

# ANWENDUNG KÜNSTLICHER INTELLIGENZ IM ENERGIESEKTOR



Ein Policy Paper der wissenschaftlichen Begleitforschung  
des Technologieprogramms Smart Service Welt II  
gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

## Impressum

### Herausgeber

Begleitforschung Smart Service Welt II  
Institut für Innovation und Technik (iit)  
in der VDI/VDE Innovation + Technik GmbH

Guido Zinke  
Steinplatz 1  
10623 Berlin  
zinke@iit-berlin.de

### Texte und Redaktion

Begleitforschung Smart Service Welt II  
Dr. Stefan Wolf  
Roman Korzynietz  
Dr. Markus Gaaß  
Dr. Tom Kraus  
Dr. Inessa Seifert  
Dr. Matthias Bürger  
Guido Zinke

### Gestaltung

LoeschHundLiepold Kommunikation GmbH

### Bilder

urbans78 – Fotolia.com

### Stand

Mai 2019

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# INHALT

Management Summary .....	4
<b>1 Künstliche Intelligenz für die Energiewende .....</b>	<b>6</b>
1.1 Die Digitalisierung der Energiewende .....	6
1.2 Schlüsseltechnologie künstliche Intelligenz .....	7
1.3 Von den Herausforderungen zur Roadmap .....	7
<b>2 Status quo, Potenziale und Herausforderungen .....</b>	<b>8</b>
2.1 KI-Anwendungen im Energiesektor .....	9
2.2 Aktuelle Herausforderungen .....	9
<b>3 Wegbereitung für KI im Energiesektor .....</b>	<b>12</b>
3.1 Internationale Einordnung .....	12
3.2 Handlungsempfehlungen .....	13
3.3 Der Weg in die Umsetzung .....	15
Anhang: Ausgewählte aktuelle Anwendungen .....	17
Literaturverzeichnis .....	23



# MANAGEMENT SUMMARY

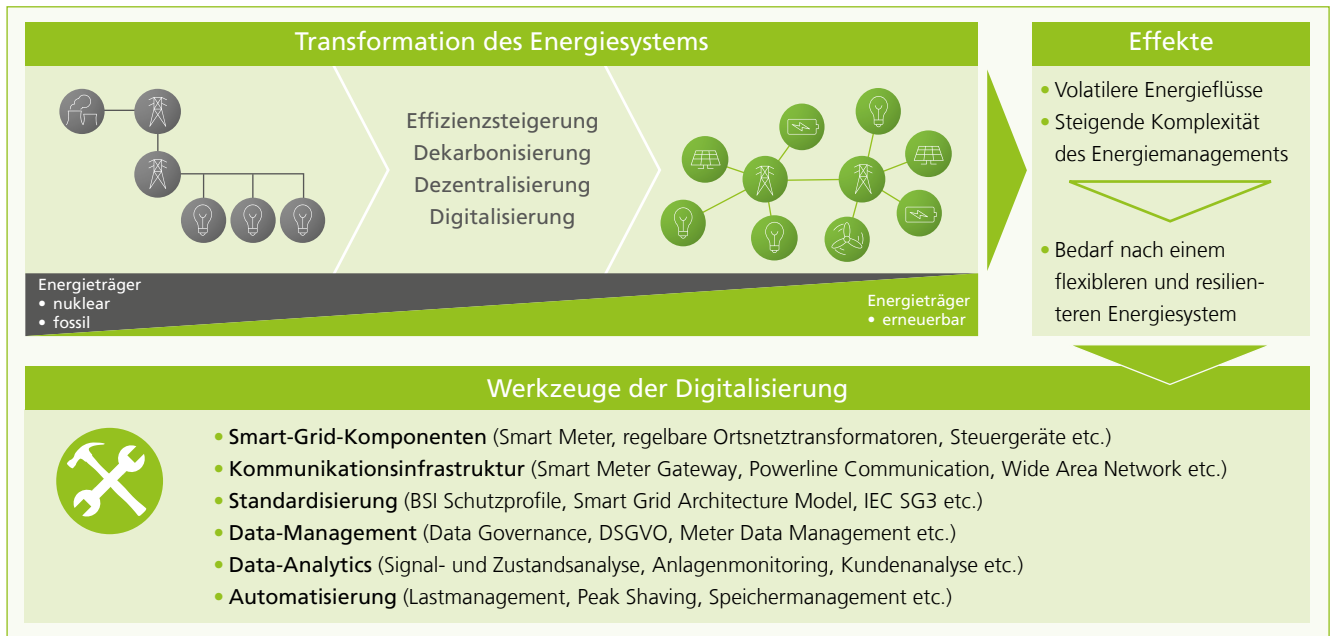


Abbildung 1: Transformation des Energiesystems

Der Energiesektor befindet sich in einem fundamentalen Umbruch geprägt von Digitalisierung und Energiewende. Die Dezentralisierung des Energiesystems, der Anschluss neuer elektrischer Verbraucher und der wachsende Anteil fluktuierender erneuerbarer Energien an der Energieerzeugung führen zu einer wachsenden Komplexität des Energiesystems. Das Management dieses komplexen Systems ist eine der zentralen Herausforderungen der Energiewende. Die Digitalisierung liefert die in Abbildung 1 aufgeführten Werkzeuge, um diese Herausforderung zu bewältigen.

Die Methoden der künstlichen Intelligenz (KI) können dabei helfen, die Datenströme der Digitalisierung optimal zu nutzen und die steigende Komplexität des Energiesystems zu beherrschen. Unter KI versteht man die maschinelle Nachbildung der kognitiven Eigenschaften des Menschen, wie die Fähigkeit zum Lernen oder zur Improvisation. Der Energiesektor ist einer der Wirtschaftszweige, die am meisten von KI-Anwendungen profitieren können. So können KI-Systeme beispielsweise zur (Teil-)Automatisierung von Entscheidungs-, Steuerungs- und Regelungsprozessen im Energiesystem beitragen. Die Überwachung von Anlagen durch KI-Systeme kann mögliche Störungen bereits im Voraus aufdecken und rechtzeitig Instandhaltungsmaßnahmen veranlassen. Ferner kann KI zur Verbesserung von Erzeu-

gungs- und Lastprognosen oder zur Prognose von Energiepreisen eingesetzt werden und so sowohl im Netzbetrieb als auch im Energiehandel zu Effizienzsteigerungen führen. Durch die Auswertung von Messdaten können KI-Systeme überdies Empfehlungen zur Optimierung des Energieverbrauchs geben und so die Energieeffizienz signifikant steigern. Auch in der Beziehung zum Kunden können KI-Systeme eingesetzt werden, um individuelle Services und Zusatzleistungen zu kreieren oder personalisierte Marketingbotschaften zu kreieren.

Damit der Energiesektor von der KI-Technologie profitieren und eine globale Vorreiterrolle in der Digitalisierung der Energiewende einnehmen kann, ist eine sektorspezifische Betrachtung notwendig. Hier setzt diese Publikation an und liefert Handlungsempfehlungen für Entscheider aus Politik und Wirtschaft. Es werden Anwendungsmöglichkeiten für KI im Energiesektor aufgezeigt, bestehende Herausforderungen diskutiert und innovationspolitische Maßnahmen formuliert, die zur Ausschöpfung der Potentiale der KI über alle Wertschöpfungsstufen des Energiesektors hinweg beitragen können. Die zentralen Ergebnisse dieser Betrachtung sind in einer Übersicht in Abbildung 2 zusammengefasst.

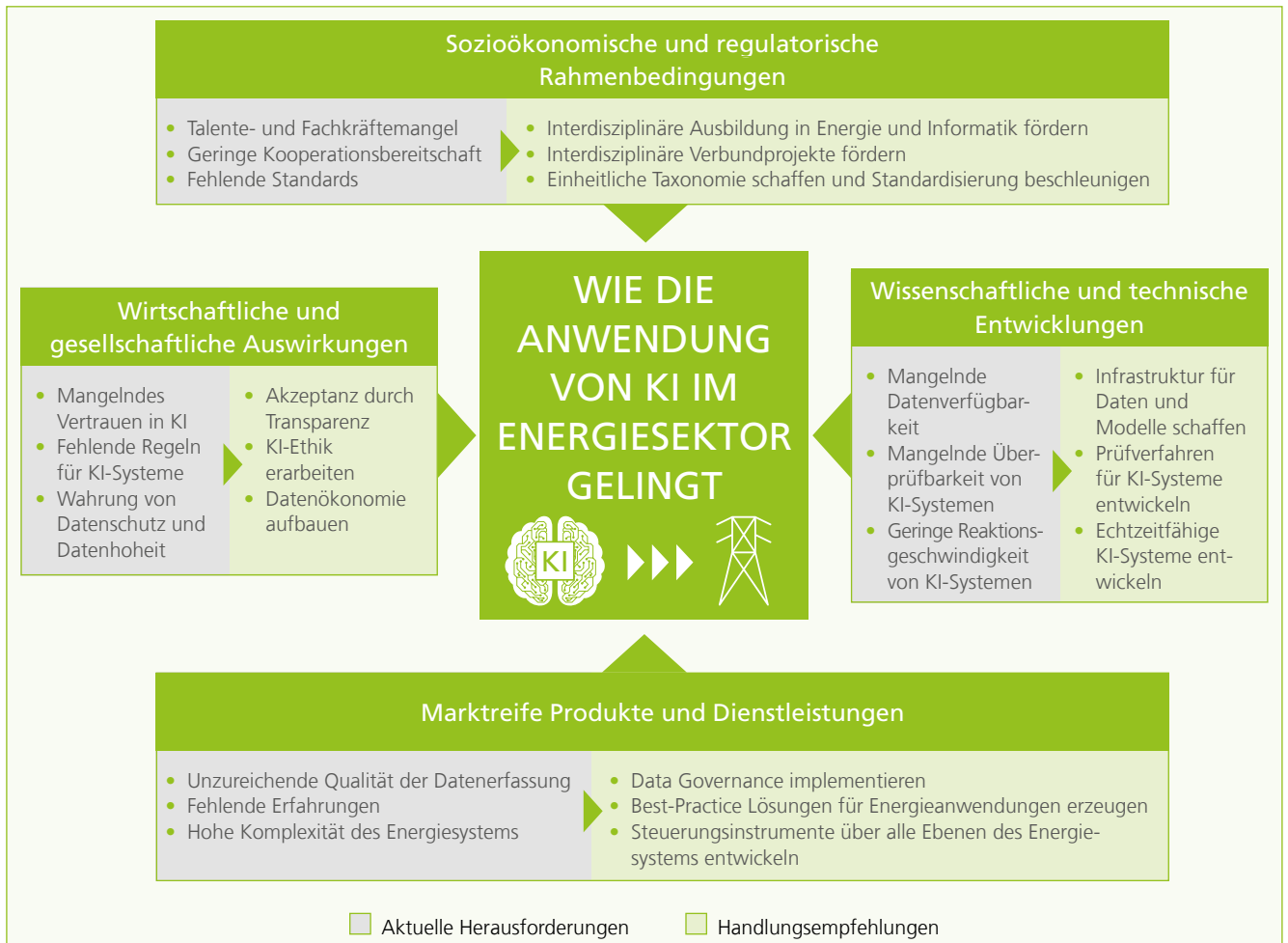


Abbildung 2: Aktuelle Herausforderungen und Handlungsempfehlungen für die Anwendung von KI im Energiesektor

Zur erfolgreichen Anwendung von KI im Energiesektor müssen zwei Pfade verfolgt werden. Zum einen muss die Erforschung von Schlüsseltechnologien für Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen durch interdisziplinäre Verbundprojekte, durch die Einrichtung von Reallaboren oder durch Förderprogramme zum Aufbau von Datenmarktplätzen oder zur Erforschung echtzeitfähiger KI-Systeme vorangetrieben werden. Darauf aufbauend können beispielsweise automatisierte Steuerungssysteme für Verteil- oder Arealnetze entwickelt werden. Zum anderen muss die Akzeptanz von KI-Anwendungen durch mehr Transparenz und Nachvollziehbarkeit gestärkt werden. Dazu sollte der gesellschaftliche Prozess zur Ausgestaltung einer KI-Ethik

vorangetrieben werden. Gleichzeitig sollte ein Forschungsprogramm zur Entwicklung von Prüfmethode für KI-Systeme aufgesetzt werden. Deutschland befindet sich in einer guten Ausgangsposition für die Entwicklung von KI-Lösungen für den Energiesektor. Der hierzulande hohe Anteil volatiler erneuerbarer Energien an der Stromerzeugung generiert Herausforderungen, die in vielen anderen Ländern erst in den kommenden Jahren auftreten werden. Zugleich verfügen deutsche Forschungseinrichtungen über eine ausgeprägte Kompetenz auf dem Feld der künstlichen Intelligenz. Diese Konstellation sollte genutzt werden, um mit deutscher Technologie Marktpotenziale zu erschließen, die die globale Energiewende eröffnet.

# 1 KÜNSTLICHE INTELLIGENZ FÜR DIE ENERGIEWENDE

Seit Jahren befindet sich der Energiesektor in einem fundamentalen Transformationsprozess. Dieser Wandel ist notwendig, will man die von der Bundesregierung gesteckten energie- und klimapolitischen Ziele erreichen. Gegenüber dem Referenzjahr 1990 wird eine Senkung der deutschen Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 Prozent bis zum Jahr 2050 angestrebt. Dies gelingt nur, wenn weit mehr als die Hälfte des Bruttoendenergieverbrauchs durch erneuerbare Energien gedeckt und die Energieeffizienz kontinuierlich erhöht wird [1].

Mit der Energiewende verändert sich nicht nur die Art der Energieerzeugung, vielmehr wird die gesamte Struktur des Energiesystems neu definiert. Durch erneuerbare Energien verlagern sich die Kosten der Energieversorgung von den Betriebskosten zu Investitionsausgaben. Alte Geschäftsmodelle funktionieren nicht mehr. Etablierte Unternehmen des Energiesektors geraten unter Druck und neue Akteure drängen auf den Markt. Das bislang hierarchisch organisierte Energiesystem wird zu einem dezentralen und digital vernetzten System einiger großer und einer Vielzahl kleinerer Akteure [2]. Die kleinteiligere dezentrale Struktur des Energiesystems erfordert mehr Kommunikation und Abstimmung auf allen Ebenen. Durch dezentrale erneuerbare Energien und neue Verbraucher werden Energieflüsse zudem volatiler. Wichtige Parameter wie die Netzauslastung sind damit weniger vorhersehbar.

Die zentrale Herausforderung in diesem zunehmend komplexer werdenden System besteht darin, die Energieerzeugung mit dem Energieverbrauch sowohl örtlich als auch zeitlich zu synchronisieren. Wo früher einfache Handlungsleitfäden und telefonische Absprachen genühten, müssen im erneuerbaren und dezentralen Energiesystem in kurzer Zeit zahlreiche komplexe Entscheidungen getroffen werden. Diese hängen zudem von einer Vielzahl an Randbedingungen wie beispielsweise den Wetterbedingungen oder der aktuellen Netzauslastung ab. Dazu müssen Informationen gesammelt, verarbeitet und aufbereitet werden. Folglich führt die Transformation des Energiesystems zu einem wachsenden Bedarf nach Automatisierungslösungen und einer leistungsfähigen Informations- und Kommunikationsinfrastruktur [3].

## 1.1 Die Digitalisierung der Energiewende

Die Digitalisierung und insbesondere die Informations- und Kommunikationstechnologien liefern die nötigen Werkzeuge, um das Energiesystem flexibler und resilienter zu gestalten und damit der wachsenden Komplexität zu begegnen. Smart-Grid-Komponenten erfassen Daten zum aktuellen Zustand von Anlagen und Netzen und ermöglichen per Fernzugriff zudem deren Steuerung. Eine Voraussetzung für die Nutzung der Daten ist eine sichere und schnelle Kommunikationsinfrastruktur. Damit die Kommunikation über die verschiedenen Ebenen eines multimodalen Energiesystems hinweg funktionieren kann, gilt es durch Standardisierung Informationsschnittstellen zu definieren und die Systemarchitektur zu vereinheitlichen. So können Daten aus dem in der Fläche weit verzweigten Energiesystem erfasst, gesammelt und verarbeitet werden. Auf diese Weise führt die Digitalisierung zu zahlreichen neuen Datenströmen. Ein geeignetes Datenmanagement trägt dafür Rechnung, diese Datenströme strukturiert und maschinenlesbar zu erfassen und zu verwalten. Data Analytics Methoden geben Aufschluss über den Zustand des Energiesystems und erlauben damit Prognosen, die als Entscheidungsgrundlage für zukünftiges Handeln genutzt werden können. Zudem können Datenauswertungen Ineffizienz offen legen und dazu beitragen Systemfehler zu beheben oder bereits im Vorfeld zu vermeiden. Der Regelkreis schließt sich, wenn entsprechende Informationen durch Algorithmen interpretiert und in (teil-)automatisierte Handlungen umgesetzt werden.

## 1.2 Schlüsseltechnologie künstliche Intelligenz

Aufgrund der Geschwindigkeit des beschriebenen Transformationsprozesses entsteht im Energiesektor ein Demand Pull für neue digitale Lösungen, die das Management eines erneuerbaren und zunehmend dezentral organisierten Energiesystems erleichtern. Die Anwendung künstlicher Intelligenz (KI) kann hier ganz konkret helfen, der wachsenden Komplexität Herr zu werden, begrenzte Ressourcen und Infrastrukturen optimal zu nutzen und das Energiesystem als Ganzes flexibler und resilienter zu gestalten.

Doch warum gerät künstliche Intelligenz gerade jetzt in den Fokus? Aus methodischer Perspektive ist vieles, was man heute unter KI versteht, nicht wirklich neu. Immerhin forscht man bereits seit über 50 Jahren zur künstlichen Intelligenz. Der neuerliche Innovationssprung geht auf das Zusammenwirken von drei wesentlichen Faktoren zurück. Methodische Fortschritte führen zu einer erheblich verbesserten Lernfähigkeit von KI-Systemen. Gleichzeitig erzeugt die fortschreitende Digitalisierung stetig wachsende Datenmengen, die in strukturierter Form für das Training von lernenden Algorithmen verwendet werden können. Hinzu kommt die Verfügbarkeit großer Rechenleistung zu erschwinglichen Preisen. Das Zusammenwirken dieser drei Faktoren hat zum Wachstum eines technologischen Ökosystems beigetragen. Algorithmen und Rechenleistung können über Bibliotheken und APIs sowie über entsprechende Cloud-Angebote schnell und effizient genutzt werden, was zu einer hohen Dynamik bei der Entwicklung KI-basierter Lösungen und Produkte führt.

Mit dem Ziel Deutschland und Europa zu einem führenden KI-Standort zu machen und so zur Sicherung der künftigen Wettbewerbsfähigkeit Deutschlands beizutragen, hat die Bundesregierung im November 2018 ihre KI-Strategie präsentiert [4]. Diese sieht eine Reihe von Maßnahmen vor, welche die KI-Forschung in Deutschland befördern und den Transfer der Ergebnisse von der Forschung in die Wirtschaft beschleunigen sollen. Diese Publikation unterstützt den Transfer der Strategie in die Praxis des Energiesektors mit einer Analyse der sektorspezifischen Herausforderungen und der Formulierung entsprechender Handlungsempfehlungen.

## 1.3 Von den Herausforderungen zur Roadmap

Die Synthese von Handlungsempfehlungen fußt auf den drei Säulen Literaturrecherche, Expertenbefragung und den Ergebnissen eines Roadmapping-Workshops. Die Literaturrecherche liefert einen Überblick über bereits laufende Anwendungen von KI im Energiesektor. Zudem dient sie zur Identifikation von Experten, die zum einen die Belange des Energiesektors verstehen und zum anderen über Erfahrung in der Entwicklung und Anwendung von KI-Technologien verfügen.

Mittels einer Umfrage unter diesen Experten wurde ein Meinungsbild zu Perspektiven und Herausforderungen für die Anwendung von KI im Energiesektor erhoben. An dieser Befragung haben im Dezember 2018 insgesamt 36 Experten aus Wirtschaft und Forschung teilgenommen. Die Ergebnisse dieser Umfrage liefern ein Bild der Herausforderungen, die eine breite Nutzung von KI-Technologien im Energiesektor bislang noch erschweren.

Um aus diesen Herausforderungen Handlungsempfehlungen abzuleiten, wurde im Januar 2019 in Berlin ein Workshop mit 20 Experten aus Wirtschaft und Forschung durchgeführt. Organisiert und moderiert wurde dieser Workshop von neun In-House Experten des Instituts für Innovation und Technik (iit). Dazu wurde die Methode Visual-Roadmapping eingesetzt [5], bei der die teilnehmenden Experten interaktiv Erfolgsfaktoren beschreiben und auf einer Roadmap anordnen. Diese Methode dient der Überführung von implizitem Expertenwissen in explizite Handlungsempfehlungen. Gemeinsam mit den Experten wurden die erarbeiteten Handlungsempfehlungen in der Roadmap sowohl inhaltlich als auch in ihrer zeitlichen Abfolge priorisiert.

## 2 STATUS QUO, POTENZIALE UND HERAUSFORDERUNGEN

Es ist zu erwarten, dass die Nutzung von KI-Technologien in den kommenden Jahren in allen Wirtschaftssektoren rapide zunehmen wird. Der Weg dorthin ist allerdings noch ungewiss. Laut einer globalen Umfrage unter Führungskräften durchgeführt von MIT und Boston Consulting Group haben weniger als 40 Prozent der Unternehmen bereits eine KI-Strategie definiert, obgleich 80 Prozent der Befragten darin eine Chance für ihr Unternehmen sehen [6].

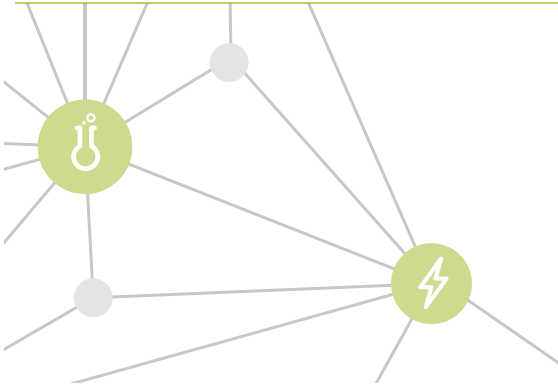
Bezogen auf den Energiesektor gaben 55 Prozent [6] der Befragten an, dass sich die Anwendung von KI innerhalb der kommenden fünf Jahre stark auf die internen Unternehmensprozesse auswirken wird. Lediglich 10 Prozent [6] waren der Meinung, dass dies bereits heute der Fall ist. Diese Beobachtung spiegelt sich auch in den Ergebnissen der Umfrage wider, die im Rahmen dieser Publikation durchgeführt wurde.

Die größten Potenziale für die Anwendung von KI haben die hier befragten Experten in den Aktivitätsfeldern Erzeugung, Kundenservice, Planung und Personalwirtschaft gesehen. Unter den Technologiefeldern dominieren Datenanalyse, Prognose, optimiertes Ressourcenmanagement und intelligente Sensorik. Das zusätzliche Wertschöpfungspotenzial durch konsequente Nutzung von KI im deutschen Energiesektor schätzt PricewaterhouseCoopers bis zum Jahr 2030 auf knapp 30 Mrd. Euro [7]. Das entspricht einem Anteil von 6,8 Prozent an der gesamten zusätzlichen Wertschöpfung [7], die laut PricewaterhouseCoopers durch KI in Deutschland erreicht werden soll. Damit gehört der Energiesektor zu den Branchen, die am meisten von KI-Anwendungen profitieren.



Abbildung 3: KI-Anwendungen entlang der Wertschöpfungskette des Energiesektors





## 2.1 KI-Anwendungen im Energiesektor

In den Unternehmen des Energiesektors befinden sich die bisherigen Aktivitäten im Einsatz von KI noch in einem frühen Stadium der Marktdiffusion. Erste Produkte und Dienstleistungen sind bereits verfügbar. Weitere Aktivitäten beschränken sich auf Entwicklungsprojekte und Feldversuche. Es werden erste Erfahrungen in der Anwendung von KI-Systemen gesammelt. Der Schwerpunkt liegt in den Bereichen Datenanalyse, Prognose, optimiertes Ressourcenmanagement, intelligente Assistenzsysteme, Wissensmanagement und intelligente Automatisierung. Dabei werden strukturierte Datenströme mit KI-Systemen automatisiert aufbereitet, ausgewertet und visualisiert.

Durch Mustererkennung können Abweichungen vom Sollzustand frühzeitig erkannt und entsprechende Warnungen generiert werden. Ferner können Informationen klassifiziert und so für die Weiterverarbeitung vorbereitet werden. Aus der gemeinsamen Interpretation von Daten aus verschiedensten Quellen können KI-Systeme Prognosen über künftige Entwicklungen ableiten und Handlungsoptionen aufzeigen oder direkt ausführen. Diese Fähigkeiten lassen sich auf eine Reihe von Problemen über die gesamte Wertschöpfungskette des Energiesektors hinweg anwenden. Die Übersicht in Abbildung 3 zeigt KI-Anwendungen für jede Wertschöpfungsstufe auf. Konkrete Projekte und Produkte zur Nutzung von KI im Energiesektor sind im Anhang dieser Publikation aufgeführt. Hierzu gehören kontinuierlich dazulernende Energie- und Lastprognosen für einzelne Kraftwerke oder ganze Stromnetze. Weitere KI-Anwendungen ermöglichen die detaillierte und frühzeitige Vorhersage von Störungen und tragen so zur Optimierung von Betrieb und Instandhaltung der Anlagen bei. Darüber hinaus werden KI-Systeme zur Aufschlüsselung und Analyse von Energieverbrauchsdaten in Haushalten und Unternehmen eingesetzt.

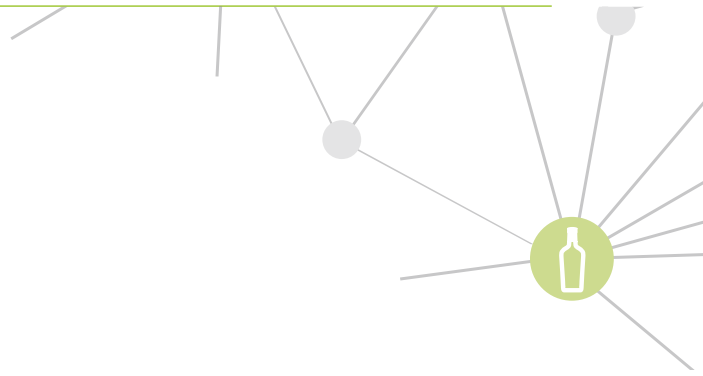
## 2.2 Aktuelle Herausforderungen

Es zeigt sich, dass im Energiesektor bereits in unterschiedlichster Ausprägung Anwendungen künstlicher Intelligenz zum Einsatz kommen und zugleich auch ein durchaus relevantes Potenzial besteht. Um die Brücke vom heutigen Nutzungsgrad zum Ausschöpfen des möglichen Potenzials morgen zu schlagen, bestehen einige Herausforderungen, die es zu lösen gilt. In der folgenden Betrachtung sind die Herausforderungen in vier Kategorien gegliedert.

Sozioökonomische und regulatorische Rahmenbedingungen beschreiben die Grundlage für den Aufbau eines Innovationssystems zur Anwendung von KI im Energiesektor. Wissenschaftliche und technische Entwicklungen liefern die notwendigen Schlüsseltechnologien für die erfolgreiche Entwicklung marktreifer Produkte und Dienstleistungen. Wirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen behandeln die Auswirkungen von Innovationen, die über die reine Anwendung von KI im Energiesektor hinausgehen.

### Sozioökonomische und regulatorische Rahmenbedingungen

- **Talente- und Fachkräftemangel:** Die Einführung digitaler Technologien im Energiesektor erfordert Fachwissen im IT-Bereich sowie dem Themenbereich Energie. Auf dem Arbeitsmarkt gibt es jedoch nur ein vergleichsweise kleines Angebot an Fachkräften, die diese interdisziplinäre Ausrichtung vorweisen können. Das erschwert eine domänenübergreifende Kommunikation und damit auch die Durchführung von Digitalisierungsprojekten im Energiesektor insgesamt.
- **Geringe Kooperationsbereitschaft:** Der Energiesektor ist geprägt von langen Investitionszyklen, die eine eher konservative Innovationskultur begünstigen. Durch die regulatorisch vorangetriebene organisatorische Entflechtung von Unternehmensaktivitäten (Unbundling), die Liberalisierung des Energiesektors und die fortschreitende Digitalisierung sinken die Markteintrittsbarrieren für neue Akteure. Das führt bei einigen etablierten Unternehmen des Energiesektors zu einer Abwehrhaltung und einer gering ausgeprägten Kooperationsbereitschaft hinsichtlich des Austauschs von Daten, Methoden und Informationen zu Unternehmensprozessen.



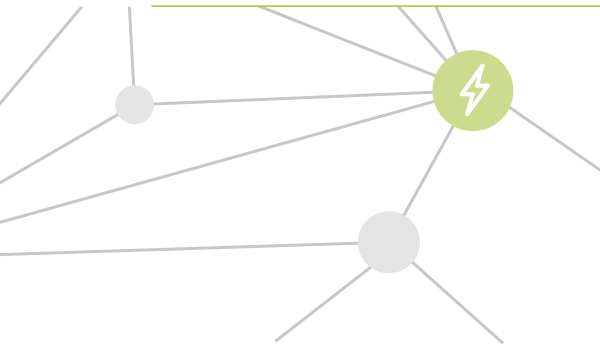
- **Fehlende Standards:** Die Anwendung von KI im Energiesektor setzt in vielen Bereichen die zentrale Zusammenführung von Datenströmen voraus, die durch die KI ausgewertet werden, um daraus Handlungsempfehlungen oder Steuersignale abzuleiten. Die dazu notwendige Kommunikation muss domänenübergreifend zwischen verschiedenen Akteuren funktionieren, die unterschiedlichen Bereichen der eigenen oder fremder Organisationen, zum Teil sogar aus verschiedenen Branchen, angehören. Dazu ist die Definition von technischen Standards notwendig. Bedingt durch die hohe Entwicklungsdynamik auf dem Feld digitaler Technologien und insbesondere in der Entwicklung von KI-Systemen sind schnelle und agile Standardisierungsprozesse erforderlich.

#### Wissenschaftliche und technische Entwicklungen

- **Mangelnde Datenverfügbarkeit:** Daten stehen in der Regel nur demjenigen zur Verfügung, der sie erfasst. Dieses Datenmonopol führt dazu, dass der Dateneigentümer auch die datenbasierten Services entwickelt. Das erschwert die Entwicklung von KI-Systemen durch Drittanbieter und bremst dadurch mögliche Innovationen aus. Im Energiesektor kommt hinzu, dass die für Automatisierungslösungen notwendigen Daten, insbesondere auf der Verteilnetzebene, bisher zum Teil noch gar nicht gesammelt werden. Vor allem bei kleinen Akteuren wie Stadtwerken tritt zudem oft das Problem auf, dass sie aus ihrem Kundenstamm heraus nicht die Menge an Daten generieren können, die für ein effektives Training der KI-Systeme nötig wären.
- **Mangelnde Überprüfbarkeit von KI-Systemen:** Derzeit verbreitete KI-Systeme beruhen nicht auf klassischer deterministischer Programmierung, sondern auf statistischer Datenanalyse. Deshalb können

Entscheidungen der KI nicht ohne Weiteres nachvollzogen werden. Entsprechend schwierig gestaltet sich die Überprüfung von KI-Systemen. Die Entwicklung von Produkten und Dienstleistungen nach dem „Trial-and-Error“-Prinzip ist in vielen Bereichen des Energiesektors nicht anwendbar, da Fehler zu erheblichen Folgekosten führen können. Daher werden validierbare Methoden benötigt, mit denen die Entscheidungen von KI-Systemen reproduzierbar nachvollzogen werden können.

- **Geringe Reaktionsgeschwindigkeit von KI-Systemen:** Im Energiesystem, insbesondere im Management der Stromnetze, muss vielfach innerhalb einer vorab definierten maximalen Zeitspanne auf Ereignisse reagiert werden. Die Anwendung von errechneten Entscheidungen oder Stellwerten, die zu spät an die jeweiligen Anlagen zurückgeführt werden, können zu unerwünschten Effekten führen und im schlimmsten Fall Schäden verursachen und die Systemstabilität beeinträchtigen. Um die funktionale Sicherheit zu gewährleisten, muss die Einhaltung von Randbedingungen, wie etwa Frequenz- und Spannungshaltung, auch bei Eingriffen von einem der Regelung übergeordneten KI-Entscheidungssystem sichergestellt werden. Damit KI-Systeme in entsprechenden Anwendungen eingesetzt werden können müssen sie daher hinreichend schnell Ergebnisse generieren und die funktionale Sicherheit gewährleisten. Dazu gehört auch die robuste Reaktion auf unvorhersehbare Störungen. Ein Aufschaukeln von Regelkreisen muss in jedem Fall verhindert werden.



### Marktreife Produkte und Dienstleistungen

- **Unzureichende Qualität der Datenerfassung:** Daten sind für KI-Systeme nur dann nutzbar, wenn sie standardisiert und maschinenlesbar erfasst werden. Zudem müssen Daten immer im Kontext ihrer Erfassung betrachtet werden. Bei der Zusammenstellung von Trainingsdatensätzen muss darauf geachtet werden, dass diese nicht vorurteilsbehaftet sind, da sonst die objektive Entscheidungsfindung von KI-Systemen beeinträchtigt wird. Diese Voraussetzungen sind vielfach nicht gegeben. Zum Teil findet die Datenverarbeitung im Energiesektor mit nicht standardisierten Excel-Tools statt. Während in großen Energiekonzernen bereits Projekte zur Verbesserung der Data Governance laufen und schon erste Erfahrungen mit KI-Anwendungen gesammelt werden, fehlt es auf der Ebene kleinerer Stadtwerke vielfach an grundlegenden Strukturen, um die eigenen Daten nutzbar zu machen.
- **Fehlende Erfahrungen:** KI ist für viele Akteure des Energiesektors ein neues Themenfeld, für das keine belastbaren Erfahrungen vorliegen. Zugleich drängen viele branchenfremde Unternehmen und insbesondere Start-Ups mit unausgereiften KI-Anwendungen auf den Markt. Das führt zu Verunsicherung und hemmt die Einführung von KI-Anwendungen im ohnehin eher konservativ geprägten Energiesektor.
- **Hohe Komplexität des Energiesystems:** Im Energiesektor sorgt die Kombination eines über mehrere Ebenen verzweigten Energiesystems mit einer umfangreichen Regulierung für eine hohe Komplexität. Aufgrund der fortschreitenden Dezentralisierung des Energiesystems wächst diese Komplexität weiter an. Gleichzeitig besteht ein Bedarf an Lösungen für eine Vereinfachung und (Teil-)Automatisierung von Entscheidungsprozessen. Die Entwicklung entsprechender Produkte stellt eine große Herausforderung dar, da eine Vielzahl an Einflussparametern berücksichtigt werden muss.

### Wirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen

- **Mangelndes Vertrauen in KI:** Heutige KI-Systeme erzeugen Ergebnisse, die nicht ohne weiteres nachvollzogen werden können. Daher spielt Vertrauen eine entscheidende Rolle für die Akzeptanz von KI. Zugleich erzeugen unklare Vorstellungen über die Möglichkeiten und Grenzen von KI-Anwendungen Vorbehalte und Ängste bei Beschäftigten und Kunden. Kleinere Energieversorgungsunternehmen sind zudem häufig stark regional verwurzelt, weshalb eine gute Kundenbeziehung essenziell für den nachhaltigen Erfolg des Unternehmens ist. Unsicherheit und mangelndes Vertrauen können hier zu einer zögerlichen Adaption von KI-Systemen führen.
- **Fehlende Regeln für KI-Systeme:** Der fehlende gesellschaftliche Konsens über die Regeln nach denen KI-Systeme eingesetzt werden stellt ein weiteres Risiko für die Akzeptanz von KI dar. Das ist insbesondere dann der Fall, wenn Menschen direkt von den Entscheidungen einer KI betroffen sind. Die fehlende Möglichkeit Entscheidungen mit dem Computer zu debattieren, erfordert eindeutige Regeln für den Einsatz von KI.
- **Wahrung von Datenschutz und Datenhoheit:** Die Entwicklung von KI-Systemen profitiert von der Verfügbarkeit großer und qualitativ hochwertiger Datenmengen. Das mangelnde Vertrauen über die Wahrung von Datenschutz und Datenhoheit stellt ein Hemmnis für das Teilen und Vermarkten von Daten dar. Die Herausforderung liegt in der Schaffung von Regeln und Best Practices, die das domänenübergreifende Zusammenführen und Verarbeiten von Daten und damit auch die Entwicklung von KI-Anwendungen erleichtern.

## 3 WEGBEREITUNG FÜR KI IM ENERGIESEKTOR

Durch Innovationsmaßnahmen können Politik und Wirtschaft die Entwicklung von KI-Anwendungen für den Energiesektor vorantreiben und die Marktdiffusion von entsprechenden Produkten und Dienstleistungen beschleunigen. Dazu wird im Folgenden zunächst eine internationale Einordnung der Wettbewerbssituation vorgenommen. Daran anknüpfend werden Handlungsempfehlungen vorgestellt und in Form einer Roadmap zeitlich und inhaltlich priorisiert.

### 3.1 Internationale Einordnung

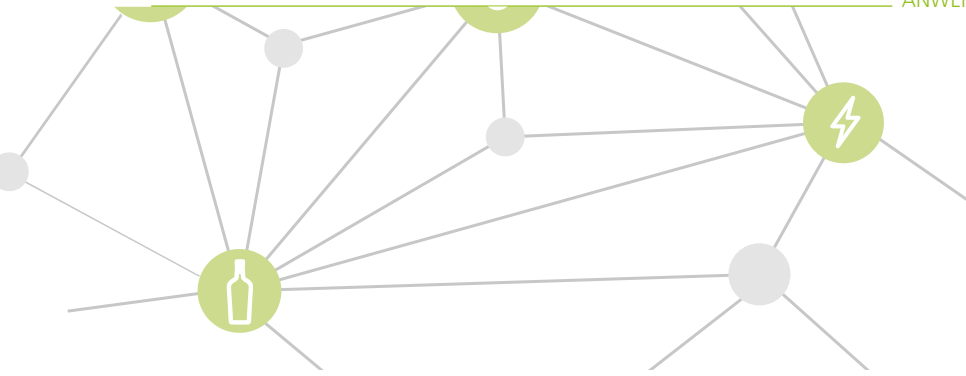
Im Zuge der global voranschreitenden Transformation des Energiesektors öffnen sich zusätzlich zu bereits bestehenden neue Marktpotenziale für den Einsatz von KI-Systemen. Zur Einordnung der Wettbewerbsfähigkeit des Standorts Deutschland im internationalen Vergleich wird hier eine Bewertung in den folgenden drei Kategorien vorgenommen:

- **Nachfrage:** Die Energiewende ist in hieszulande im internationalen Vergleich bereits weit fortgeschritten. Deutschland zählt neben Dänemark, Litauen, Uruguay, Spanien, Portugal und Irland zu den Ländern mit dem höchsten Anteil volatiler erneuerbarer Energien an der Stromversorgung [8]. Diese Länder sind bereits heute mit Herausforderungen in der zeitlichen und örtlichen Synchronisation von Energieerzeugung und -verbrauch konfrontiert, die in der übrigen Welt erst zu einem späteren Zeitpunkt auftreten werden. Das eröffnet in Deutschland die Chance, KI-Anwendungen zu entwickeln und zu testen, die später in andere Länder exportiert werden können. In anderen Teilen der Wertschöpfungskette, die mehr von administrativen Aktivitäten geprägt sind, gelten international ähnliche Ausgangsbedingungen. Hier besteht kein spezifischer Vorsprung für den deutschen Energiesektor.
- **Kompetenz:** Deutschland verfügt mit dedizierten Forschungsinstitutionen und mehr als 90 Professuren [9] über eine lange aufgebaute, solide Kompetenz im Themenfeld KI. Neben großen Unternehmen beschäftigen sich in Deutschland mehr als 80 Start-Ups [9] fokussiert mit der Entwicklung von KI-Technologien. Formate wie die Plattform lernende Systeme [10] oder die Plattform Industrie 4.0 [11] fördern den Aufbau eines KI-Ökosystems. Im internationalen Vergleich der Kompetenzen in Technologie, Forschung und Entwicklung sowie Perso-

nal nehmen die USA die Führungsposition ein, gefolgt von China, Deutschland und Japan [12]. Dabei ist zu beachten, dass China mittlerweile die Führungsrolle bei der Sicherung geistigen Eigentums im Themenfeld KI einnimmt. So gehört der chinesische Stromnetzbetreiber State Grid gemessen an der Anzahl der erteilten KI-Patente zu den 20 führenden Unternehmen weltweit [13].

- **Kapitalversorgung:** In Deutschland wird die Erforschung von KI im Rahmen der KI Strategie des Bundes in den nächsten Jahren bis einschließlich 2025 mit 3 Milliarden Euro gefördert [4]. Zudem tragen Investitionen von Risikokapital in Deutschland zu einem wachsenden Ökosystem für Technologie-Start-Ups bei. Die geringe Anzahl an großen Risikokapitalgebern führt in Deutschland allerdings zu einer unzureichenden Finanzierung von Start-Ups in der Wachstumsphase [14]. Die Verfügbarkeit von Risikokapital ist ein entscheidender Hebel für die Kommerzialisierung von Forschungsergebnissen. Hier nimmt Deutschland eine Verfolgerposition hinter den USA, China, Großbritannien und Frankreich ein [14]. Im Jahr 2017 sind mehr als 80 Prozent des weltweit in KI investierten Risikokapitals in chinesische und amerikanische Unternehmen geflossen [15]. Es ist davon auszugehen, dass dieses Kräftegleichgewicht im Jahr 2018 weiter zugenommen hat. Bezogen auf den Energiesektor kommt erschwerend hinzu, dass die etablierten Akteure durch den tiefgreifenden Strukturwandel finanziell geschwächt sind. Dieses trifft insbesondere auf Deutschland zu, da hier Erlösquellen sowohl aus der Kernenergie als auch aus der Kohleverstromung in den kommenden Jahren verloren gehen.

Deutschland befindet sich in einer starken Ausgangsposition für die Entwicklung innovativer KI-Anwendungen für den Energiesektor, da hier die Herausforderungen der Energiewende auf eine umfassende Kompetenz im Themenfeld KI treffen. Eine deutliche Schwäche zeigt Deutschland in der Kapitalversorgung. Insbesondere die Entwicklung von Start-Ups zu global agierenden Unternehmen trifft auf eine mangelnde Verfügbarkeit von Risikokapital. Gelingt es in diesem Punkt Fortschritte zu erzielen, kann die Wirkung der nachfolgend formulierten Handlungsempfehlungen entscheidend verstärkt werden.



### 3.2 Handlungsempfehlungen

Im Energiesektor stehen derzeit der breiten Nutzung von KI noch einige Herausforderungen im Weg. Es gilt, diese Herausforderungen mit geeigneten Maßnahmen anzugehen und die Barriere für die Nutzung von KI im Energiesektor zu minimieren, um das volle Potenzial dieser Technologie auszuschöpfen. In den folgenden Handlungsempfehlungen werden konkrete Maßnahmen zur Bewältigung der bestehenden Herausforderungen aufgezeigt.

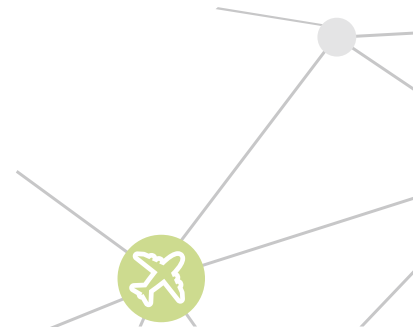
#### Sozioökonomische und regulatorische Rahmenbedingungen

- **Interdisziplinäre Ausbildung in Energie und Informatik fördern:** Auf der Bildungsebene sollten der interdisziplinäre Charakter von Studium, Aus- und Weiterbildung gestärkt werden. Damit können Informatiker Einblicke in die Energietechnik erhalten. Gleiches gilt für Energietechniker, die Erfahrungen in der IT sammeln können. Eine langfristig sinnvolle Maßnahme ist die Stärkung des algorithmischen Denkens in den schulischen Bildungsplänen. Dieses kann durch das Einweben von Programmieraufgaben in naturwissenschaftliche Fächer oder den Ausbau des Informatikunterrichts geschehen. Zudem sollten interdisziplinäre Studienangebote ausgebaut werden. Eine schnell wirksame Maßnahme wäre die Förderung entsprechender Weiterbildungsangebote für die Beschäftigten des Energiesektors.
- **Interdisziplinäre Verbundprojekte fördern:** Interdisziplinäre Verbundprojekte sind dazu geeignet, Technologien zugeschnitten auf die Bedürfnisse des Energiesektors zu entwickeln und diese dann in Reallaboren in der Praxis zu erproben. Unterstützt werden kann diese Maßnahme durch Dialogplattformen für die interdisziplinäre Zusammenarbeit. Derartige Plattformen sind wichtige Katalysatoren für den Austausch zwischen verschiedenen Stakeholdern. Zudem vereinfachen sie die Suche nach geeigneten Partnern für Verbundprojekte. Ein intensiver Austausch zu realen Problemstellungen der Anwendung, zu Methoden und Werkzeugen aber auch zu Praxisbeispielen erfolgreicher KI-Anwendungen sind wichtige Voraussetzungen zur Schaffung eines KI-Ökosystems im Energiesektor.

- **Einheitliche Taxonomie schaffen und Standardisierung beschleunigen:** Das Schaffen von einheitlich genutzten Begrifflichkeiten bzw. eines Klassifizierungssystem, ist für die reibungsarme interdisziplinäre Zusammenarbeit von großer Bedeutung. Die konsistente Definition von Rollen, Schnittstellen und Standards sollte vorangetrieben werden. Zudem gilt es die Standardisierungsprozesse zu internationalisieren, zu beschleunigen und agiler zu gestalten. Ein Ansatz wäre eine stärkere Orientierung an De-Facto-Standards, die von F&E-Communities etabliert werden und häufig eine hohe Akzeptanz erreichen.

#### Wissenschaftliche und technische Entwicklungen

- **Infrastruktur für Daten und Modelle schaffen:** Forschungsinstitute benötigen eine gemeinsame Infrastruktur für Daten und Modelle, um beispielsweise Forschungsergebnisse reproduzierbar zu machen. Unternehmen und Forschungseinrichtungen können die Daten und Modelle nutzen, um ihre eigenen Entwicklungen und insbesondere die Robustheit der Algorithmen mit anderen Lösungen zu vergleichen. Derzeit unterstützt die Bundesregierung digitale Testfelder im Bereich des automatisierten und vernetzten Fahrens [16]. Um das Potenzial der KI in der Energiewirtschaft zu heben, müssen ähnliche Testfelder für die F&E Aktivitäten im Themenfeld Energie eingerichtet werden. Zudem sollten die Unternehmen des Energiesektors die strukturierte Erfassung von Daten weiter ausbauen, um eine Grundlage für das Training von datenbasierten KI-Systemen zu schaffen. Dazu zählt auch eine stärkere Ausstattung der Verteilnetzebene mit entsprechender Sensorik.
- **Prüfverfahren für Nachvollziehbarkeit und Robustheit von KI-Systemen entwickeln:** Die Einrichtung von Prüfverfahren verfolgt zwei Ziele, die wesentlich für die erfolgreiche Anwendung von KI im Energiesektor sind. Zum einen soll bei allen involvierten Akteuren das Vertrauen in KI durch die Nachvollziehbarkeit der KI-basierten Entscheidungen gestärkt und zum anderen das Risiko für die Nutzung von KI-Systemen minimiert werden. Die Robustheit der KI-Algorithmen, d. h. die Reaktion von Lernverfahren auf unerwartete Eingaben, stellt die zentrale Voraussetzung für den Einsatz von Systemen mit Künstlicher Intelligenz in einer kritischen



Infrastruktur wie dem Energiesektor dar. Dazu müssen Testbeds zum Austausch von Trainingsdatensätzen zwischen Betreibern der Energiesysteme, Forschungseinrichtungen sowie Start-Ups aufgebaut werden, die spezifisch auf den Energiesektor zugeschnitten sind. Darauf aufbauend sollte die Entwicklung von Prüfverfahren für lernende Algorithmen gefördert werden, um deren Robustheit zuverlässig testen zu können. Dies dient der Vergleichbarkeit von Tests und somit der Qualitätssicherung von KI-Systemen.

- **Echtzeitfähige KI-Systeme entwickeln:** Um komplexe Energiesysteme zukünftig in Echtzeit und unter Wahrung der funktionalen Sicherheit steuern zu können, sollte in Forschungsprojekten exemplarisch die Entwicklung von entsprechenden KI-Systemen gefördert werden. Dabei sollte unbedingt auch untersucht werden, inwiefern datenbasierte Ansätze (z. B. des maschinellen Lernens) und echtzeitfähige modellbasierte Regelungsansätze (z. B. modellprädiktive Regelung) zu echtzeitfähigen KI-Systemen kombiniert werden können.

### Marktreife Produkte und Dienstleistungen

- **Data Governance implementieren:** Eine unternehmensübergreifende Data Governance muss geschaffen werden, um die semantische Interoperabilität für den Einsatz von KI-basierten Systemen zu gewährleisten. Das vorherrschende Silo-Denken innerhalb der Unternehmen muss aufgebrochen werden. Sowohl technisch als auch organisatorisch müssen die Daten in einer einheitlichen semantischen Wissensbasis und in einem einheitlichen Format gehalten werden. Ansätze zur einheitlichen, semantischen und unternehmensübergreifenden Organisation und Aufbereitung von Daten (Data Governance) gibt es bereits. So zeigt eine Studie der Energierichtsberatung Becker Büttner Held, dass mehr als die Hälfte der befragten Unternehmen aus der Energiewirtschaft Data Governance Strukturen implementiert hat [17]. Im Hinblick auf die Anwendung von KI-Methoden werden jedoch neue Anforderungen an die Datenqualität gestellt. Unternehmen sollten die Data Governance-Ansätze zur Erarbeitung von Datenstrategien nutzen, um die erforderliche semantische

Basis für den Einsatz von KI-Verfahren zu schaffen. Die KI-Strategie der Bundesregierung sieht eine so genannte Datenpartnerschaft vor, welche es beispielsweise innovativen Start-Ups ermöglichen soll, mit realen Daten von etablierten Unternehmen zu experimentieren und neue innovative Produkte und Dienstleistungen auf den Markt zu bringen. Dieser Förderansatz sollte auch im Energiesektor vorangetrieben und wenn nötig durch Anpassung von Regulierungsinstrumenten vereinfacht werden. Dazu ist ein stetiger Austausch von Politik, Forschung und Wirtschaft notwendig.

- **Best-Practice-Lösungen für Energieanwendungen erzeugen:** Um qualitative Maßstäbe für die technische Einbindung von KI-Systemen im Energiesektor zu setzen und wirtschaftlich nachhaltige Geschäftsmodelle zu etablieren, ist die Zusammenstellung von Best-Practice-Lösungen maßgeblich. Auf der Basis von hinreichend detailliert beschriebenen Anwendungsfällen, lässt sich die Wirtschaftlichkeit der KI-Systeme bewerten und gegebenenfalls die Innovationsbereitschaft steigern. Die Bekanntmachung bereits erfolgreich umgesetzter KI-Anwendungen schafft Vertrauen bei potenziellen Anwendern und beschleunigt die Verbreitung der Technologie.
- **Steuerungsinstrumente über alle Ebenen des Energiesystems entwickeln:** Die Dezentralisierung des Energiesystems erfordert Steuerungsinstrumente, die über verschiedene Ebenen des Energiesystems hinweg funktionieren. Ein Beispiel ist der Abruf von Flexibilitätsoptionen im Verteilnetz zur Stabilisierung der Übertragungsnetze. Die Einrichtung von Reallaboren ist ein geeignetes Mittel, um Praxiserfahrungen zu sammeln und die Kommerzialisierung derartiger KI-Systeme voranzutreiben.

### Wirtschaftliche und gesellschaftliche Auswirkungen

- **Akzeptanz durch Transparenz schaffen:** Unklare Vorstellungen über die Möglichkeiten und Grenzen von KI und daraus resultierende Ängste und Vorbehalte können mit Informationskampagnen wirksam bekämpft werden. Multimediale Informationsmaterialien können dabei gezielt zur Aufklärung und Entkräftung von verbreiteten Mythen eingesetzt werden. Darüber



hinaus sollte die freiwillige Zertifizierung von KI-Anwendungen anhand standardisierter Prüfverfahren erwogen werden, um deren wirtschaftliche und gesellschaftliche Akzeptanz weiter zu steigern. Gegenstand der Zertifizierung können beispielsweise diskriminierungsfreie Trainingsdaten oder die Nachvollziehbarkeit automatisierter Entscheidungen sein.

- **KI-Ethik erarbeiten:** Obwohl dies keine Aufgabe ist, die spezifisch für den Energiesektor ist, sollte eine KI-Ethik in einem internationalen oder zumindest europäischen Rahmen erarbeitet werden. In Deutschland befassen sich die Datenethikkommission [18] und der Digitalrat [19] der Bundesregierung sowie die Enquete-Kommission Künstliche Intelligenz des Bundestags [20] mit der ethischen Verortung der KI. Die Europäische Kommission hat im April 2019 ethische Richtlinien für eine vertrauenswürdige KI vorgestellt [21], die nun diskutiert, geschärft und in konkrete Anforderungen an KI-Systeme überführt werden müssen. Dazu sollte in Forschungsprojekten die Frage untersucht werden, wie eine etablierte KI-Ethik konkret durchgesetzt werden kann.
- **Datenökonomie aufbauen:** Der Aufbau einer Datenökonomie ist eine wesentliche Voraussetzung für den unternehmensübergreifenden Austausch von Daten. Zentral ist hierbei die Entwicklung von Lösungen, mit denen das Teilen von Daten monetarisiert werden kann. Dabei muss jedoch gewährleistet werden, dass die Daten nur im Sinne des jeweiligen Anbieters verwendet und auch nur mit dessen Zustimmung weiterverbreitet werden dürfen. Um dieses zu ermöglichen, sollte die Entwicklung eines Datenrechtmanagements vorangetrieben werden, auf dessen Basis Datenmarktplätze aufgebaut werden können. Standardisierte Frameworks wie OneM2M, International Data Spaces Initiative und auch die OPC UA Foundation liefern bereits gute Beispiele dafür, wie ein unternehmens- und branchenübergreifender Austausch von Daten organisiert und gestaltet werden kann. Hierzu sollten entsprechende Forschungsprojekte gefördert und branchenübergreifende Austauschformate unter Einbindung von Wirtschaft, Forschung und Politik etabliert werden, mit dem Ziel, Regeln zu definieren und diese in Marktplätze zu implementieren.

### 3.3 Der Weg in die Umsetzung

Zwischen den Handlungsempfehlungen bestehen zum Teil Pfadabhängigkeiten und Synergiepotenziale, die in der Umsetzung der Maßnahmen berücksichtigt werden sollten. Dazu sind die empfohlenen Maßnahmen in der Roadmap in Abbildung 4 über den Zeitraum der kommenden zehn Jahre aufgetragen. Maßnahmen mit hoher Priorität sind farblich hervorgehoben. Baut eine Maßnahme auf einer anderen auf, so ist diese Pfadabhängigkeit durch einen einfachen Pfeil mit durchgezogener Linie gekennzeichnet. Befördern sich zwei Maßnahmen gegenseitig ohne einander zwingend vorauszusetzen, so ist dies durch einen Doppelpfeil mit unterbrochener Linie gekennzeichnet. Auf diese Weise entsteht ein Netzwerk von Maßnahmen zur Förderung des Einsatzes von KI im Energiesektor.

Die Fundamente der Roadmap bilden die Absicherung des Zugangs zu Daten im Hinblick auf Datenschutz und Datenhoheit sowie die Stärkung der interdisziplinären Zusammenarbeit durch Bildungsangebote und interdisziplinäre Verbundprojekte. Um die Nutzung von Daten zu vereinfachen sollte perspektivisch eine Datenökonomie aufgebaut werden, die über Datenmarktplätze wirtschaftliche Anreize schafft, Datenmonopole aufzubrechen. Weiterhin setzt der Aufbau von KI-Entwicklungsumgebungen und Testbeds für den Energiesektor auf der Verfügbarkeit entsprechender Daten auf. Das ist eine Voraussetzung für die Entwicklung von Prüfverfahren für die Robustheit, die Nachvollziehbarkeit und die Unbedenklichkeit von KI-Systemen. Diese Prüfverfahren sind ihrerseits ein Instrument zum Aufbau von Vertrauen und zur Stärkung der Akzeptanz von KI. Weiterhin mindern sie das Risiko für die Nutzung von KI-Systemen und erleichtern somit die Entwicklung konkurrenzfähiger Produkte und tragfähiger Geschäftsmodelle. Die Sammlung von Best-Practice-Lösungen ist ein geeignetes Mittel, dieses Vertrauen weiter zu stärken und die Marktdiffusion von KI-Systemen zu beschleunigen. Eine weitere technologische Grundlage ist die Entwicklung echtzeitfähiger KI-Systeme für die Automatisierung von Steuerungsaufgaben im Energiesystem. Die Entwicklung entsprechender Technologien erfordert eine starke interdisziplinäre Zusammenarbeit und

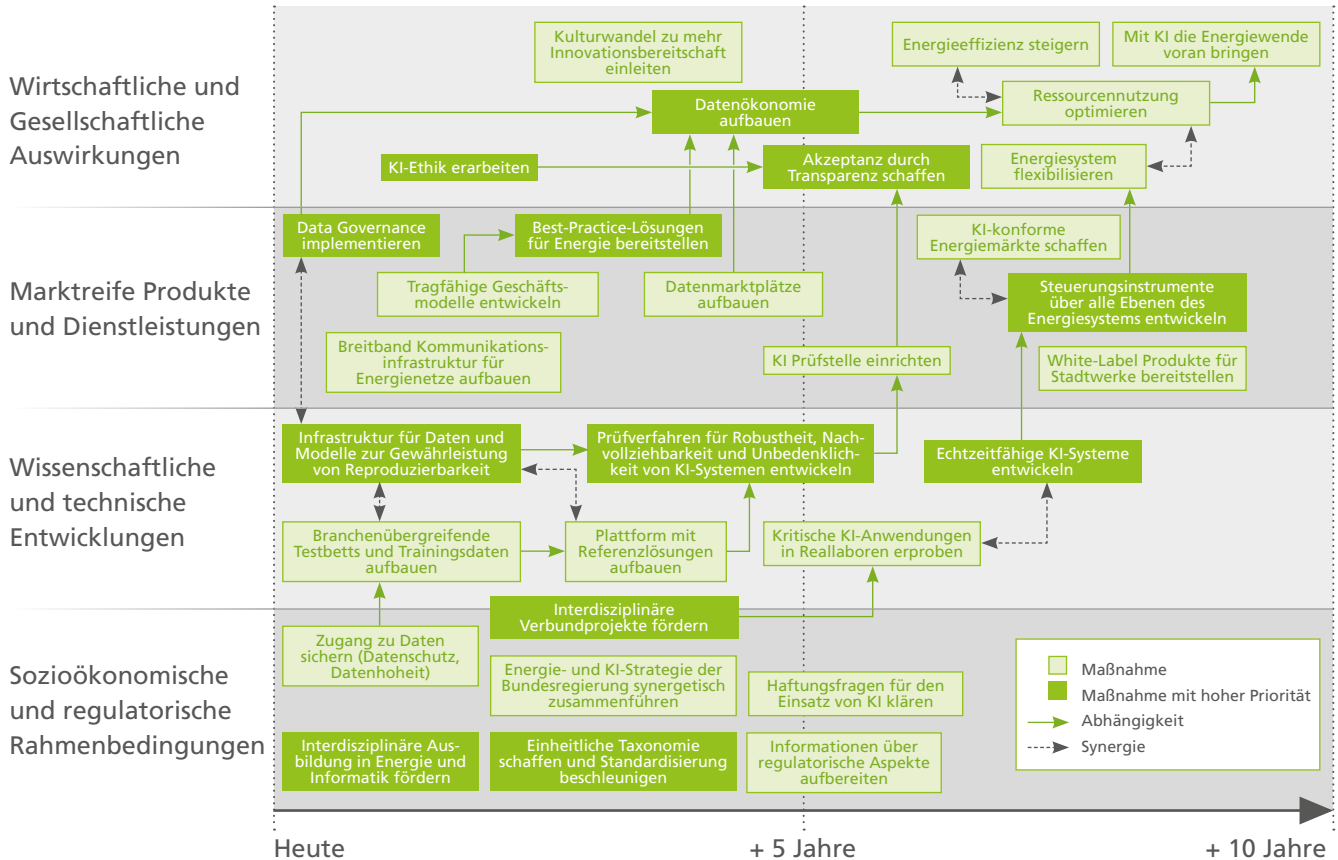


Abbildung 4: Roadmap zur Ausschöpfung des Potenzials von künstlicher Intelligenz im Energiesektor

zeigt große Synergien mit der Einrichtung von Reallaboren, in denen Praxiserfahrungen zum Einsatz von KI-Systemen in kritischen Infrastrukturen gesammelt werden können. Für kleinere Energieversorgungsunternehmen, die diese Entwicklungsleistung nicht selbst stemmen können, sollten White-Label-Produkte entwickelt werden. Damit werden Dienstleistungen und Produkte eines fremden Herstellers

bezeichnet, die in das eigene Angebot integriert werden können, ohne dass der eigentliche Hersteller in Erscheinung tritt. So kann die Anwendung von KI im Energiesektor dazu beitragen das Energiesystem zu flexibilisieren, die begrenzten Ressourcen optimaler zu nutzen und damit die Energiewende voranzubringen.



# ANHANG: AUSGEWÄHLTE AKTUELLE ANWENDUNGEN

Künstliche Intelligenz wird im Energiesektor bereits in einer Vielzahl von Anwendungen erprobt. Start-Ups und branchenfremde Unternehmen drängen mit KI-Lösungen auf den Markt. Hinzu kommen Eigenentwicklungen und Kooperationen zumeist größerer Unternehmen aus dem Energiesektor. Die nachfolgend beschriebenen Anwendungen für künstliche Intelligenz decken die gesamte Wertschöpfungskette des Energiesektors ab. Die Struktur der Beschreibung ist analog zur Studie „Potenziale der Künstlichen Intelligenz im produzierenden Gewerbe in Deutschland“ [22] gewählt.

## Data Analytics:

Das Analysieren großer Datenmengen, von Zusammenhängen und die Verdichtung von Informationen zu Entscheidungsgrundlagen ist eines der Kernanwendungsgebiete der künstlichen Intelligenz. Im Zuge der Digitalisierung werden die Komponenten des Energiesystems zunehmend mit Sensorik und Kommunikationsschnittstellen ausgestattet. Auf diese Datenströme können KI-Methoden zur automatischen Datenauswertung, zur Durchführung von Optimierungsaufgaben oder zur visuellen Datenaufbereitung angewendet werden. Die Einsatzbreite reicht damit vom Energiemanagement, über die Disaggregation von Messdaten bis hin zur Detektion von Energiediebstahl.

Im Bereich des **Energiedatenmanagements** werten Algorithmen Daten aus dem Energiemanagementsystem (EMS) oder der Anlagenleittechnik aus, erkennen typische Verbrauchsprofile und alarmieren bei Abweichungen und Störfällen. Bereits durch das frühe Erkennen und Beheben von Störungen kann der Energieverbrauch gesenkt werden. Entsprechende Lösungen werden beispielsweise von EnergyCortex und ingsoft angeboten. Kunden von ingsoft geben an, durch optimiertes Energiedatenmanagement Einsparungen von 20 bis 30 Prozent erzielen zu wollen [23, 24]. Angewendet auf große heterogene Datensätze kann KI dazu beitragen Korrelationen und Kausalitäten zwischen den Daten zu identifizieren. Das ist insbesondere für Potenzialanalysen relevant, deren Verlässlichkeit wesentlich von der Qualität des verfügbaren Datensatzes abhängt. So setzen etwa die Thüga und das Freiburger Start-Up Geospin Machine-Learning-Methoden zur geographischen Analysen ein, um die geographisch idealen Standorte für den Aufbau von Ladeinfrastruktur für Elektrofahrzeuge zu finden [25].

Auch hilft KI bei der **Disaggregation von komplexen Messdaten**. Dadurch können mit wenigen Messpunkten Rückschlüsse auf das Gesamtsystem gezogen werden. Das Unternehmen Bidgely bietet beispielsweise auf einer Plattform eine Software (Software-as-a-Service – SaaS) an, mit der Energieverbrauchsdaten von Haushalten bis hin zu einzelnen Geräten aufgeschlüsselt werden können. Damit werden Energieverbrauch und Einsparmöglichkeiten für Verbraucher transparent gemacht. In einem gemeinsamen Projekt mit United Energy konnten laut Bidgely Verbraucher im Jahr 2017 durch personalisierte Push-Nachrichten und Gamification-Elemente dazu angeregt werden, 30 Prozent der Spitzenlast auf Zeiten zu verschieben, in denen eine geringe Netzauslastung herrscht [26].

Darüber hinaus kann KI zur **Detektion von Energiediebstahl** genutzt werden. Zwar liegt die Diebstahlrate für Strom in den Industrieländern bei lediglich ein bis zwei Prozent [27]. Aufgrund des großen Marktvolumens beläuft sich der Schaden aber allein in der EU auf bis zu zehn Mrd. Euro pro Jahr. Durch Mustererkennung mit KI-Methoden können Abweichungen in den Verbrauchsdaten automatisch festgestellt werden. Ein entsprechendes Produkt wird u. a. von dem Unternehmen Via Science angeboten. Um Falschbeschuldigungen vorzubeugen, werden die Analyseergebnisse nochmals von einem menschlichen Ermittler geprüft, der dann entscheidet, welchen Fällen nachgegangen werden soll. Mit der Rückkopplung der menschlichen Bewertung wird die KI fortlaufend verbessert [28].

## Predictive Analytics:

In einem dynamischer und komplexer werdenden Energiesystem sichern zuverlässige Prognosen die effiziente Nutzung von Energie und Infrastruktur. KI-Systeme lernen anhand von historischen Trainingsdatensätzen und generieren daraus Prognosen für die zukünftige Entwicklung. Entsprechend finden sich vorausschauende Analysen aktuell in den Bereichen Prognose, Wartung und Instandhaltung sowie Energiemanagement.

Mit steigendem Anteil wetterabhängiger erneuerbarer Energien in der Stromerzeugung gewinnen **Energieprognosen** an Bedeutung. Dafür werden verschiedene Datenquellen wie Satellitendaten, Bodenmesswerte oder Anlagenleistungsdaten von KI-basierten Werkzeugen ausgewertet, die daraus Vorhersagen der kurz bis mittel-



fristigen Einspeisung erneuerbarer Energien ins Stromnetz ableiten. Einzelne Effekte wie Wetterphänomene oder Abschattung müssen nicht explizit modelliert werden. Stattdessen kann die KI anhand von Trainingsdaten lernen, Muster zu erkennen. Entsprechende Lösungen werden u. a. von den Unternehmen enercast [29] und 4cast [30] angeboten. Auch PSI Software hat derartige Prognosealgorithmen in ihr Netzlastberechnungstool integriert [31]. Anlagenscharfe Wind und Solarleistungsprognosen werden heute vielfach mit statistischen Methoden auf Basis von Modellen berechnet, die numerische Wettervorhersagemodelle, Landschaftstopologie und anlagenspezifische Kennlinien zusammenführen und auch wiederkehrende Wetterphänomene wie etwa Staubbelastung durch Saharawinde berücksichtigen können.

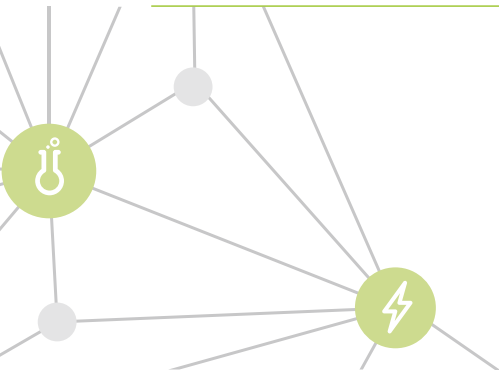
Weiterhin kann durch KI die prädiktive **Wartung und Instandhaltung** verbessert werden. Drohende Störungen können bereits im Vorfeld erkannt und entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Dazu nutzt beispielsweise der schleswig-holsteinische Verteilnetzbetreiber HanseWerk eine Vielzahl an Datenquellen wie Alter und Bauart der Leitungen, Instandhaltungsdaten, Wetterdaten oder Echtzeitinformationen zu aktuellen Lastflüssen. So konnte das Unternehmen nach eigener Aussage die Versorgungssicherheit kontinuierlich steigern und die Ausfallzeiten gegenüber dem deutschen Durchschnitt nach eigener Aussage um 30 Prozent senken [32]. Derartige Methoden sind auch für die Überwachung von Energieerzeugungsanlagen geeignet. Die Firma VOITH setzt etwa u.a. Mikrofone ein, um aus Veränderungen in der Geräuschkulisse Rückschlüsse über den Zustand von Anlagen zu ziehen und Betreibern von Wasserkraftwerken entsprechende prädiktive Wartungsinformationen zur Verfügung zu stellen [33]. Mithilfe digitaler Zwillinge (Digital-Twins) von Energieerzeugungsanlagen lassen sich die erwartete Leistung, wie auch der Wartungszustand einzelner Anlagenkomponenten vorhersagen und mit der Realität vergleichen. General Electric gibt beispielsweise an, mit einem derartigen System die Energieproduktion jährlich um drei bis fünf Prozent steigern und die Wartungskosten um zwei Prozent reduzieren zu können. Drohende Defekte in Wechselrichtern könnten laut Hersteller bis zu 90 Tage im Voraus erkannt und behoben werden [34].

Weitere Effizienzgewinne können mit prädiktiven Regelstrategien erzielt werden. Bedeutend für erfolgreiche Regelstrategien ist hier auch die gezielte Integration von Expertenwissen. Angewendet auf das **Energiemanagement** von Gebäuden lernen KI-Systeme anhand von Betriebs-, Verbrauchs-, und Wetterdaten sowie weiteren Informationen wie den Öffnungszeiten, Belegungsdaten und der Kundenfrequenz automatisch das Gebäudeverhalten. So können Vorhersagen zum Heiz-, Lüftungs- und Kühlbedarf getroffen und die Regelstrategien entsprechend angepasst werden. Das Unternehmen Recogizer gibt an, den Energieverbrauch auf diese Weise um bis zu 20 Prozent reduzieren zu können [35]. Ifesca will über eine cloudbasierte Prognose- und Optimierungssoftware die jährlichen Energienutzungsprognosen energieintensiver Unternehmen verbessern und Schwachstellen in deren Anlagentechnik identifizieren. Dazu kommt eine Kombination aus Strukturierungsanalyse und Energie-Daten-Analyse durch dynamische Algorithmen und Musterkennungen zum Einsatz. So können laut ifesca Kosten zur Energiebeschaffung durch die Verbesserung der Prognosegüte gespart werden. In einem Beispiel geben sie an, dass sich bei einem täglichen Energiebedarf von 3.000 MWh bereits durch die Steigerung der Prognosegüte um ein Prozent jährlich über 300.000 Euro sparen lassen [36]. In einem weiteren Schritt wird auch eine automatisierte Steuerung der Anlagentechnik angeboten, z. B. für das Zusammenspiel von Heizkesseln, Pumpen, Speichern oder Antrieben.

#### **Optimiertes Ressourcenmanagement:**

Im gesamten Energiesystem ist die optimale Nutzung von Ressourcen und Infrastruktur geboten, um Überkapazitäten zu vermeiden und Kosten zu minimieren. Anwendungen künstlicher Intelligenz werden daher aktuell vornehmlich zur Koordination von dezentralen Energiesystemen und für die Energieverbrauchsoptimierung eingesetzt.

Die größte Herausforderung liegt in der optimalen **Koordination dezentral verteilter Energiesystemkomponenten**. Dazu zählen Energieerzeugungsanlagen, aber auch flexible Verbraucher und Anbieter von weiteren Energiesystemdienstleistungen. Mithilfe von künstlicher Intelligenz werden Muster in den Steuerungsdaten, die zuvor auf einer Plattform zusammengeführt wurden, identifiziert und



der Einsatz des Anlagenportfolios optimiert. Ein Beispiel dafür ist die Dynamic Demand 2.0 Plattform des Unternehmens Open Energi, die über 3.500 Energieanlagen an mehr als 400 Standorten in Großbritannien koordiniert. Auf Basis der erfassten Messdaten werden bis zu zehn Millionen Schaltvorgänge im Jahr getätigt. Künftig sollen laut Open Energi auch Elektrofahrzeuge bzw. Ladeinfrastruktur in die Plattform integriert werden um in Großbritannien Kapazität im dreistelligen Megawattbereich zu flexibilisieren [37]. Ähnliche Datenplattformen werden in Deutschland u. a. im Förderprogramm „Schaufenster intelligente Energie - Digitale Agenda für die Energiewende“ (SINTEG) des BMWi entwickelt [38].

Auch in der **Energieverbrauchsoptimierung** können durch die Nutzung von KI beachtliche Erfolge erzielt werden. KI-Systeme unterstützen dabei die Entwicklung von Regelungskonzepten für gebäudetechnische Anlagen oder werden direkt in die Regelung integriert, so dass diese sich dem Nutzerverhalten dynamisch anpassen kann. So hat sich beispielsweise Google das Ziel gesetzt, den Energieverbrauch seiner Rechenzentren erheblich zu reduzieren. Obwohl sich die Rechenleistung pro Watt in den letzten fünf Jahren mehr als verdreifacht hat, also die Effizienz massiv gesteigert werden konnte, müssen nach wie vor große Wärmemengen über Kühlanlagen abgeführt werden. Das Gesamtsystem aus Serverhardware, Kühlanlagen, Gebäudearchitektur und äußeren Bedingungen (z. B. Wetter) ist bereits derart komplex, dass es nicht mit einfachen Regeln oder simplen Heuristiken beschrieben werden kann. Durch den Einsatz der künstlichen Intelligenz von DeepMind war Google in der Lage die Dynamik der Energieflüsse zu verbessern, die Betriebsstrategien zu optimieren und letztlich den Bedarf an Kühlleistung um 40 Prozent zu reduzieren. Zum Trainieren der KI nutzte Google alle Sensordaten, die seit Aufnahme des Betriebs im Rechenzentrum gesammelt wurden [39]. In der Optimierung von Heizungsanlagen finden KI-Methoden auch im Kleinen Anwendung. Durch permanentes Überwachen der Heizungsanlage können Anlagenfehler erkannt und die Regelung an das Nutzerverhalten angepasst werden. Auf diese Weise hat z. B. ENER-IQ bisher mehr als 100 Heizungsanlagen optimiert und über 20.000 Tonnen CO<sub>2</sub> eingespart [40]. Zum Vergleich, die Pro-Kopf-CO<sub>2</sub>-Emissionen von Deutschland liegen bei etwa 9,6 Tonnen pro Jahr [41].

Die Sicherstellung und Verbesserung der **Qualität** mithilfe von KI-Methoden findet vor allem im produzierenden Gewerbe Anwendung. Etwa bei der Fertigung von Photovoltaik- oder Windkraftanlagen. Vor allem bildanalytische Verfahren wie Computer Vision zur Erkennung von Anomalien stehen hier im Mittelpunkt [42]. Aber auch von der Erzeugung bis Vermarktung von Energie finden sich Anwendungsbeispiele, wie etwa zur Kontrolle von Vorhersagen und zur automatischen Messdatenanalyse.

Im kombinierten Einsatz zu anderen KI-Anwendungen zur Steuerung und Regelung des Stromnetzes wird KI auch zur **Qualitätskontrolle** eingesetzt. So lassen sich dank präziserer Vorhersagen via Predictive Analytics die Netzfrequenz, Blindleistung oder Spannungsebenen im Verteilnetz besser steuern. Ein entscheidender Bestandteil dabei ist die Qualitätskontrolle zur nachgelagerten, automatisierten Kontrolle des Vorhersagezeitraums und der verwendeten Annahmen, z. B. bezüglich der Fehleranalyse [43].

Auch wird zur frühzeitigen Erkennung kritischer Dynamik im Stromnetz KI gebraucht. Immerhin erzeugt die Analyse aller netzrelevanter Parameter zum Frequenzband, der Spannungsqualität oder dem Phasenwinkel enorme Datenmengen. Um die Qualität dieser Messwerte in Echtzeit prüfen zu können, Abweichungen vom normalen Netzbetrieb identifizieren und letztlich die Netzfürung dynamisch fortführen zu können, wird KI zur **automatischen Auswertung der Messwerte** eingesetzt [44].

#### Intelligente Assistenzsysteme:

Intelligente Assistenzsysteme unterstützen die Bearbeitung von Routineaufgaben. Sie reichern Informationen an, helfen bei der Interpretation komplexer Sachverhalte und unterstützen so die Entscheidungsfindung. Hierfür findet sich eine Vielzahl von Anwendungsbereichen in der Energiewirtschaft. Insbesondere in den Bereichen Kundenservice, Energieberatung, Vernetzung/ Marketplaces und Netzplanung.

Gerade der **Kundenservice** von Energieversorgern kommt kaum noch ohne Ki-gestützte Assistenzsysteme aus. So sind die vielfach eingesetzten Service Hotlines personalintensiv, wenig flexibel und skalieren nicht schnell genug, um auf besondere Lagen angemessen reagieren zu können.



Hier verbessern textbasierte Dialogsysteme (sog. Chatbots) immer häufiger die Erreichbarkeit und Servicequalität bei gleichzeitig geringeren Betriebskosten. Speziell auf den Bedarf der Energiewirtschaft abgestimmte White-Label-Lösungen werden u. a. von den Digitalen Werken [45] angeboten. Die nächste Stufe der Automatisierung bilden virtuelle Assistenten, die eigenständig Aufgaben bearbeiten und mit denen Kunden in natürlicher Sprache kommunizieren können. Das Unternehmen eGain bietet beispielsweise eine integrierte Assistenzlösung für Kunden und Service-mitarbeiter an, wodurch sich Qualität und Anzahl der bearbeiteten Fälle verbessern und darüber Kosten sparen lassen [46]. Die u. a. von dem schottischen Energieversorger SSE eingesetzt wird. Auf diese Weise bearbeitet SSE laut eigener Aussage monatlich mehr als 5.000 Kundenanfragen [47]. Als eine Besonderheit können im Energiebereich auch Meldungen zu Störfällen eingehen, die besonderer Dringlichkeit bedürfen, wie z.B. Stromausfälle oder Gaslecks.

Ein weiteres Anwendungsgebiet intelligenter Assistenzsysteme ist die **Energieberatung**. Eine fundierte Beratung ist auf Messdaten angewiesen, was den Prozess zeit- und kostenintensiv werden lässt. Das britische Unternehmen Verv bietet beispielsweise einen Assistenten an, der Haushaltsgeräte erkennt, deren Stromverbrauch misst und per App direkt die entstandenen Kosten anzeigt. Zudem warnt er vor Defekten oder gibt Empfehlungen für Energieeinsparungen. Laut Verv wird dazu ein Hub über eine Stromzange direkt an den Stromzähler angeschlossen und sammelt die Daten mit Hilfe einer sehr hohen Abtastrate. Patentierte KI-Algorithmen erkennen daraus die entsprechenden Haushaltsgeräte [48]. Eine Lösung für Unternehmen wird von E.ON in Kooperation mit Sight Machine entwickelt. Die Integration eines KI-basierten Assistenten in die eigene Energiemanagementplattform soll Kunden dazu in die Lage versetzen, die Folgen energierelevanter Entscheidungen, wie die Anschaffung neuer Maschinen, bereits im Vorfeld zu bewerten [49].

Auch bei der Vernetzung von Lösungsanbietern und potenziellen Kunden können Assistenzsysteme unterstützen. Hier bietet u.a. PowerScout eine KI-gestützte **Marktplattform**, die Hausbesitzer mit Installateuren für Solaranlagen, Batteriespeicher oder E-Fahrzeug Ladestationen verbindet [50].

Die zunehmende Belastung der Verteilnetze durch volatile erneuerbare Energien und neue Verbraucher (z. B. Elektromobilität, Wärmepumpen oder elektrifizierte Industrieprozesse) lassen die **Netzplanung** zu einer wachsenden Herausforderung werden. Eine Lösung für dieses Problem bietet Envelio an. Das digitale Assistenzsystem des Unternehmens verknüpft und analysiert mithilfe von Machine Learning Netz- und Messdaten. Auf dieser Datengrundlage werden Optimierungsrechnungen für das betrachtete Netzgebiet durchgeführt, um die Netzplanung für den Verteilnetzbetreiber zu vereinfachen und Envelio zufolge die Prüfdauer für den Netzanschluss neuer Anlagen von Wochen auf Minuten zu reduzieren [51].

#### Wissensmanagement:

Im Bereich Wissensmanagement kommen Anwendungen künstlicher Intelligenz in der Energiewirtschaft vor allem in der Informationskategorisierung und im Risikomanagement zum Einsatz.

Der Aufwand für den manuellen Aufbau und die Pflege eines entsprechenden Ordnungssystems ist erheblich. KI kann bei **Kategorisierung von Informationen** erhebliche Effizienz erzeugen. Daher setzen z. B. RWE [52] und Innogy [53] eine KI-gestützte Dokumentenverwaltungssoftware ein, die Kundenanfragen automatisch nach Anliegen klassifiziert und den Kunden im CRM-System zuordnet. Auf diese Weise werden jährlich mehr als 1 Million Kundenanfragen bearbeitet, die per E-Mail, SMS oder Brief bei den Unternehmen eingehen. Kritisch für den Erfolg solcher Projekte ist die Verfügbarkeit eines umfangreichen Sets an Trainingsdaten.

Perspektivisch ist auch der Einsatz künstlicher Intelligenz im **Risikomanagement** denkbar. So können Informationen automatisch bewertet und Risikoklassifizierungen vorgenommen werden. Das erleichtert die Ableitung von Strategien zur Risiko- und Haftungsminimierung. In der Versicherungswirtschaft werden ähnliche Systeme bereits erprobt.

#### Robotik:

In Kombination mit künstlicher Intelligenz versteht man unter diesem Anwendungsfall insbesondere adaptive,



selbstlernende industrielle Robotersysteme oder Serviceroboter. Diese kommen in allen Bereichen der **Fertigung** zum Einsatz, um sowohl die Produktivität als auch die Qualität zu steigern. Im Bereich der erneuerbaren Energien profitiert bisher insbesondere die Fertigung von PV-Modulen von diesen Eigenschaften.

Während die Fertigung von Rotorblättern für Windenergieanlagen, trotz des stetigen Anstiegs von Größe und Komplexität, heute noch überwiegend in Handarbeit erfolgt, gibt es bei der **Wartung** von Windkraftanlagen bereits erste Beispiele für den Einsatz von Robotik. So wurde etwa im Forschungsprojekt SMART (Scanning Monitoring And Repair Transportation) gemeinsam von der FH Aachen und der Gebr. Käufer ein kletternder Roboter zur Wartung und Reparatur von Windenergieanlagen entwickelt [54]. Dieser hat das Potenzial, die Effizienz der Wartung deutlich zu erhöhen, indem Arbeiten sowohl ganzjährig und fast unabhängig von den äußeren Bedingungen als auch (teil-) autonom durchgeführt werden können. Dadurch steigt die Verfügbarkeit während gleichzeitig Kosten und Risiken reduziert werden.

#### Autonomes Fahren und Fliegen:

Der Einsatz künstlicher Intelligenz ermöglicht fahrerlose Transportsysteme oder autonom fliegende Drohnen, die auch in der Energiewirtschaft eingesetzt werden können. Durch die Kombination autonomer Transportsysteme mit Kameras kann automatisiert Bildmaterial aus teils unzugänglichen oder schwer zu erreichenden Blickwinkeln aufgenommen werden. Dieses Bildmaterial kann wiederum mithilfe künstlicher Intelligenz ausgewertet und zur **Aktionsplanung** genutzt werden. Konkret bietet sich dies etwa bei der **Überprüfung großflächiger und schwer erreichbarer Anlagen** im Wind- und Solarbereich sowie für Stromleitungen an.

Heljo Industries etwa verfolgt das Ziel, vollautonome Drohnen selbstständig entlang von Windenergieanlagen navigieren zu lassen, um mithilfe von Bilderkennungssoftware eventuelle Schäden zu identifizieren [55]. Die Universität Kassel entwickelt Drohnen die autonom Strommasten überwachen und kombiniert dabei die Vorteile, einerseits näher an die Strommasten heranfliegen und andererseits

zusätzliche Sensorik, wie Infrarot- und Ultraschallsensoren, einsetzen zu können [56]. Durch intelligente Steuerung und präzise Sensorik fliegen und manövrieren sie autonom, weichen Hindernissen aus, halten die korrekten Sicherheitsabstände ein und positionieren sich eigenständig, um die notwendigen Untersuchungen durchzuführen. Auch das Unternehmen Caspian bietet vollautomatische Inspektionen von Anlagen mithilfe von Drohnen an [57]. Dabei wird der Drohnenroboter zunächst mit einem generischen Modell des Strommasts, der Windkraftanlage oder einer anderen energietechnischen Anlage angelernt. Dann werden die wichtigsten Punkte für die Inspektion anhand des Modells markiert und die Drohne entwickelt anhand dieser Informationen über die zu untersuchende Struktur autonom den optimalen Flugplan.

#### Intelligente Automatisierung:

Bei der intelligenten Automatisierung stehen Routineprozesse im Fokus. Durch selbstregulierende Anpassung von Steuerungsparametern und IT-gestützte Unternehmensprozesse können Arbeitsschritte und Entscheidungen, die bisher gleichförmige menschliche Aktionen erforderten, automatisiert werden. Netzbetreiber haben unter anderem die Aufgabe bzw. das Ziel, eine optimale Balance zwischen Angebot, Speicherung und Nachfrage beim Bezug von Strom zu erreichen. Die aktuelle Entwicklung hin zu einem dezentralen Energiesystem mit hohen Anteilen erneuerbarer Energien und neuen Verbrauchern macht diese zu einer hoch komplexen Aufgabe, die mithilfe **intelligenter Stromnetze** (Smart Grids) und hochgradig automatisierter Arbeitsschritte bewältigt werden kann.

Ein Beispiel für **automatisiertes Energiemanagement** ist GridSense des Schweizer Unternehmens Alpiq InTec, das bereits im Haushalt mit der **aktiven Optimierung des Eigenverbrauchs** beginnt [58]. Dazu werden die Lasten stromintensiver Komponenten, wie Wärmepumpe, PV-Anlage, Boiler, Ladestation oder Batterien gesteuert und soweit möglich an die Auslastung der Verteilnetze angepasst. Eine Besonderheit dabei ist, dass das dezentrale Lastmanagement autonom in jedem Gerät abläuft, wodurch Datenschutzprobleme vermieden werden können, da keine externe Steuerung oder Kommunikation benötigt wird. Die in den Komponenten integrierten oder nach-

gerüsteten Mess- und Steuerungsgeräte optimieren ihr Verhalten durch intelligente Algorithmen selbst. Dazu messen sie lokal Strom, Spannung und Frequenz und erstellen individuelle Prognosen. Diese werden mit dem erlernten Nutzerverhalten und optionalen externen Signalen, wie Wetterdaten oder Strompreisen, kombiniert. Die Summe der Steuersignale der Komponenten führt zur Glättung der Lasten.

### Intelligente Sensorik:

Unter diesem Schlagwort werden Sensoren verstanden, die neben der reinen Erfassung von Daten als Grundlage für KI zusätzlich selbst durch entsprechende Elektronik und Algorithmen dazu in der Lage sind, bei der Erfassung der Daten diese entweder schon teilweise zu verarbeiten oder anderweitig anzureichern. Dies spielt u.a. bei bereits genannten Anwendungsfällen des autonomen Fahrens und Fliegens, sowie der Überwachung von Fertigung und Betrieb eine entscheidende Rolle.

Im Forschungsprojekt ALICE (Autonomous Learning in Complex Environments) sammelte das Unternehmen Siemens gemeinsam mit der Firma IdaLab und dem Lehrstuhl für maschinelles Lernen an der TU Berlin Erkenntnisse aus der Windturbinen-Optimierung [59]. Erforscht wurde dabei unter anderem, wie sich Windturbinen dank maschinellem Lernen an wandelnde Wind- und Wetterverhältnisse anpassen können – und damit ihre Stromerzeugung erhöhen. Die Grundlage für die **Selbstoptimierung der Windturbinen** ist dabei die Messung ihrer eigenen Betriebsdaten in Verbindung mit Wetterdaten. Diese Werte werden von Sensoren in und auf der Windenergieanlage ohnehin aufgenommen: Messdaten zu Windrichtung, Windstärke, Temperatur, Strom und Spannung sowie die Vibrationen an größeren Bauteilen wie Generator oder Rotorblatt. Auf Basis dieser Daten wurden schließlich mit Methoden des maschinellen Lernens Algorithmen trainiert, die anschließend Muster erkennen und auf der Basis von Messdaten aus der Vergangenheit Prognosen und Idealmodelle für das zukünftige Verhalten erstellen konnten. Im Fall der Windturbinen heißt das konkret, dass die Software aus den Messdaten der Vergangenheit optimale Einstellungsmuster für verschiedene Wetterszenarien wie Sonnenscheinzeiten,

Dunstwetterlagen oder Gewitter errechnet. Die Regler der Windturbine erhalten diese Daten und berücksichtigen sie fortan bei der Steuerung der Anlagen. Setzen bereits bekannte Windlagen ein, wählen sie sofort die durch maschinelles Lernen erkannten optimalen Einstellungen und verändern beispielsweise die Rotorblattneigung. Die Energieausbeute soll sich allein dadurch um bis zu drei Prozent erhöhen lassen.

Ein weiteres Beispiel, das einem intelligenten Sensor noch näher kommt, liefert das Unternehmen Voith, dessen Komplettlösung für ein intelligentes Wasserkraftwerk mit seinem Geräuschüberwachungssystem „OnCare.Accoustic“ bereits erwähnt wurde [31]. Damit werden Wasserkraftwerksbetreiber bei der Identifizierung gefährlicher Störfälle durch das **Erkennen akustischer Anomalien** unterstützt. Dazu werden an verschiedenen Stellen im Kraftwerk Mikrofone angebracht, die Umgebungsgeräusche aufnehmen. Diese Messdaten werden in der sogenannten Voith-Bluebox zwischengespeichert und dort vorverarbeitet. Die finale Dateninterpretation erfolgt über eine gesonderte Voith-Plattform. Teil des Prozesses ist die Kalibrierung des Systems in einer ersten Lernphase. Während dieser werden sämtliche detektierte Signale mit den Daten anderer Wasserkraftwerke verglichen, um anschließend typische Geräuschmuster zu erkennen, die ein Abweichen vom Normalbetrieb anzeigen. Die Machbarkeit dieses Ansatzes wird bereits seit eineinhalb Jahren erfolgreich in verschiedenen Wasserkraftwerken gezeigt. In einem Pilotprojekt mit dem isländischen Energiekonzern Landsvirkjun testet Voith zusätzlich auch einen Remote-Datenanalyse-Service, der Kraftwerksbetreiber bei der intelligenten Planung von Wartungsarbeiten unterstützt.

Die hier vorgestellten Projekte machen deutlich, dass intelligente Sensorik kein Selbstzweck ist, sondern im ersten Fall ein optimiertes Ressourcenmanagement, im zweiten Fall eine vorausschauende Wartung (Predictive-Maintenance) ermöglicht und beim autonomen Fahren und Fliegen insbesondere der Kollisionsvermeidung dient. Ein entscheidender Aspekt ist jeweils die hohe Geschwindigkeit mit der das System reagieren werden muss.

# LITERATURVERZEICHNIS

- [1] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND TECHNOLOGIE (BMWi) (Hrsg.): Energiekonzept für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung. Berlin, 2010
- [2] BÜCHNER, Jens; KATZFEY, Jörg; FLÖRCKEN, Ole; MOSER, Albert; SCHUSTER, Henning; DIERKES, Sebastian; VAN LEEUWEN, Tobias; VERHEGGEN, Lukas; USLAR, Mathias; VAN AMELSVOORT, Marie: Moderne Verteilernetze für Deutschland (Verteilernetzstudie): Forschungsprojekt Nr. 44/12. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie (BMWi). Bonn, 2014
- [3] VDI/VDE INNOVATION + TECHNIK (Hrsg.): 40 Jahre für Innovation und Technik. Berlin, 2018
- [4] DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG (Hrsg.): Strategie Künstliche Intelligenz der Bundesregierung. Berlin, 2018
- [5] KIND, Sonja; HARTMANN, Ernst A.; BOVENSCHULTE, Marc: Die Visual-Roadmapping-Methode für die Trendanalyse, Roadmapping und Visualisierung von Expertenwissen : Ein Instrument des iit – Institut für Innovation und Technik für den Einsatz in Politik und Wirtschaft zum Management von Innovation und Technologie. Berlin, 2011
- [6] RANSBOTHAM, Sam; KIRON, David; GERBERT, Philipp: Reshaping Business With Artificial Intelligence : Findings from the 2017 Artificial Intelligence Global Executive Study and Research Project. Ghosting the Gap between Ambition and Action. Boston, 2017
- [7] PRICEWATERHOUSECOOPERS (Hrsg.): Auswirkungen der Nutzung von künstlicher Intelligenz in Deutschland. 2018
- [8] INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY: Data and Statistics - IRENA REsource. URL <http://resource-irena.irena.org/gateway/dashboard/?topic=4&subTopic=54> – Überprüfungsdatum 2019-05-03
- [9] KLUSCH, Matthias; TIMM, Ingo; MÜSSNER, Rainer: AI in Germany: Brief Overview. Brüssel, 2018
- [10] ACATECH: Plattform Lernende Systeme - PLS. URL <https://www.plattform-lernende-systeme.de/home.html> – Überprüfungsdatum 2019-05-03
- [11] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE; BUNDESMINISTERIUM FÜR BILDUNG UND FORSCHUNG: Plattform Industrie 4.0. URL <https://www.plattform-i40.de/PI40/Navigation/DE/Home/home.html> – Überprüfungsdatum 2019-05-03
- [12] TINHOLT, Dinand; VAN KRAAIJ, Ché; VAN NIEL; ELSA; KNÖDLER, Moritz: Artificial Intelligence Benchmark. 2018
- [13] COWAN, Peter; HINTON, Jim: Intellectual property and artificial intelligence: what does the future hold? 2018
- [14] STRESING, Christoph J.; BOLITS, Martin A.; DAHMANN, Attila; PARSONS, Clark; STYMA, Felix; FUEST, Klaus; BORN, David; KRYSS, Christian: Treibstoff Venture Capital : Wie wir Innovation und Wachstum befeuern. München, 2018
- [15] OECD (Hrsg.): Private Equity Investment in Artificial Intelligence. Paris, 2018
- [16] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR UND DIGITALE INFRASTRUKTUR (BMVI) (Hrsg.): Digitale Testfelder für das automatisierte und vernetzte Fahren im Realverkehr in Deutschland. Berlin, 2019
- [17] Becker Büttner Held (Hrsg.): Studie zur Digitalisierung der Energiewirtschaft. München, 2017
- [18] BUNDESMINISTERIUM DES INNERN, FÜR BAU UND HEIMAT: Datenethikkommission. URL <https://www.bmi.bund.de/DE/themen/it-und-digitalpolitik/datenethikkommission/datenethikkommission-node.html> – Überprüfungsdatum 2019-04-18
- [19] DEUTSCHE BUNDESREGIERUNG: Die Gesichter des Digitalrates. URL <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/digitalisierung/die-gesichter-des-digitalrates-1504586> – Überprüfungsdatum 2019-04-18

- [20] DEUTSCHER BUNDESTAG: Enquete-Kommission zur künstlichen Intelligenz. URL <https://www.bundestag.de/dokumente/textarchiv/2018/kw26-de-enquete-kommission-kuenstliche-intelligenz-560330>. – Aktualisierungsdatum: 2018-06-28 – Überprüfungsdatum 2019-04-18
- [21] EUROPÄISCHE KOMMISSION (Hrsg.): Ethics Guidelines for Trustworthy AI : Independent Expert Group in Artificial Intelligence set up by the European Commission. Brüssel, 2019
- [22] SEIFERT, Inessa; BÜRGER, Matthias; WANGLER, Leo; CHRISTMANN-BUDIAN, Stephanie; RHODE, Marieke; GABRIEL, Peter; ZINKE, Guido: Potenziale künstlicher Intelligenz im Produzierenden Gewerbe in Deutschland. Berlin, 2018
- [23] ENERGYCORTEX – Take data further. URL <https://www.energycortex.com/>. – Aktualisierungsdatum: 2019-04-04 – Überprüfungsdatum 2019-04-08
- [24] INGSOFT (Hrsg.): Hoher Qualitätsanspruch: gute Lebensmittel, gute Energieeffizienz. Nürnberg, 2017
- [25] THÜGA: Ladesäulen: Wo ist der ideale Standort? URL <https://www.thuega.de/energiewende-und-dekarbonisierung/ladesaeulen-wo-ist-der-ideale-standort/> – Überprüfungsdatum 2018-12-18
- [26] VORRATH, Sophie: Australian demand response trial delivers 30% peak load reduction. URL <https://reneweconomy.com.au/united-energy-home-60445/> – Überprüfungsdatum 2019-04-08
- [27] SMITH, Thomas B.: Electricity theft : A comparative analysis. In: Energy Policy 32 (2004), Nr. 18, S. 2067–2076 – Überprüfungsdatum 2018-12-20
- [28] VIA SCIENCE: Using Artificial Intelligence to Identify Energy Theft. URL <https://www.solvewithvia.com/ai-energy-theft/> – Überprüfungsdatum 2018-12-20
- [29] ENERCAST (Hrsg.): Wie künstliche Intelligenz die Leistung erneuerbarer Energien präzise prognostiziert: Funktionsweise der enercast Produkte. Whitepaper. 2018
- [30] 4CAST: Wind power forecasting. URL <https://4-cast.de/> – Überprüfungsdatum 2018-12-20
- [31] PSI SOFTWARE (Hrsg.): PSIcontrol Prognosen für Lasten und regenerative Einspeisungen. Aschaffenburg, 2018
- [32] HANSEWERK: Selbstlernender Algorithmus warnt vor Stromausfällen von morgen. URL <https://www.hansewerk.com/de/ueber-uns/hansewerk-aktuell/pressemitteilungen/selbstlernender-algorithmus-warnt-vor-stromausfaellen-von-morgen.html> – Überprüfungsdatum 2018-11-19
- [33] VOITH (Hrsg.): Understanding the voice of your machine OnCare.Acoustic : Hydropower plants on the edge of digitalization. 2018
- [34] BLOOMBERG FINANCE: GE Uses AI to Increase Responsiveness of Thermal Power : Q&A. URL <https://about.bnef.com/blog/ge-uses-ai-increase-responsiveness-thermal-power-qa/> – Überprüfungsdatum 2018-12-20
- [35] RECOGIZER: Energieeffizienz durch Prädiktive Regelung. URL <https://www.recogizer.com/energycontrol/praediktive-regelung/> – Überprüfungsdatum 2018-11-19
- [36] IFESCA (Hrsg.): Präzise Prognosen mit ifesca.AIVA. Ilmenau, 2019
- [37] OPEN ENERGI: Dynamic Demand 2.0 Platform. URL <http://www.openenergi.com/technology/> – Überprüfungsdatum 2018-11-19
- [38] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: SINTEG - Schaufenster intelligente Energie. URL <https://www.sinteg.de/>. – Aktualisierungsdatum: 2018-02-14 – Überprüfungsdatum 2019-01-07



- [39] DEEPMIND TECHNOLOGIES: DeepMind AI reduces Google data centre cooling bill by 40%. URL <https://deepmind.com/blog/deepmind-ai-reduces-google-data-centre-cooling-bill-40/> – Überprüfungsdatum 2018-11-19
- [40] ENER-IQ : Intelligente Software für den digitalen Heizungskeller. URL <https://eneriq.com/> – Überprüfungsdatum 2019-01-07
- [41] BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND NUKLEARE SICHERHEIT: Klimaschutz in Zahlen (2018) – Fakten, Trends und Impulse deutscher Klimapolitik
- [42] Künstliche Intelligenz für die Produktion. URL <https://www.springerprofessional.de/produktion---produktionstechnik/kuenstliche-intelligenz/kuenstliche-intelligenz-fuer-die-produktion/16315710> – Überprüfungsdatum 2019-03-06
- [43] BESTE, Dieter: Mit Neuronen lernt das Stromnetz denken... - blog.stromhaltig. URL <https://blog.stromhaltig.de/2014/02/mit-neuronen-lernt-das-stromnetz-denken/>. – Aktualisierungsdatum: 2019-03-06 – Überprüfungsdatum 2019-03-06
- [44] Solarserver: Künstliche Intelligenz soll Stromnetze mit Erneuerbaren absichern. URL <https://www.solarserver.de/solar-magazin/nachrichten/aktuelles/2019/kw09/kuenstliche-intelligenz-soll-stromnetze-mit-erneuerbaren-absichern.html>. – Aktualisierungsdatum: 2019-03-06 – Überprüfungsdatum 2019-03-06
- [45] DIGITALE WERKE (Hrsg.): Chatbots: Das müssen Sie jetzt wissen. 2018
- [46] EGAIN: Lösungen für Energieversorger. URL <http://www.egain.com/de/losungen/energieversorger/> – Überprüfungsdatum 2018-11-02
- [47] EGAIN (Hrsg.): Scottish and Southern Energy Plc trusts eGain. 2016
- [48] VERV (Hrsg.): Verv VLUX : The Evolution of Energy. 2018
- [49] E.ON: E.ON optimiert Produktionsanlagen mit künstlicher Intelligenz in Zusammenarbeit mit Partner Sight Machine. URL <https://www.eon.com/de/ueber-uns/presse/pressemitteilungen/2018/eon-optimiert-produktionsanlagen-mit-kuenstlicher-intelligenz-in-zusammenarbeit-mit-partner-sight-machine.html> – Überprüfungsdatum 2018-11-02
- [50] POWERSCOUT: Home solar made easy : Get competing quotes for solar panel installations for your home. URL <https://powerscout.com/> – Überprüfungsdatum 2018-11-02
- [51] ENVELIO: Software für die digitale Transformation der Stromnetze. URL <http://envelio.de/> – Überprüfungsdatum 2018-11-19
- [52] KLUG, Andreas: Wie RWE und Samsung Routinevorgänge im Kundenservice automatisieren : Intelligente Automatisierung basierend auf künstlicher Intelligenz. 2017
- [53] INNOGY: Big Data – Künstliche Intelligenz in der Kundenkommunikation. URL <https://iam.innogy.com/ueber-innogy/webstories/big-data-kuenstliche-intelligenz-in-der-kundenkommunikation>. – Aktualisierungsdatum: 2018-03-29 – Überprüfungsdatum 2018-11-02
- [54] BUNDESMINISTERIUM FÜR WIRTSCHAFT UND ENERGIE: Windkraftanlagen bei Sturm reparieren. URL <http://www.bmwi-energiewende.de/EWD/Redaktion/Newsletter/2017/02/Meldung/windkraft.html;jsessionid=EB1A5FB061C3B374EC344063C7C27336> – Überprüfungsdatum 2019-03-06
- [55] LANGENHEIM, Philipp: HELJO Industries entwickelt Bilderkennungssoftware für Drohnen. URL <https://heljo.industries/news/2017/10/9/heljo-industries-entwickelt-bilderkennungssoftware-fr-drohnen> – Überprüfungsdatum 2019-03-06

- [56] Drohne überwacht Strommasten mit Infrarot- und Ultraschallsensoren - ingenieur.de. URL <https://www.ingenieur.de/technik/forschung/drohne-ueberwacht-strommasten-infrarot-ultraschallsensoren/>. – Aktualisierungsdatum: 2019-03-06 – Überprüfungsdatum 2019-03-06
- [57] CASPIAN ROBOTICS: URL <http://caspian.io/>. – Aktualisierungsdatum: 2015-09-11 – Überprüfungsdatum 2019-03-06
- [58] Erfolgreiches Pilotprojekt: Intelligentes Stromnetz funktioniert. URL <https://www.solothurnerzeitung.ch/solothurn/kanton-solothurn/erfolgreiches-pilotprojekt-intelligentes-stromnetz-funktioniert-131959188> – Überprüfungsdatum 2019-03-06
- [59] SIEMENS: Wind turbines smarten up to self-improve and #BringDownTheCost of #WindEnergy. URL <https://www.siemens.com/customer-magazine/de/home/energie/erneuerbare-energien/intelligente-zukunft-von-windturbinen.html> – Überprüfungsdatum 2019-03-06