



Benedikt Grosch, Stefan Seyfried, Nina Strobel, Matthias Weigold

Chancen durch den Einsatz Künstlicher Intelligenz im industriellen Energiemanagement

Der Artikel gibt einen Überblick über die Einsatzmöglichkeiten von Künstlicher Intelligenz (KI) im industriellen Energiemanagement. Dabei liegt der Schwerpunkt insbesondere auf praktischen Anwendungsfällen. Am Beispiel der ETA-Fabrik, einer Forschungsfabrik im Originalmaßstab am Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Darmstadt, wird aufgezeigt, wie die Technologien im Sinne eines ganzheitlichen Energiemanagements einsetzbar sind und welche Vorteile sich daraus für mittelständische Unternehmen ergeben können.

Einleitung

Die Anreize für Unternehmen, in Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz zu investieren, steigen unter anderem aufgrund der verstärkten öffentlichen Wahrnehmung des Klimawandels und seiner ökologischen Auswirkungen. Zukünftig ist aufgrund rechtlicher Vorgaben wie einer steigenden CO₂-Bepreisung und ökonomischen Entwicklungen am

Energiemarkt mit steigenden Energiepreisen zu rechnen. Um den Energieverbrauch im Unternehmen genau zu erfassen, zu bewerten und gezielt zu optimieren, haben sich digital gestützte Energiemanagementsysteme, beispielsweise nach ISO 50001 etabliert, die dazu beitragen können, die Energiekosten von Unternehmen zu senken und damit ihre Wettbewerbsfähigkeit zu stärken.

Gleichzeitig werden gegenwärtig Technologien auf Basis von KI und speziell des Maschinellen Lernens stetig weiterentwickelt und finden Einzug in die industrielle Produktion. Dazu trägt auch die zunehmende Verfügbarkeit von günstiger Rechenleistung und Speicherkapazitäten bei. Dies erlaubt es, aus großen Datenmengen zuvor unbekannte Wirkzusammenhänge zu erkennen oder auf Basis vorhandener Datenmodelle eine automatisierte Vorhersage zukünftiger Energiebedarfe zu erstellen.¹

¹ Vgl. Metternich et al. (2019).

Auf KI-Technologien basierende Systeme werden in Zukunft vermehrt für das industrielle Energiemanagement genutzt. Sie ermöglichen es, die typischerweise komplexen Wirkzusammenhänge industrieller Energiesysteme zu modellieren und diese Systeme mit neuartigen Verfahren zu optimieren. Die Einsatzszenarien sind vielfältig: Sie reichen von der Prognose zukünftiger Energieverbräuche, über das sensorreduzierte Monitoring der Verbräuche mithilfe virtueller Messstellen, die energieadaptive Produktionsplanung und optimierte Betriebsplanung von Energieversorgungssystemen bis hin zu Bilddatenauswertung und Assistenzsystemen zur Identifikation beziehungsweise Auswahl von Energieeffizienzmaßnahmen.

Der Einsatz derartiger Technologien kann die Beschäftigten im Energiemanagement eines Unternehmens unterstützen, da herkömmliche Ansätze stets interdisziplinäres Expertenwissen erfordern. Dieses ist jedoch insbesondere in kleinen und mittleren Unternehmen nur selten verfügbar. Hier können Systeme eine Entlastung bieten, die automatisiert versuchen, ein vorgegebenes Ziel, wie beispielsweise eine Steigerung der Energieeffizienz, zu erreichen. Im Hinblick auf KI spricht man dabei auch von KI-Agenten, die durch ihre Interaktion mit der Umwelt lernen und Wege zur Zielerreichung finden. Beispielsweise kann ein solcher KI-Agent durch die Anlagenregelung eine Betriebsweise anstreben, die einen möglichst geringen Energieverbrauch nach sich zieht. Alternativ könnte der Begriff Agent auch für eine Anwendung stehen, die sinnvolle Energieeffizienzmaßnahmen für ein zu optimierendes System vorschlägt.

KI-Agenten können direkt im Anwendungsfeld beim einsetzenden Unternehmen entwickelt bzw. für den speziellen Anwendungsfall angelernt werden. Da die Entwicklung solcher Modelle allerdings in der Regel technische Expertise im Bereich der KI voraussetzt, liegt gerade für den Mittelstand ein großes Potenzial in KI-Agenten, die der Hardware-Hersteller für das entsprechende System mitliefert und die nur noch auf den speziellen Anwendungsfall transferiert werden müssen.

Anwendungen in der Industrie

In der ETA-Fabrik, einer Forschungsfabrik am Mittelstand 4.0 Kompetenzzentrum Darmstadt, werden KI-Systeme aller Autonomiegrade entwickelt, um einen Beitrag zur CO₂-freien Produktion der Zukunft zu leisten. Die erforschten Anwendungen umfassen sowohl die Erfassung von Energiedaten aus dem

Produktionssystem als auch die Steuerung und Regelung von einzelnen Komponenten bis hin zu gesamten Fabrikssystemen. Einige dieser Anwendungsfälle sollen im Folgenden vorgestellt werden. Für die zukünftige Anwendung muss berücksichtigt werden, dass mit der Übertragung von Kontrolle an einen KI-Agenten auch ethische und rechtliche Anforderungen an den KI-Agenten einhergehen, die eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit solchen Systemen erlauben. Die Erarbeitung von Zertifizierungen, welche dies gewährleisten, sind Gegenstand aktueller Forschungsaktivitäten.²

Virtuelle Messstellen:

Durch die gesetzliche Verpflichtung von Unternehmen zur Zertifizierung nach ISO 50001 oder zur Durchführung von Energieaudits, wird es notwendig, mehr Energiedaten zu erheben. Dies bietet wiederum die Möglichkeit, neue Effizienzmaßnahmen zu identifizieren und umzusetzen. Jede Anlage und Maschine mit entsprechender Messtechnik auszurüsten, ist jedoch teuer und aufwändig. Gleichzeitig bieten temporäre Messungen nur eingeschränkt Einblick in das Verbrauchsgeschehen. Zustandsbasierte Messstellen, wie sie in der ETA-Fabrik entwickelt werden, können dabei Abhilfe schaffen.³

Zunächst wird dafür eine temporäre Messung des Energieverbrauchs durchgeführt und gleichzeitig werden verfügbare Zustandssignale aufgezeichnet – beispielsweise, welche Aggregate einer Maschine zu welchem Zeitpunkt eingeschaltet waren. Mit diesen Daten kann ein Agent angelernt werden, der dann basierend auf den Zustandssignalen den Energieverbrauch schätzt. Nachdem die Messung einmal durchgeführt wurde, werden somit lediglich die einfach verfügbaren Zustandsinformationen benötigt. Dafür kommen Maschinenvariablen in Frage, die auch für die Statusanzeigen in Produktionsleitsystemen genutzt werden.

Bild- und Messdatenauswertung:

Die vermutlich häufigste Anwendung von KI in der Produktion ist die Bild- und Messdatenauswertung, wie sie in der Qualitätsüberwachung zum Einsatz kommt. Dabei kann zum Beispiel die Produktionsqualität mithilfe von Kameras überwacht werden. Ein KI-Agent identifiziert auf Basis der Kamerabilder mögliche Fehler und diese können von Mitarbeitenden geprüft und ausgebessert werden. Ähnliche Anwendungen könnten auch im Energiemanagement

² Vgl. Cremers et al. (2019).

³ Vgl. Sossenheimer et al. (2019).



Abbildung 1: Detektion der Positionen von Personen in der ETA-Fabrik auf Basis von Wärmebildkameraaufnahmen

zum Einsatz kommen. Denkbar wäre beispielweise eine bedarfsgerechte Lüftungssteuerung oder eine Beleuchtungssteuerung mithilfe von Wärmebildkameras, wie sie aktuell in der ETA-Fabrik erprobt wird. Abbildung 1 zeigt ein Wärmebild der ETA-Fabrik, auf dem die Positionen von Personen in der Fabrikhalle automatisch mithilfe eines neuronalen Netzes erkannt werden. Entsprechend dieser Daten erfolgt eine automatisierte Regelung der Beleuchtung.

Kurzfrist-Prognosen:

In einigen Fällen ist es interessant zu erfahren, wie sich ein System in der näheren Zukunft verhalten wird. Ein typischer Anwendungsfall ist die Lastspitzenreduktion. Da die Leistungskosten für Strom signifikant steigen, wenn eine hohe Lastspitze erzeugt wird, möchten Unternehmen diese möglichst vermeiden. Dabei kann eine Prognose helfen, die abschätzt, wie sich der Leistungsverlauf in den kommenden 15 Minuten verhalten wird. Sobald eine Spitze festgestellt wird, kann dann regelnd eingegriffen werden und beispielweise das Einschalten einer weiteren Last verzögert werden. Unternehmen können somit Kosten sparen. Gleichzeitig wird damit auch das Stromnetz gestützt, da weniger Regelleistung benötigt wird.

In der ETA-Fabrik werden Modelle entwickelt, um solche Vorhersagen zu optimieren. Dabei werden verschiedenste Parameter berücksichtigt, um ein möglichst aussagekräftiges Bild zu erhalten, wie sich die Fabrik in den kommenden 15 Minuten verhalten wird. Dazu gehören neben Wettervorhersagen auch Daten aus dem Produktionssystem und der

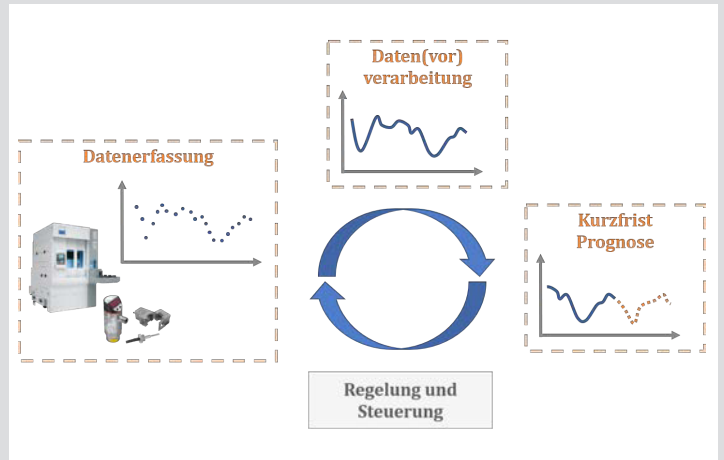


Abbildung 2: Datenfluss und Anwendungen für KI

Versorgungstechnik. Um den KI-Agenten zu trainieren, werden dabei Daten aus einem ausreichend langen Zeitraum benötigt, die möglichst alle Betriebsfälle abdecken. So wird ein ausreichend genaues Ergebnis erzielt.⁴ In Abbildung 2 ist der Datenfluss mit einer integrierten Kurzfrist-Prognose aufgezeigt. Zunächst werden mithilfe von physischer oder virtueller Sensorik (s. oben) Daten erfasst. Diese Daten werden vorverarbeitet und dabei aufbereitet. Beispielsweise werden Fehlstellen und Ausreißer korrigiert. Daraufhin erfolgt eine Prognose mithilfe eines KI-Agenten, deren Ergebnisse in die Regelung und Steuerung von Anlagen einfließen können - beispielsweise zur Lastspitzenreduktion.

Vorschlagswesen für Energieeffizienzmaßnahmen:

Auf ähnliche Art und Weise ist es auch denkbar, dass KI-Agenten Energieeffizienzmaßnahmen vorschlagen. Dies ist ein Thema, das in der ETA-Fabrik in Zukunft näher untersucht werden soll. Bisher werden Effizienzmaßnahmen zumeist von professionellen Energieberatern vorgeschlagen oder im Unternehmen durch das Energiemanagement erarbeitet. Einige bewährte Maßnahmen sind dabei besonders beliebt und werden häufig umgesetzt. Es gibt jedoch oftmals weitere Maßnahmen, die weniger bekannt sind. Um auch solche Maßnahmen stärker ins Bewusstsein zu rücken und die wirtschaftliche und energetische Bewertung im Unternehmenskontext zu erleichtern, kann ein Vorschlagssystem nützlich sein.

⁴ Vgl. Walther et al. (2019).

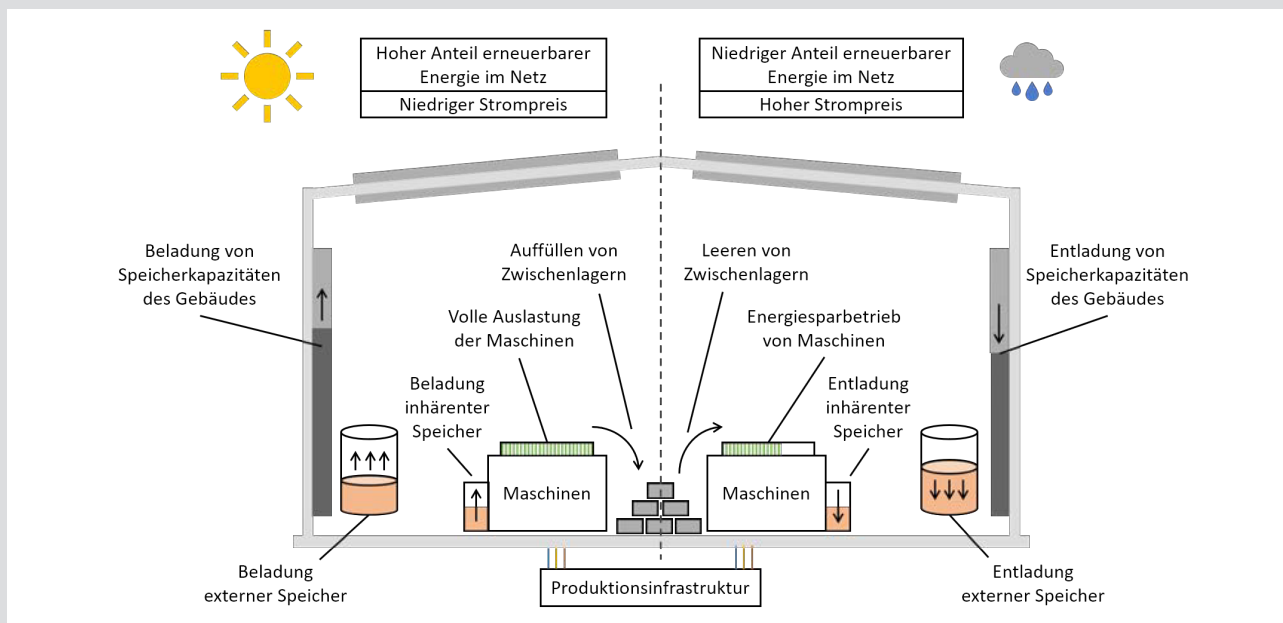


Abbildung 3: Betriebsszenarien der energieflexiblen Fabrik nach Verfügbarkeit erneuerbarer Energieträger

Ein solches System nutzt eine Datenbasis von vorhandenen Energiedaten und daraus resultierenden Effizienzmaßnahmen, die beispielsweise in der Forschung identifiziert werden. Darauf basierend können dann die Energiedatenverläufe anderer Unternehmen oder Maschinen analysiert und bewertet werden. Der KI-Agent kann daraus ableiten, welche Maßnahmen auf die untersuchten Maschinen und Unternehmen übertragbar wären.

Energieflexibler Fabrikbetrieb:

Auf dem Weg zur CO₂-freien Fabrik muss neben der Steigerung der Energieeffizienz untersucht werden, wie eine bessere Ausnutzung erneuerbarer Energieträger im Fabrikbetrieb möglich ist. Herausfordernd ist dabei, dass diese Energieträger oftmals nicht planbar verfügbar sind, sondern Energie schwankend bereitstellen; beispielsweise abhängig von den herrschenden Wetterbedingungen. Um eine optimale Ausnutzung zu erreichen und möglichst wenig auf konventionelle Brennstoffe zurückzugreifen, muss die Fabrik daher auf die Erzeugungsschwankungen reagieren. Dies wird als Energieflexibilität bezeichnet. Eine Übersicht möglicher Optionen für den Betrieb bei hohem und niedrigem Anteil erneuerbarer Energien im Stromnetz ist in Abbildung 3 dargestellt.

Die energieflexible Fabrik lässt sich nur erreichen, wenn das gesamte Fabrikssystem, bestehend aus Versorgungstechnik und Produktion, annähernd optimal betrieben wird. Dabei sind die äußeren Bedingungen, wie die Verfügbarkeit erneuerbarer Energien ebenso zu berücksichtigen wie die Eigenschaften der unterschiedlichen Maschinen und Anlagen. Dementsprechend werden für einen optimalen Betrieb sehr viele Vorgabewerte berechnet. Das daraus resultierende mathematische Problem ist also sehr komplex und schwer lösbar. Auch dies ist ein gutes Einsatzgebiet für KI-Agenten. Die Agenten können lernen, den Einfluss äußerer Faktoren auf den Fabrikbetrieb zu bewerten. Durch die Nutzung von Informationen über Bedarfe und Anlagen können sie die Fabrikanlagen optimal steuern.

In der ETA-Fabrik werden sowohl Verfahren für die Steuerung der Versorgungstechnik als auch für den Betrieb der Produktion entwickelt. In beiden Fällen werden verschiedene Ansätze verfolgt. Beispielsweise kann die Versorgungstechnik mithilfe eines KI-basierenden Reglers betrieben werden. Dieser kann, je nach Aufbau des Systems und Rahmenbedingungen bis zu 20 % des Energiebedarfs einsparen.⁵ Der Regler nimmt Daten aus dem Versorgungssystem und der

⁵ Vgl. Panten (2019).

Produktion auf und nutzt diese, um optimale Fahrpläne für mehrere Anlagen vorzugeben, zum Beispiel ein Blockheizkraftwerk und eine Reinigungsmaschine als thermische Last.

Eine weitere Möglichkeit ist die energetische Optimierung der Produktion. Diese geht davon aus, dass bei einer nicht vollständig ausgelasteten Produktion einige Maschinen zeitweise nicht produzieren. Diese nicht produktiven Zeiträume sollten möglichst dann stattfinden, wenn wenig erneuerbare Energie im Stromnetz verfügbar ist. Zudem sollten sie zusammengefasst werden und möglichst lange andauern, damit ein Wechsel der Produktionsmaschinen in den Standby-Modus – soweit vorhanden – möglich wird. Ein Prototyp hierfür wurde in der ETA-Fabrik entwickelt. Dieser ermöglicht je nach Rahmenbedingungen Einsparungen von bis zu 8 % der Energiekosten.⁶ Dies hängt jedoch stark von der Auftragsituation ab.

Die weitere Entwicklung dieser Anwendungsfälle wird auf allen Stufen des Datenflusses, von der Datenerfassung bis hin zur Rückgabe von Steuerungssignalen und Vorgabewerten, stattfinden. Hier müssen insbesondere Fragestellungen zur Verfügbarkeit und Qualität von Messdaten sowie zur Einsteuerung von Vorgabewerten bearbeitet werden. Aufgrund des höheren Autonomiegrads entsprechender Regler muss zudem sichergestellt werden, dass diese sicher und zuverlässig funktionieren. Die ETA-Fabrik in Darmstadt wird aktuell zum Testfeld für die Erprobung von KI-Algorithmen im Produktionsumfeld ausgebaut. Damit kann die direkte Ansteuerung von realen Anlagen durch KI-Algorithmen erprobt werden.

Fazit

Es existieren große Potenziale für die Anwendung von KI im Energiemanagement. Es gibt bereits einige Anwendungen, die möglicherweise bald einsatzbereit sind. Diese ermöglichen eine kostengünstigere Datenerfassung und -verarbeitung. Die Entwicklung solcher Anwendungen wird insbesondere durch die aktuelle Gesetzgebung zu Energiemanagementsystemen und Energieaudits begünstigt. Die Möglichkeit KI für ein Vorschlagswesen zu nutzen, bietet ein großes Potenzial für die Umsetzung sinnvoller Energieeffizienzmaßnahmen.

Gleichzeitig gibt es komplexere Anwendungen, mit höheren Autonomiegraden, die in Zukunft die energieflexible Fabrik ermöglichen werden. Diese bieten hohe Einsparpotenziale, sind jedoch noch weiter von

der Einsatzbereitschaft entfernt, da hohe Anforderungen an Sicherheit und Zuverlässigkeit erfüllt werden müssen. Zudem müssen dafür die Verfügbarkeit und Qualität von Messdaten optimiert werden.

Die beschriebenen Ansätze zur KI-Nutzung im Energiemanagement sind insbesondere für den Mittelstand vielversprechend. Sie lassen erwarten, dass zukünftig auch kleine und mittlere Unternehmen selbständig Energieeffizienzpotenziale identifizieren und nutzen können, die sonst Personen mit ausgewiesener Expertise im Bereich des Energiemanagements erfordern und ihnen deshalb oft nur bedingt zur Verfügung stehen.

Literatur

- Cremers, Amin B.; Englander, Alex; Gabriel, Markus; Hecker, Dirk; Mock, Michael; Poretschkin, Maximilian; Rosenzweig, Julia; Rostalski, Frauke; Sicking, Joachim; Volmer, Julia; Voosholz, Jan; Voss, Angelika; Wrobel, Stefan (2019). Vertrauenswürdiger Einsatz von Künstlicher Intelligenz, Sankt Augustin.
- Grosch, Benedikt; Weitzel, Timm; Panten, Niklas; Abele, Eberhard (2019). A metaheuristic for energy adaptive production scheduling with multiple energy carriers and its implementation in a real production system. In: *Procedia CIRP*, S. 203-208.
- Metternich, Joachim; Weigold, Matthias; Stanula, Patrick; Ziegenbein, Amina (2019). Vernetzung und Digitalisierung für die innovative Datenanalyse, Aufgerufen am 19.06.2020: <https://www.werkstatt-betrieb.de/fachinformationen/e-only/artikel/vernetzung-und-digitalisierung-fuer-die-innovative-datenanalyse-teil-1-9383480.html?search.highlight=innovative%20datenanalyse>.
- Panten, Niklas (2019). Deep Reinforcement Learning zur Betriebsoptimierung hybrider industrieller Energienetze, In: *Schriftenreihe des PTW: "Innovation Fertigungstechnik"*, Shaker, Aachen.
- Sossenheimer, Johannes; Walther, Jessica; Fleddermann, Jan; Abele, Eberhard (2019). A Sensor Reduced Machine Learning Approach for Condition-based Energy Monitoring for Machine Tools. In: *21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, S. 570-575.
- Walther, Jessica; Spanier, Dario; Panten, Niklas; Abele, Eberhard (2019). Very short-term load forecasting on factory level – A machine learning approach. In: *21st CIRP Conference on Life Cycle Engineering*, S. 705-710.

⁶ Vgl. Grosch et al. (2019).

AutorInnen



Benedikt Grosch, M. Sc. studierte Maschinenbau an der Technischen Universität Darmstadt. Seit 2018 ist er am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum

Darmstadt befasst er sich mit der Gestaltung von Workshops und der Entwicklung von Demonstratoren zum Thema Energie in der Produktion.



Stefan Seyfried, M. Sc. M. Sc. studierte Maschinenbau und Wirtschaftsingenieurwesen an der Technischen Universität Darmstadt. Seit 2018 ist er am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Im Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Darmstadt koordiniert er den Themenschwerpunkt Energie.



Nina Strobel, M.Sc. studierte Energietechnik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg. Seit 2015 ist sie am Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der Technischen Universität Darmstadt als wissenschaftliche Mitarbeiterin und Leiterin der Forschungsgruppe

„Energietechnologien und Anwendungen in der Produktion“ tätig, in der auch der Themenschwerpunkt Energie des Kompetenzzentrums angesiedelt ist.



Prof. Dr.-Ing. Matthias Weigold leitet seit 2019 gemeinsam mit Prof. Dr.-Ing. Joachim Metternich das Institut für Produktionsmanagement, Technologie und Werkzeugmaschinen (PTW) der TU Darmstadt. Neben weiteren produktionstechnischen Forschungsgruppen verantwortet er auch die Gruppe „Energietechnologien und Anwendungen in der Produktion“.

Mit praxisorientierten Angeboten begleitet das Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum Darmstadt produzierende mittelständische Unternehmen zu folgenden Schwerpunkten bei der Digitalisierung:

- ▶ Arbeit - Auswirkungen des digitalen Wandels für die Arbeitswelt erkennen und nutzen
- ▶ Effizienz - Unternehmensprozesse mit digitalen Technologien optimieren
- ▶ Energie - Einsparpotenziale der Digitalisierung erkennen und realisieren
- ▶ Ideen - Chancen des digitalen Wandels erkennen und neue Geschäftsmodelle entwickeln
- ▶ Sicherheit - IT-Risiken der digitalen Vernetzung effizient adressieren

<https://www.kompetenzzentrum-darmstadt.digital/>

