with-ai [abgerufen: 24.09.2025]; vgl. Silverstein, K. (2024): How Will Artificial Intelligence Impact Inequality And Energy? Forbes [online]. Verfügbar unter: www.forbes.com/sites/kensilverstein/2024/03/11/how-will-artificial-intelligence-impact-inequality-and-energy/?utm_source=chatgpt.com [abgerufen: 21.07.2025]; vgl. Manning, S. (2024): AI's impact on income inequality in the US. Brookings [online]. Verfügbar unter: www.brookings.edu/articles/ais-impact-on-income-inequality-in-the-us/ [abgerufen: 21.07.2025]

26 Tyson, C. (2025): AI Agents: The New Workforce Changing the Rules of the Game. The AI Agent Architect [online]. Verfügbar unter: theagentarchitect.substack.com/p/economic-social-implications-ai-agents [abgerufen: 21.07.2025]

27 Kyriakarakos, G. (2025): Artificial Intelligence and the Energy Transition. Sustainability, 17(3): 1140

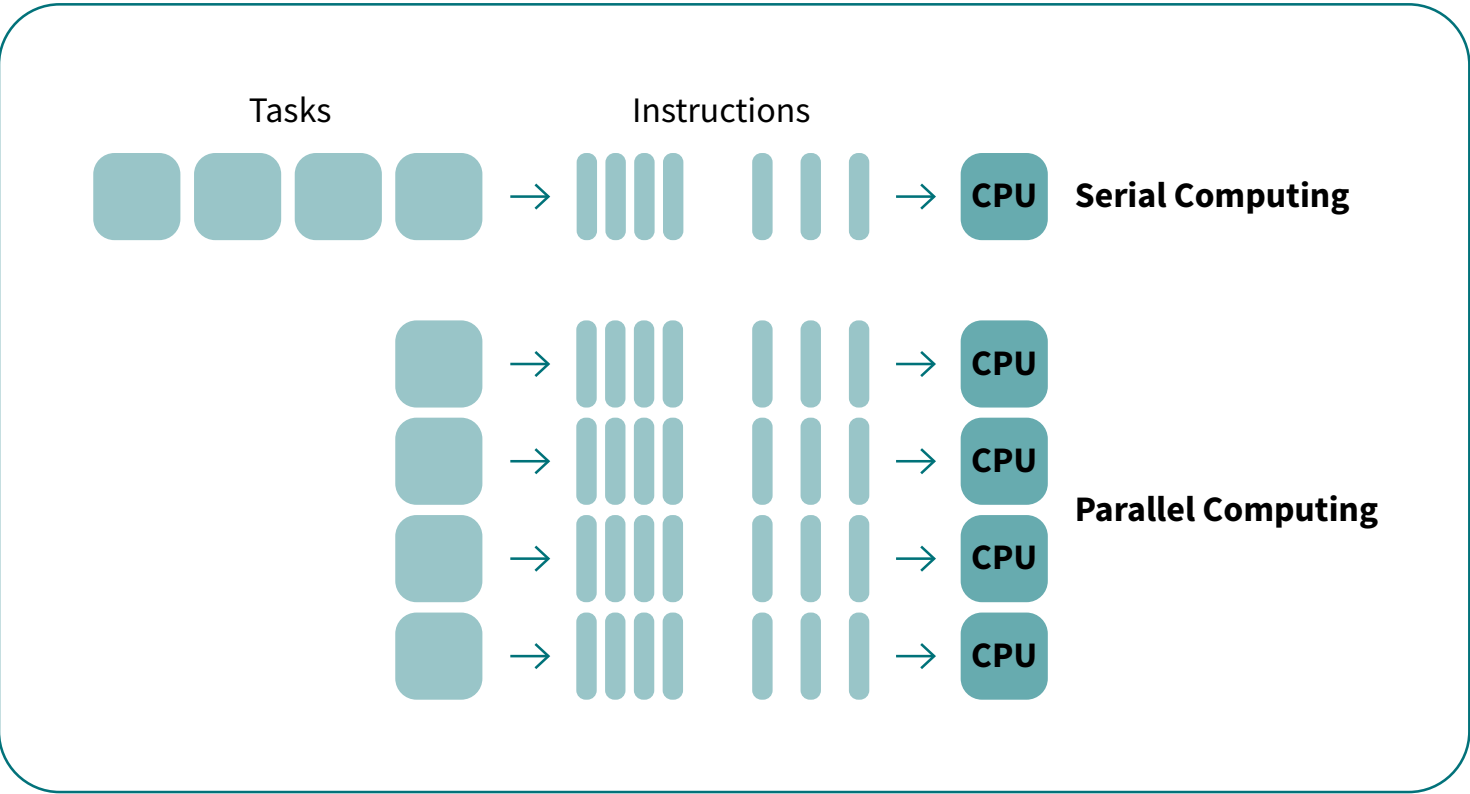
Einordnung des Nutzens für die Digitalisierung

Für eine Beschreibung der Funktionskategorien siehe Seite 14



Exascale Computing

Im Jahr 2022 ging im Oak Ridge National Laboratory mit Frontier der erste Exascale-Computer online.²⁸ Er erreichte zum ersten Mal in der Geschichte eine Rechenleistung von mehr als 1 Exa FLOP²⁹ und kann somit mindestens 1 Trillion Gleitkommaberechnungen pro Sekunde durchführen. Die Standard-Rechenleistung moderner PCs überschreitet nur selten die Tera-FLOP-Grenze, beträgt also weniger als ein Millionstel der Rechenleistung von Frontier. Für die Berechnungen, die Frontier in einer Sekunde abschließen kann, würden sie demnach 11 bis 12 Tage benötigen. Seitdem wurden bereits zwei weitere Exascale-Computersysteme entwickelt.



Moderne High-Performance-Computer arbeiten nach dem Prinzip der Parallelität. Dies lässt sich in einem Workflow mit fünf Schritten darstellen:

1. Problemzerlegung

Die zu bearbeitende Aufgabe wird in kleinere berechenbare Teile zerlegt und auf verschiedene Aufgabenblöcke verteilt.³⁰

2. Initialisierung und Verteilung

Die Daten werden vom parallelen Dateisystem geladen und die Aufgabenblöcke auf sogenannte Rechenknoten verteilt.³¹

3. Berechnungsphase

Die Berechnung findet lokal an den Knoten statt und wird hier durch die CPUs (Central Processing Units) gesteuert, wobei einige Prozesse an die GPUs (Graphics Processing Units) ausgelagert werden.³²

4. Kommunikationsphase

Nach jedem Zeitschritt werden die Daten und Prozesse synchronisiert.³³

5. Ergebnisaggregation

Die einzelnen Teilergebnisse werden zu einem Gesamtergebnis zusammengefasst.

Technologietyp:	Software	Hardware
	Konzept/Strategie	
Einfluss auf Daten:	Erfassung	Übertragung
	Speicherung	Verarbeitung
Technology Readiness / Etablierung in:		
Bereits in Verwendung		
Verwandte Themen:		
<ul style="list-style-type: none">El CapitanFrontierAuroraMulticore-CPUParallele Rechnerarchitekturen		



28 www.olcf.ornl.gov/olcf-resources/compute-systems/frontier/ [abgerufen: 21.08.2025]
29 Floating Point Operations Per Second, Einheit der Leistungsfähigkeit von Computern
30 builtin.com/articles/exascale-computing [abgerufen: 21.08.2025]
31 www.comconsult.com/hochleistungs-dateisysteme/ [abgerufen: 21.08.2025]
32 acecloud.ai/blog/high-performance-computing/
33 arshatkumar-96339.medium.com/message-passing-interface-mpi-88ca9bb14fd8 [abgerufen: 21.08.2025]

Um diese Arbeitsweise durch die Hardware zu gewährleisten, wird im Aufbau von Exascale-Computern auf eine parallele Rechnerarchitektur gesetzt. Das Gesamtsystem besteht aus Racks, die wiederum in Nodes (Rechenknoten) aufgeteilt sind. Nodes sind in ihrem Aufbau vergleichbar mit gängigen PCs und verfügen über CPUs (Hauptprozessoren), GPUs (Grafikprozessoren), Arbeitsspeicher, Festplattenspeicher und ein Kühlsystem. Sie sind durch Netzwerk-Interconnects, also Hochgeschwindigkeitsverbindungen mit geringer Latenz und hoher Bandbreite, verbunden.³⁴ Frontier, der derzeit zweitschnellste High-Performance-Computer der Welt, verfügt über 9.856 dieser Knoten.

Vor den 2000er Jahren war die Bedingung für eine Leistungssteigerung bei CPUs die Erhöhung der Taktfrequenz.³⁵ Dies führt allerdings zu einer stärkeren Beanspruchung der Rechenkerne und steigert das Risiko der Überhitzung. Um das Problem der Verbindung von höherer Rechenleistung und höherer Taktung zu lösen, werden für die Nodes Multicore-CPU³⁶s verwendet, die über mehrere Rechenkerne verfügen. Die einzelnen Kerne haben eine niedrigere Taktung als bei einem Single-Core-Prozessor und dadurch einen geringeren Energieverbrauch und Kühlaufwand. Außerdem können durch diesen Aufbau Berechnungen parallel ablaufen.

Eine weitere wichtige Komponente sind die GPUs. Sie verfügen über eine hohe Anzahl an Rechenkernen und können ebenfalls parallele Berechnungen durchführen.³⁷ Jeder Node verfügt zudem über einen großen Arbeitsspeicher (RAM) und Massenspeicher (Storage). Für das Kühlsystem haben sich Warmwasserkühlungen als besonders vorteilhaft erwiesen, da die Wärmeaufnahme gegen-

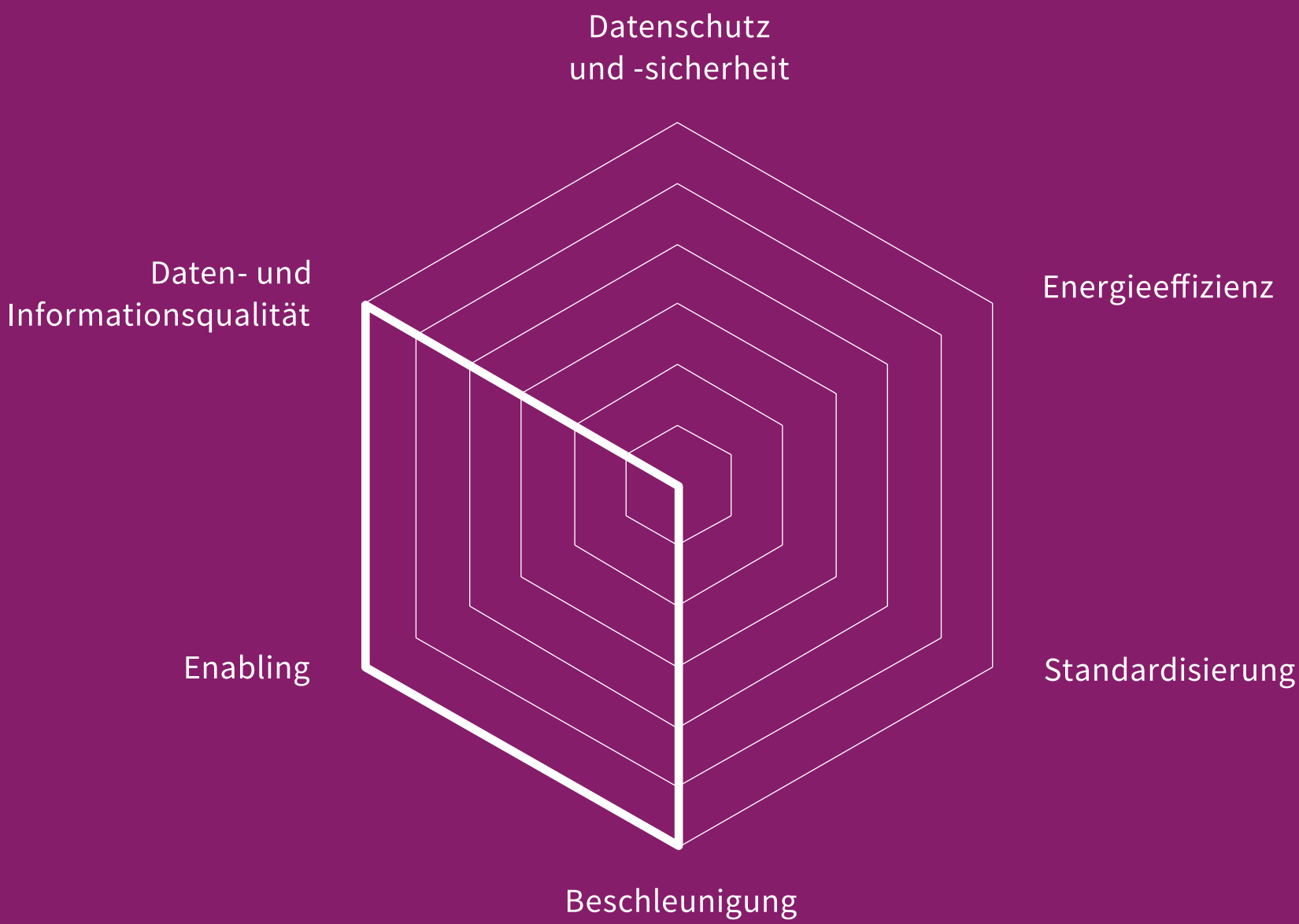
über beispielsweise Luft wesentlich effizienter erfolgt und das Medium an sich weniger rückgekühlt werden muss.

Neben dem technischen Aufbau muss auch der Software-Stack an die parallele Rechnerarchitektur angepasst werden. So werden für den Betrieb der Multicore-CPU³⁸s entweder Programme verwendet, deren Berechnungen für ihre Ausführung in mehrere Teilberechnungen zerlegt werden können, oder das Betriebssystem ist in der Lage, parallel laufende Anwendungen auf verschiedene Rechenkerne zu verteilen. Für die Auslagerung von Berechnungen an die GPU wird eine Schnittstelle (z. B. CUDA) benötigt.³⁸ Wie bereits im Workflow angesprochen, werden für Exascale-Computer parallele Dateisysteme verwendet³⁹, die einen Zugriff mehrerer Anwendungen auf Dateien und die Verteilung von Daten auf mehrere Speichergeräte gewährleisten. Auch für die Kommunikation zwischen den einzelnen Nodes ist eine bestimmte Schnittstelle (Message Passing Interface) erforderlich, die über die Netzwerk-Interconnects eine Synchronisation der parallelen Anwendungen ermöglicht.⁴⁰

Mit der Entwicklung und dem Betrieb von Exascale-Computern sind neben großen Potenzialen auch Herausforderungen verbunden. So benötigen alle drei der existierenden Exascale-Computer (El Capitan, Frontier, Aurora) eine elektrische Leistung von 20 MW bis nahezu 40 MW.⁴¹ Für Frontier bedeutet das bei einem durchschnittlichen Strompreis von 0,1 \$/kWh und einer Leistung von 24 MW Kosten von 2.400 \$/h. Je nach verwendeter Primärenergie müssen hier auch Emissionen berücksichtigt werden. Zudem ist die Abwärme eines einzelnen Racks ca. 10- bis 15-mal höher als die eines

Einordnung des Nutzens für die Digitalisierung

Für eine Beschreibung der Funktionskategorien siehe Seite 14



34 Khorassani, K., Shafi, A., Chen, C.-C., Subramoni, H., Ramesh, B., & Panda, D.: High Performance MPI over the Slingshot Interconnect: Early Experiences [online]. Verfügbar unter: dl.acm.org/doi/10.1145/3491418.3530773 [abgerufen: 21.08.2025]

35 Takt = Berechnungszyklus

36 www.elektronik-kompodium.de/sites/com/1203171.htm [abgerufen: 21.08.2025]

37 www.megware.com/glossar/gpu/ [abgerufen: 21.08.2025]

38 www.computerwoche.de/article/2818437/was-ist-cuda.html [abgerufen: 21.08.2025]

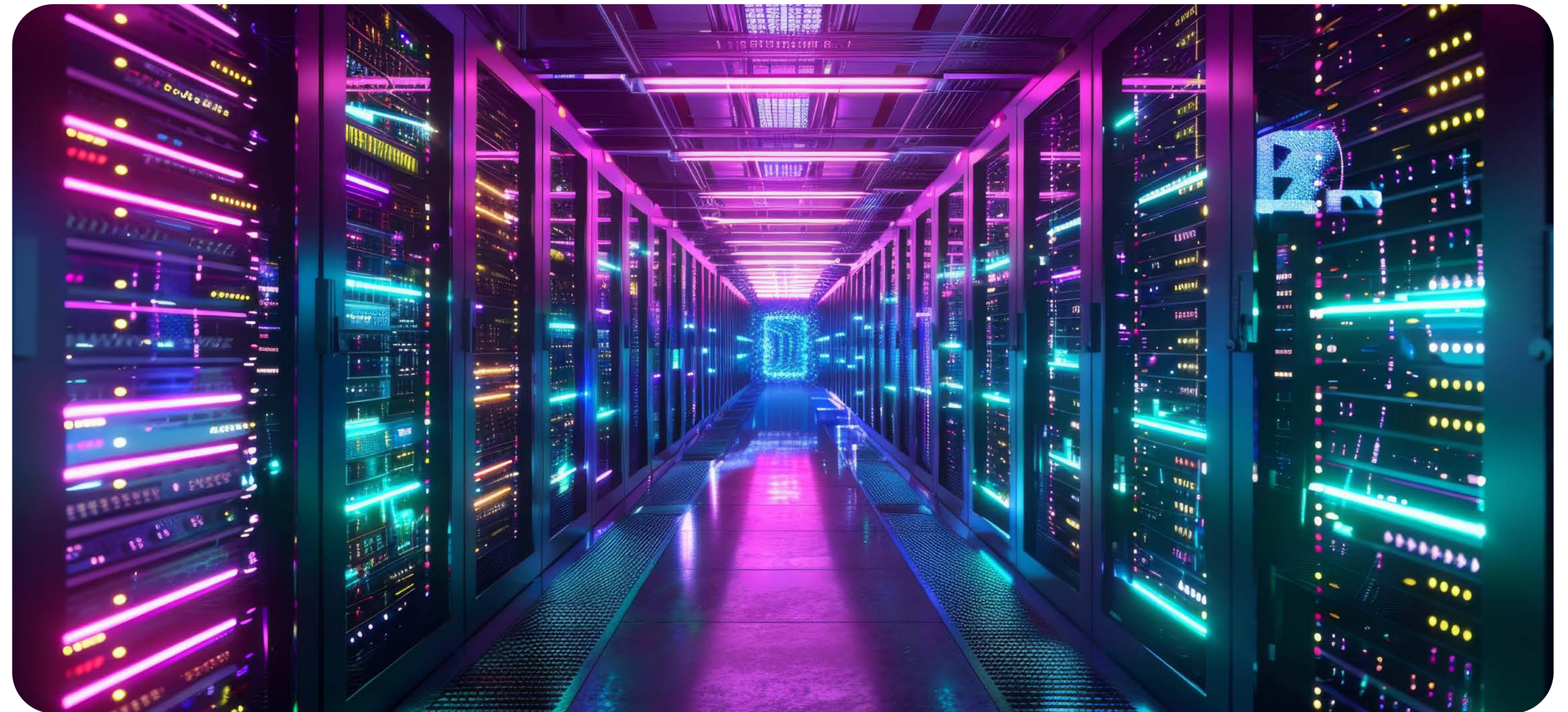
39 gi.de/informatiklexikon/parallele-dateisysteme [abgerufen: 21.08.2025]

40 Khorassani, K., Shafi, A., Chen, C.-C., Subramoni, H., Ramesh, B., & Panda, D.: High Performance MPI over the Slingshot Interconnect: Early Experiences [online]. Verfügbar unter: dl.acm.org/doi/10.1145/3491418.3530773 [abgerufen: 21.08.2025]

41 top500.org/lists/top500/2025/06/ [abgerufen: 21.08.2025]

durchschnittlichen Einfamilienhaushalts.⁴² Abwärme trägt, wenn auch in wesentlich geringerem Umfang als Treibhausgase, zur planetaren Erwärmung bei und sollte dementsprechend aus Perspektive des Klimaschutzes so gering wie möglich gehalten werden.⁴³

Dem gegenüber stehen energiewirtschaftliche Vorteile. Mögliche Anwendungsfälle sind Simulationen für die Netzausbauplanung oder atomarer Wechselwirkungen. So lassen sich Stromnetze wesentlich präziser hinsichtlich ihrer einzelnen Komponenten modellieren. Zentrale Herausforderungen der Modellierung ergeben sich einerseits aus der hohen Varianz möglicher Systemzustände infolge der Unsicherheiten wetterabhängiger Einspeisungen erneuerbarer Anlagen, andererseits aus den enormen Datenmengen intelligenter Messsysteme, die bislang nur schwer effizient verarbeitet werden können. Mittels Exascale Computing könnten sich die Komponenten von Energienetzen genauer abbilden, Energieverfügbarkeiten und -verteilung genauer prognostizieren und mehrere Szenarien parallel simulieren lassen.⁴⁴ Ein weiteres anschauliches Beispiel sind Windparks. Für sie ließen sich von der Aerodynamik unter verschiedenen Bedingungen (Wetter, Geografie, Verhalten der Turbinen untereinander) innerhalb eines Parks über die ideale Form von Rotorblättern bis hin zur idealen Standortauswahl für einen Neubau viele verschiedene Aspekte simulieren.⁴⁵ Durch die genauere Simulation atomarer Wechselwirkungen wäre es möglich, dass beispielsweise die Energiedichte von Energiespeichern effizienter gestaltet oder der Wirkungsgrad von Solarzellen erhöht wird.⁴⁶ Um genaue Angaben über das Veränderungspotenzial und die Effizienz des Einsatzes von Exascale Computing in der Energiewirtschaft machen zu können, bedarf es allerdings der Durchführung und Analyse der hierzu geplanten Projekte mit anschließender Auswertung der daraus resultierenden Daten.



42 www.fz-juelich.de/en/news/archive/feature-stories/challenge-exascale [abgerufen: 21.08.2025]

43 skepticalscience.com/arg_Abwaerme-globale-Erwaermung.htm [abgerufen: 28.08.2025]

44 www.exascaleproject.org/research-project/exasgd/ [abgerufen: 21.08.2025]

45 www.exascaleproject.org/research-project/exawind/ [abgerufen: 21.08.2025]

46 www.exascaleproject.org/research-project/nwchemex/ [abgerufen: 21.08.2025]

Zusammenfassung

Für jede der Technologien in dieser Ausgabe des Future-Energy-Technologiescoutings gilt, dass sie die Möglichkeit bieten, tiefgreifende Veränderungen in der Energiewirtschaft zu bewirken.

Continuous Threat Exposure Management (CTEM) ist ein kontinuierlicher, risikobasierter Ansatz zur Identifikation, Bewertung und Behebung von Sicherheitsrisiken an digitalen und physischen Assets. In der Energiewirtschaft kann es das ISMS als operatives Werkzeug ergänzen, um NIS2-Anforderungen agil umzusetzen und auf dynamische Bedrohungen schnell zu reagieren. Die Verbreitung von CTEM in der deutschen Energiewirtschaft ist bislang begrenzt, sodass es an praktischen Erfahrungen für belastbare Evaluationen mangelt.

Die steigende Komplexität und Unsicherheit im Energiesystem üben zunehmend Druck auf klassische, deterministische Netzberechnungsverfahren aus, während der Einsatz herkömmlicher Machine-Learning-Modelle oft durch Datenmangel und eine geringe Übertragbarkeit limitiert ist. **Grid Foundation Models (GFM)** bieten eine vielversprechende Lösung, da sie auf Basis großer, heterogener Datensätze und physikalischer Netzmodelle vortrainiert werden, wodurch sie mit geringem Fine-Tuning-Aufwand präzise, rechenzeiteffiziente Analysen wie Leistungsflussberechnungen oder Ausfallanalysen ermöglichen.

AI Agents erweitern klassische Sprachmodelle um Planungslogik, Gedächtnis und Werkzeugnutzung, wodurch sie nicht nur auf Anfragen reagieren, sondern selbstständig komplexe Aufgaben ausführen, Entscheidungen treffen und Prozesse koordinieren können – einzeln oder im Zusammenspiel als Multi-Agenten-Systeme. Im Energiesektor können AI Agents einen Beitrag leisten, indem sie komplexe Aufgaben wie Netzplanung, Betriebsführung oder das Management dezentraler Energiesysteme unterstützen und dadurch Effizienz, Reaktionsgeschwindigkeit und Entscheidungsqualität steigern.

Exascale Computing ermöglicht neue Dimensionen der Netzausbauplanung. Das bezieht sich sowohl auf die Infrastruktur als auch auf die Entwicklung von einzelnen Komponenten für die Erzeugung und Speicherung von Energie. So kann beispielsweise aufseiten der Erzeugung durch Simulationen der Einsatz erneuerbarer Energien wie Wind- oder Solarkraft optimiert werden. Das betrifft sowohl die Verbesserung der Hardware an sich als auch die Auswahl der Standorte für Erzeugungsanlagen. Durch die vielfältigen Einsatzmöglichkeiten bietet diese Technologie ein großes Potenzial für die Verbesserung von Energiesystemen.

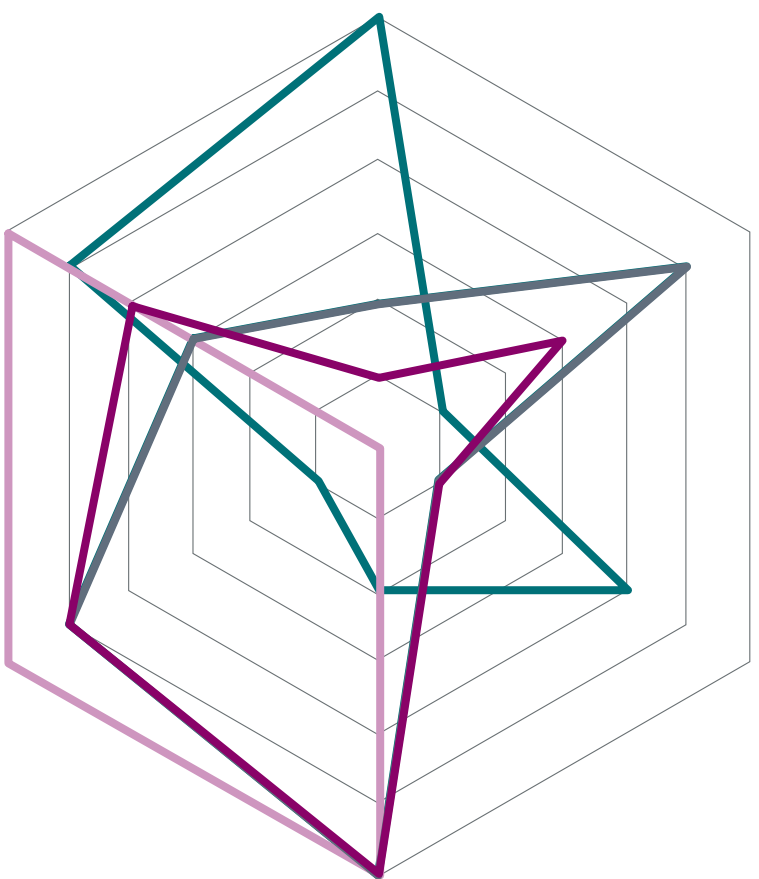
Zusammenfassung und Beschreibung der Funktionskategorien

Datenschutz und -sicherheit

Datenschutz bezieht sich auf die Verhinderung der missbräuchlichen Verwendung personenbezogener Daten nach rechtlichen Vorgaben und die Ermöglichung der Selbstbestimmung über die eigenen Informationen der betroffenen Person. Datensicherheit gewährleistet den Schutz von Daten vor Verlust, Verfälschung, Beschädigung oder unautorisiertem Zugriff.

Daten- und Informationsqualität
Die Qualität von Daten und Informationen bemisst sich an der Passgenauigkeit für ihre vorgesehene Anwendung. Die dabei vordergründig relevanten Merkmale der Daten und Informationen sind die Vollständigkeit, Aktualität und Einheitlichkeit sowie die Widerspruchs- und Fehlerfreiheit.

Enabling
Durch disruptive Innovationen und Technologien können die Voraussetzungen für vollkommen neue oder signifikant veränderte Produkte oder Prozesse geschaffen werden. Beispielsweise sind Bike- oder Carsharing-Angebote in ihrer heutigen Flexibilität nur durch digitale Ortungsdienste möglich geworden.



Energieeffizienz
Energieeffizienz ist das Verhältnis eines Nutzens (z. B. einer Anzahl durchgeführter Berechnungen eines Computers) zu der dazu notwendigen Energie. Durch eine erhöhte Energieeffizienz kann bei gleichbleibendem Nutzen Energie eingespart oder bei gleichem Energieverbrauch der Nutzen erhöht werden (Rebound-Effekt).

Standardisierung
Standardisierung beschreibt die Festlegung von gemeinsamen Spezifikationen für Produkte, Dienstleistungen und Prozesse mehrerer Personen oder Institutionen. Dadurch können die Interoperabilität und Vergleichbarkeit der standardisierten Elemente erhöht werden.

Beschleunigung
Beschleunigung beschreibt die Zunahme der Geschwindigkeit von beispielsweise administrativen Prozessen, der Datenübertragung oder computergestützten Berechnungen.

Impressum

HERAUSGEBER:

Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
Chausseestraße 128 a
10115 Berlin
Tel.: +49 30 66 777-0
Fax: +49 30 66 777-699
E-Mail: info@dena.de

www.future-energy-lab.de
www.dena.de

AUTORINNEN UND AUTOREN:

Marius Dechand, dena
Leon König, dena
Maximilian Scholz, dena
Jasmin Wagner, dena

KONZEPTION & GESTALTUNG:

Heimrich & Hannot GmbH

BILDNACHWEISE:

Titel, S. 3, 4, 7, 9, 11 – Freepik
S. 2 – shutterstock/GarryKillian
S. 6 – shutterstock/AIBooth
S. 8 – shutterstock/estar 2020
S. 10 – shutterstock/CineVI
S. 13 – shutterstock/Miguel Palos Pou

STAND:

10 / 2025
Alle Rechte sind vorbehalten. Die Nutzung steht
unter dem Zustimmungsvorbehalt der dena.

BITTE ZITIEREN ALS:

Deutsche Energie-Agentur (Hrsg.) (dena, 2025):
Future-Energy-Technologiescouting –
Digitale Technologien für die Energiewende – Ausgabe 3



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Die Veröffentlichung dieser Publikation erfolgt im Auftrag
des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.
Die Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) unterstützt die
Bundesregierung in verschiedenen Projekten zur Umsetzung
der energie- und klimapolitischen Ziele im Rahmen der
Energiewende.



Future Energy
Lab

Ein Projekt der

dena