

Welche Rolle spielen künstliche Intelligenz und Machine Learning bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen?

Nico Elsner

Zusammenfassung—Die Optimierung von Energieversorgungssystemen ist angesichts der steigenden Nachfrage nach effizienter, zuverlässiger und nachhaltiger Energieversorgung von großer Bedeutung. In diesem Zusammenhang spielen künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen (ML) eine immer wichtigere Rolle. Dieser Artikel untersucht die Rolle von KI und ML bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen. Es werden verschiedene Anwendungen von KI und ML vorgestellt, darunter Prognose und Optimierung, Lastmanagement und Nachfragesteuerung, Anlagenüberwachung und Wartung, Integration erneuerbarer Energien sowie Energieeffizienz und Verbraucherempfehlungen. Darüber hinaus werden die Herausforderungen diskutiert, die mit der Optimierung von Energieversorgungssystemen verbunden sind, wie die Komplexität der Systeme, die Volatilität erneuerbarer Energien, die Skalierbarkeit und Flexibilität, die Sicherheit und Zuverlässigkeit sowie die wirtschaftlichen und regulatorischen Aspekte. Die Erkenntnisse dieser Arbeit tragen dazu bei, das Verständnis für die Rolle von KI und ML bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen zu vertiefen und zeigen Potenziale sowie Herausforderungen auf, die bei der Einführung dieser Technologien berücksichtigt werden sollten.

I. EINLEITUNG

A. Hintergrund und Motivation des Themas

Die Energieversorgungssysteme stehen heutzutage vor einer Vielzahl von Herausforderungen. Der steigende Energiebedarf, die begrenzte Verfügbarkeit konventioneller Energieressourcen und die zunehmende Bedeutung erneuerbarer Energien erfordern innovative Lösungen, um die Effizienz und Nachhaltigkeit der Energieversorgung zu verbessern. In diesem Zusammenhang spielen künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen (ML) eine immer wichtigere Rolle.

Die Grundidee hinter dem Einsatz von KI und ML in der Optimierung von Energieversorgungssystemen besteht darin, dass diese Technologien in der Lage sind, große Mengen an Daten zu analysieren, Muster zu erkennen, Vorhersagen zu treffen und adaptive Entscheidungen zu treffen. Dadurch können Energieversorgungssysteme effizienter gestaltet, die Zuverlässigkeit erhöht und Kosten gesenkt werden.

Ein zentrales Anwendungsgebiet von KI und ML liegt in der Prognose von Energieerzeugung und -nachfrage. Durch den Einsatz von ML-Algorithmen können präzisere Vorhersagen über den zukünftigen Energiebedarf gemacht werden, was eine optimierte Planung der Energieerzeugung und -verteilung ermöglicht. Darüber hinaus können ML-Modelle genutzt werden, um Lastmanagement-Strategien zu entwickeln, um den

Energieverbrauch zu optimieren und die Spitzenlasten zu reduzieren.

Ein weiteres wichtiges Einsatzgebiet von KI und ML liegt in der Optimierung von Stromnetzen und -verteilung. Hier können intelligente Algorithmen eingesetzt werden, um den Energiefluss zu steuern, Engpässe zu identifizieren und die Netzstabilität zu gewährleisten. ML kann auch bei der Erkennung von Fehlern und Störungen in Energieversorgungssystemen helfen, indem Anomalien in den Daten erkannt und potenzielle Probleme frühzeitig gemeldet werden.

Die Integration erneuerbarer Energien stellt ebenfalls eine große Herausforderung dar, da sie von Natur aus volatil und schwer vorhersehbar sind. Hier kommen KI und ML zum Einsatz, um Vorhersagemodelle für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen zu entwickeln, um die Integration in das Gesamtsystem zu optimieren. Dies ermöglicht eine bessere Ausnutzung erneuerbarer Energien und eine verbesserte Integration mit konventionellen Energiequellen.

Neben den technischen Aspekten gibt es auch weitere wichtige Faktoren, die bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen berücksichtigt werden müssen. Datenschutz und Sicherheit spielen eine entscheidende Rolle, da die Verarbeitung großer Mengen an Energie- und Verbrauchsdaten eine Herausforderung für den Schutz sensibler Informationen darstellt. Darüber hinaus stellen sich auch ethische Fragen, wie beispielsweise der faire Zugang zu Energie oder die Vermeidung von Diskriminierung bei der Nutzung von KI-gesteuerten Energiesystemen.

In Anbetracht all dieser Aspekte ist es von großer Bedeutung, die Rolle von KI und ML bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen zu untersuchen. Durch die Nutzung des Potenzials dieser Technologien können wir eine effizientere, nachhaltigere und zuverlässigere Energieversorgung erreichen. In dieser Seminararbeit werden wir die verschiedenen Einsatzbereiche von KI und ML in der Energieversorgung untersuchen und ihre Auswirkungen sowie mögliche Herausforderungen und zukünftige Entwicklungen analysieren.

II. GRUNDLAGEN DER KÜNSTLICHEN INTELLIGENZ UND MACHINE LEARNING

A. Typen von Machine Learning Algorithmen

- **Unsupervised Learning:** Beim unüberwachten Lernen gibt es keine Zielwerte, sondern das Ziel besteht darin, Muster und Strukturen in den Daten zu entdecken. Für

Abbildung 1: Veranschaulichung der Euklidischen gegenüber der Manhattan Distanz

das System liegen lediglich Eingabewerte vor, jedoch nicht die zugehörigen Ausgabewerte, wie beim überwachten Lernen.[1] Das Modell lernt eigenständig, wie es die Daten gruppieren oder Zusammenhänge finden kann. Clustering und Dimensionsreduktion sind Beispiele für unüberwachtes Lernen. Im Folgenden wird Clustering genauer erläutert: Beim hierarchischen Clustering geht es darum, Entfernungen zwischen verschiedenen Punkten zu messen. Eine der einfachsten Arten, die Distanz zu ermitteln ist die sogenannte Manhattan-Funktion. Diese spiegelt den Weg wieder, der gegangen werden müsste, wenn man einem Gitternetz folgt. Betrachtet man die Punkte $X=(X_1, X_2, \dots)$ und $Y=(Y_1, Y_2, \dots)$ ergibt sich die folgende Formel:

$$d = \sum_{i=1}^n |X_i - Y_i|$$

n repräsentiert hierbei die Anzahl der verschiedenen Variablen, X_i und Y_i sind die Werte der jeweiligen i -ten Variable.

Eine weitere verbreitete Messung der Entfernung zweier Punkte zueinander ist die euklidische Distanz. Sie basiert auf dem Satz des Pythagoras und ermittelt den Weg über die Wurzel der Quadrierten Differenz der Punkte:

$$d = \sqrt{\sum_{j=1}^n (x_j - y_j)^2}$$

[2]

Mithilfe der folgenden Abbildung wird der Unterschied nochmals grafisch dargestellt:

- **Semi-supervised Learning:** Beim halbüberwachten Lernen werden Modelle mit einer Kombination aus markierten und nicht markierten Daten trainiert. Somit agiert semi-supervised learning zwischen unsupervised- und supervised learning. Motivation hinter der Art des Lernens ist der Aufwand und die Kosten, des Anbieten von gelabelten Daten, bei welchen Ein- und Ausgabewerte bekannt sind. [1] Das Modell nutzt die vorhandenen markierten Daten, um Informationen zu generalisieren und die nicht markierten Daten zu nutzen, um weitere Muster zu erkennen.
- **Supervised Learning:** Der Grundgedanke bei supervised Learning ist, dass die Beispiele (Ein- und Ausgabewerte) bekannt sind. Die Aufgabe des Computers gleicht hier dem Auswendiglernen, wobei der Rechner dies deutlich einfacher und schneller schafft als Menschen. Hieraus ergibt sich eine Funktion, mit welcher bei unbekannten Eingabewerten eine sinnvolle Ausgabe erzielt wird. Diese Funktion wird in der künstlichen Intelligenz als

Modell bezeichnet. Die Entwicklung des Modells ist ein stetiger Prozess. Die Parameter des Modells werden während der Lernphase immer wieder angepasst, um die Optimalen Werte hierfür zu finden. Der besondere Vorteil am überwachten Lernen liegt darin, dass man die Ausgaben kennt, und somit während des Lernvorgangs das Modell hinsichtlich der Fehleranfälligkeit überprüfen kann. Bewertet wird das Modell dann jedoch mit Daten, die noch nicht bekannt sind, wobei man möglichst versucht, zu vermeiden, eine höhere Fehleranzahl zu haben, als in der Lernphase, genannt Overfitting. Auch Underfitting stellt ein Problem dar, was meist der Fall ist, wenn die Komplexität eines Modells zu niedrig ist.[1]

Man unterscheidet hierbei zwischen konkreten Ausgabewerten, sowie kontinuierliche Werte. Diese beiden Wertarten bestimmen, ob es sich bei dem supervised-learning Ansatz um eine Klassifikation oder eine Regression handelt. Bei einem kontinuierlichen Ausgangstyp ist es eine Regression, bei einem diskreten Ausgabewert spricht man von einer Klassifikation. Diese Unterscheidung ist nur von den Ausgabetypen abhängig und nicht von den Eingabewerten.[3]

- **Reinforcement Learning:** Reinforcement learning unterscheidet sich grundlegend von den bisher genannten Lernarten. Während bei un-, semisupervised learning, sowie supervised learning immer sehr viele Eingabedaten für das Lernsystem bereitgestellt werden müssen, generiert reinforcement learning diese selbst. Ein sogenannter Agent interagiert hierfür in einer bestimmten Umgebung. Das Ziel des Agenten besteht darin, Aktionen auszuführen, um eine maximale Belohnung zu erhalten. Durch Erfahrungen, Belohnungen und Bestrafungen passt der Agent sein Verhalten an, um optimale Entscheidungen in der Umgebung zu treffen. Dieser Lernansatz ist perfekt für Szenarien, in denen man keine, oder nur sehr schwierig Trainingsdaten bereitstellen kann. [1]

III. OPTIMIERUNG VON ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEMEN

A. Überblick über Energieversorgungssystemen

- **Konventionelle Energieversorgungssysteme:** Konventionelle Energieversorgungssysteme basieren hauptsächlich auf fossilen Brennstoffen wie Kohle, Erdöl und Erdgas. Diese Systeme umfassen thermische Kraftwerke, die die Energie aus der Verbrennung von fossilen Brennstoffen gewinnen, um elektrische Energie zu erzeugen. Sie sind weit verbreitet und haben in der Vergangenheit den Großteil der Energieversorgung abgedeckt.
- **Erneuerbare Energieversorgungssysteme:** Erneuerbare Energieversorgungssysteme nutzen natürliche Ressourcen wie Sonne, Wind, Wasser und Biomasse zur Energieerzeugung. Solarenergie wird durch Photovoltaik- oder Solarthermianlagen gewonnen, während Windenergie mithilfe von Windturbinen erzeugt

wird. Wasserkraftwerke nutzen die Energie des fließenden Wassers, und Biomasseanlagen wandeln organische Materialien in Energie um. Diese Systeme sind nachhaltiger und umweltfreundlicher, da sie erneuerbare Ressourcen nutzen und weniger CO₂-Emissionen verursachen.

- **Dezentrale Energieversorgungssysteme:** Dezentrale Energieversorgungssysteme zeichnen sich durch eine lokalisierte Energieerzeugung und -verteilung aus. Anstatt auf zentrale Kraftwerke angewiesen zu sein, werden kleine Energieerzeugungsanlagen wie Solaranlagen auf Dächern von Gebäuden oder kleine Windturbinen eingesetzt. Diese Systeme bieten die Möglichkeit, Energie vor Ort zu erzeugen und den Energieverlust durch den Transport über weite Strecken zu reduzieren.
- **Intelligente Energieversorgungssysteme:** Intelligente Energieversorgungssysteme nutzen fortschrittliche Technologien wie intelligente Netze (Smart Grids), um die Effizienz, Zuverlässigkeit und Integration erneuerbarer Energien zu verbessern. Smart Grids ermöglichen eine bidirektionale Kommunikation zwischen Energieerzeugern, Verbrauchern und dem Netz, wodurch ein optimierter Energiefluss, eine bessere Laststeuerung und die Integration von dezentralen Erzeugungsanlagen möglich sind. Durch den Einsatz von Sensoren, Datenanalyse und Steuerungssystemen können intelligente Energieversorgungssysteme den Energieverbrauch und die Nachfrage besser prognostizieren und optimieren.

B. Herausforderungen bei der Optimierung

Die Optimierung von Energieversorgungssystemen steht vor einer Reihe von Herausforderungen, die es zu bewältigen gilt. Eine der zentralen Herausforderungen besteht in der Komplexität dieser Systeme. Energieversorgungssysteme bestehen aus einer Vielzahl von Komponenten und Akteuren, wie beispielsweise Energieerzeugung, -übertragung, -verteilung und -verbrauch. Die Koordination und Optimierung all dieser Komponenten erfordert eine umfassende Analyse und Steuerung, um effiziente Ergebnisse zu erzielen.

Ein weiterer wichtiger Aspekt ist die Volatilität erneuerbarer Energien. Die Integration von erneuerbaren Energien wie Solarenergie und Windenergie in das Energieversorgungssystem stellt eine Herausforderung dar. Diese Energiequellen unterliegen starken Schwankungen aufgrund von Wetterbedingungen und weisen volatilere Erzeugungsmuster auf als konventionelle Energieressourcen.

Darüber hinaus stehen Energieversorgungssysteme vor Herausforderungen im Zusammenhang mit der Skalierbarkeit und Flexibilität. Da die Energienachfrage schwankt und sich die Energieerzeugungsmuster ändern, müssen die Systeme in der Lage sein, sich an diese Veränderungen anzupassen und eine zuverlässige Energieversorgung sicherzustellen.

Die Sicherheit und Zuverlässigkeit des Energieversorgungssystems ist eine weitere Herausforderung. Da das Energienetz ein attraktives Ziel für Cyberangriffe darstellt, müssen Maßnahmen ergriffen werden, um die Systeme vor potenziellen

Bedrohungen zu schützen und die Verfügbarkeit der Energieversorgung zu gewährleisten.

Nicht zuletzt sind auch wirtschaftliche und regulatorische Herausforderungen zu berücksichtigen. Die Optimierung von Energieversorgungssystemen erfordert Investitionen in Infrastruktur, Technologien und Forschung. Zudem müssen regulatorische Rahmenbedingungen geschaffen werden, die die Integration neuer Technologien und Geschäftsmodelle ermöglichen und den Übergang zu einer nachhaltigen Energieversorgung unterstützen.

Insgesamt stehen die Optimierung von Energieversorgungssystemen vor verschiedenen Herausforderungen, die von der Komplexität der Systeme über die Integration erneuerbarer Energien bis hin zu Fragen der Sicherheit, Skalierbarkeit und Wirtschaftlichkeit reichen. Die Bewältigung dieser Herausforderungen erfordert einen interdisziplinären Ansatz, der technologische, wirtschaftliche, regulatorische und soziale Aspekte berücksichtigt.

C. Allgemeine Möglichkeiten der Optimierung

IV. ROLLE VON KÜNSTLICHER INTELLIGENZ UND MACHINE LEARNING BEI DER OPTIMIERUNG VON ENERGIEVERSORGUNGSSYSTEMEN

Künstliche Intelligenz (KI) und maschinelles Lernen (ML) spielen eine immer wichtigere Rolle bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen. Diese Technologien bieten innovative Ansätze zur Verbesserung der Effizienz, Zuverlässigkeit und Nachhaltigkeit der Energieerzeugung, -verteilung und -nutzung. In diesem Kontext können KI und ML verschiedene Hauptaufgaben übernehmen.

Ein wichtiger Aspekt ist die Prognose und Optimierung von Energieverbrauch und -erzeugung. Durch die Analyse historischer Daten können Modelle entwickelt werden, um den zukünftigen Energiebedarf vorherzusagen. Dies ermöglicht eine verbesserte Planung der Energieerzeugung und -verteilung, um Engpässe zu vermeiden und die Effizienz zu maximieren. Zudem können ML-Algorithmen zur Lösung komplexer Optimierungsprobleme eingesetzt werden, beispielsweise zur Optimierung von Energieflüssen in intelligenten Netzwerken oder zur Ressourcenoptimierung in dezentralen Energieversorgungssystemen.

Eine weitere Rolle von KI und ML liegt im Lastmanagement und der Nachfragesteuerung. Durch die Analyse von Echtzeitdaten können Modelle entwickelt werden, um den Energiebedarf in verschiedenen Szenarien vorherzusagen und entsprechende Maßnahmen zur Laststeuerung zu empfehlen. Dies kann die Netzstabilität verbessern und den Bedarf an zusätzlicher Energieerzeugung während Spitzenzeiten reduzieren.

Darüber hinaus können KI und ML zur Überwachung von Energieerzeugungsanlagen und zur frühzeitigen Erkennung von Wartungsbedarf eingesetzt werden. Durch die Analyse von Sensordaten und anderen Betriebsparametern können Modelle entwickelt werden, um Anomalien und potenzielle Ausfälle vorherzusagen. Dies ermöglicht eine proaktive In-

standhaltung und verringert die Ausfallzeiten von Anlagen, was zu einer verbesserten Effizienz und Verfügbarkeit führt.

Die Integration erneuerbarer Energien stellt eine weitere Herausforderung dar, die durch KI und ML bewältigt werden kann. Durch die Analyse von Wetterdaten, Netzwerkleistung und historischen Mustern können Modelle entwickelt werden, um die Vorhersage und Integration erneuerbarer Energien zu verbessern.

Schließlich können KI und ML Verbrauchern dabei helfen, ihren Energieverbrauch zu optimieren und energieeffiziente Entscheidungen zu treffen. Durch die Analyse von Verbrauchsdaten und Verhaltensmustern können personalisierte Empfehlungen gegeben werden, beispielsweise der Einsatz von energieeffizienten Geräten oder die Anpassung des Nutzungsverhaltens.

Insgesamt spielen KI und ML eine entscheidende Rolle bei der Optimierung von Energieversorgungssystemen, indem sie zu einer effizienteren Nutzung von Energie, einer besseren Integration erneuerbarer Energien und einer verbesserten Steuerung von Lasten beitragen. Diese Technologien tragen dazu bei, die Herausforderungen im Energiesektor anzugehen und den Übergang zu einer nachhaltigeren und effizienteren Energieversorgung zu unterstützen.

A. Potenzial und Vorteile von künstlicher Intelligenz und Machine Learning

B. Beispiele und Anwendungen von künstlicher Intelligenz und Machine Learning in der Energieversorgung

V. KRITISCHE BETRACHTUNG UND AUSBLICK

A. Grenzen und Risiken von künstlicher Intelligenz

B. Perspektiven

VI. FAZIT UND AUSBLICK