

Der Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie: Eine datenbasierte Analyse

Effizienzsteigerung durch Energiemanagementsysteme

L. Jung, K. Torolsan, A. Gergert, F. Förster, A. Sauer

ZUSAMMENFASSUNG Mit dem Energieeffizienz-Index, einer empirischen Datenquelle, lässt sich der Grad der Implementierung von Energiemanagementsystemen untersuchen. Die Erfassung und Analyse von Energieverbrächen erlaubt es Unternehmen, ihre Energieeffizienz zu steigern.

STICHWÖRTER

Energieeffizienz, Nachhaltigkeit, Informationsmanagement

Efficiency through energy management systems

ABSTRACT The Energy Efficiency Index is an empirical data source examining the degree to which energy management systems are implemented in industry. Monitoring and analyzing energy consumption enables companies to increase their energy efficiency.

1 Einleitung

Im Pariser Klimaabkommen von 2015 verpflichteten sich 195 Staaten ihre Emissionen zu reduzieren, mit dem Ziel, den Klimawandel einzudämmen [1]. Aus diesem Grund wurde der Europäische Green Deal für 27 EU-Mitgliedsstaaten eingeführt, um bis 2045 Klimaneutralität zu erreichen [2]. In Deutschland sollen die Treibhausgasemissionen bis 2030 um mindestens 65 % im Vergleich zu 1990 gesenkt werden. Ein weiteres Ziel ist es, bis 2040 die Emissionen um 88 % zu reduzieren [3].

Der Industriesektor ist nach der Energiewirtschaft die zweitgrößte Emissionsquelle für Treibhausgase in Deutschland – mit einem Anteil von 22 % an den Gesamtemissionen [4]. Steigende Energiekosten, zunehmende Umweltbelastungen und gesetzliche Vorgaben zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen stellen Unternehmen vor die Herausforderung, ihre Energieeffizienz zu steigern. In diesem Zusammenhang haben sich Energiemanagementsysteme (EnMS) als wichtiges Instrument zur Überwachung, Steuerung und Optimierung des Energieverbrauchs etabliert. Mit EnMS lassen sich Ressourcen effizienter nutzen und Kosten senken.

Dieser Beitrag stellt Analysen vor, die auf empirischen Erhebungen des Energieeffizienz-Index basieren. Im Folgenden werden die Grundlagen von Energieeffizienz und Energiemanagementsystemen erörtert, bevor eine detailliertere Analyse der Daten und Ergebnisse vorgestellt werden.

2 Der Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie

Energieeffizienz spielt aufgrund globaler Herausforderungen eine bedeutende Rolle [5]. Energieeffizienz wird als das Verhältnis von erzieltem Nutzen zu eingesetzter Energie definiert. Die Erhöhung der Effizienz in der Industrie bringt wirtschaftliche

Vorteile durch die Reduzierung des Energieverbrauchs und der damit verbundenen Energiekosten. Sie leistet zudem einen Beitrag zur Reduzierung von Treibhausgasemissionen und zu einer geringeren Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen. Die Steigerung der Energieeffizienz spielt also eine wichtige Rolle in der Entwicklung von nachhaltigen industriellen Wirtschaftsstrukturen.

Das Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP) der Universität Stuttgart erforscht Lösungen zur Reduzierung des Energieverbrauchs in der industriellen Produktion. Aufgrund der hohen Relevanz der Energieeffizienz wurde das Ziel verfolgt, Fortschritte in diesem Bereich messbar zu machen, um einen Entscheidungsleitfaden für Industrie, Politik und Wissenschaft zu schaffen. Der Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie (EEI) wird seit 2013 halbjährlich erhoben [6]. Ziel ist es, ein Stimmungsbild der deutschen Industrie zum Thema Energieeffizienz zu erhalten. Darüber hinaus werden halbjährlich wechselnde aktuelle Sonderthemen abgefragt.

Die Berechnung des Energieeffizienz-Index erfolgt anhand von drei Teilindizes: Bedeutung der Energieeffizienz (Teilindex EBI), Energieproduktivität im Unternehmen (Teilindex EPI) und Investitionen in Energieeffizienz (Teilindex EII). Die Teilindizes bilden zusammen den Energieeffizienz-Index (EEI).

$$EEI = \sqrt[3]{EBI \times EPI \times EII}$$

[6]

Der Teilindex „Bedeutung“ ist eine Abfrage der persönlichen Einschätzung der befragten Unternehmen zum Thema Energieeffizienz. Sowohl die aktuelle Bedeutungseinschätzung als auch die Bedeutungserwartung für die nächsten 12 Monate werden abgefragt und im Teilindex abgebildet. Der Teilindex „Investitionen“ berücksichtigt, welchen Anteil an den Gesamtinvestitionen die befragten Unternehmen aktuell und im kommenden Jahr in Energieeffizienz investieren (werden). Analog dazu wird im Teilindex

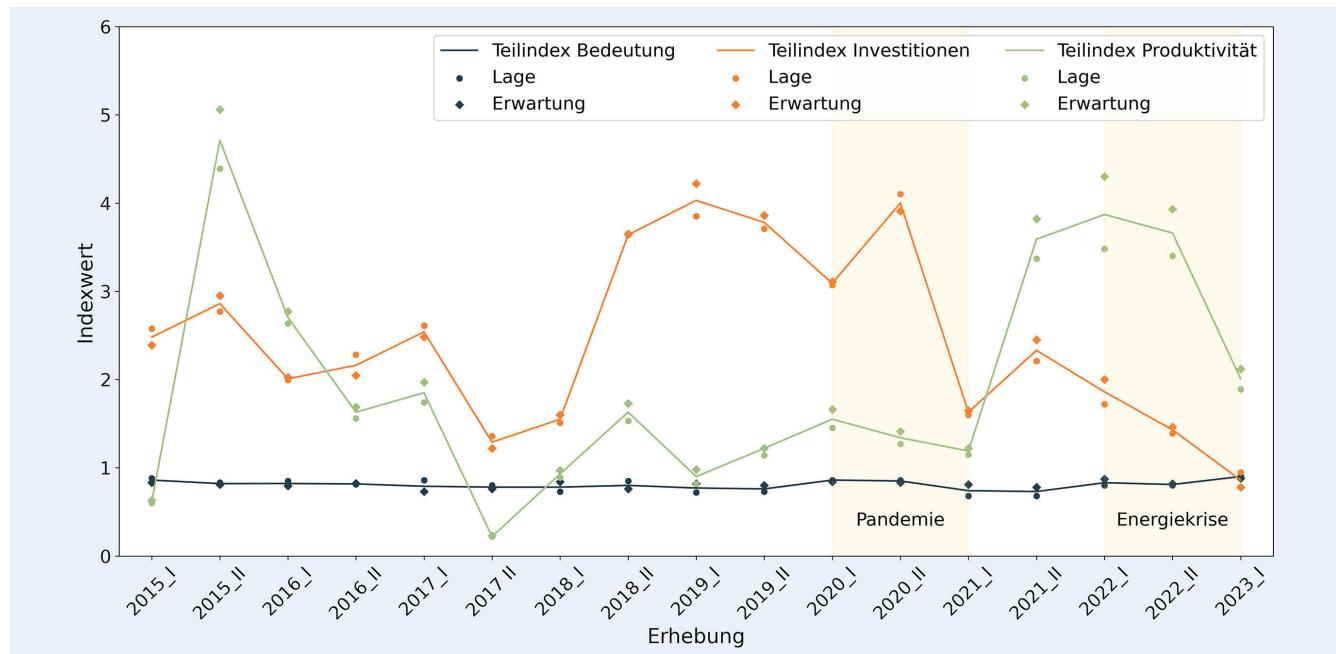


Bild 1. Teilindizes. Grafik: [7]

„Produktivität“ das Verhältnis von Umsatz zu Energieverbrauch für den aktuellen Zeitrahmen und die künftigen Erwartungen abgebildet. Ein höherer Indexwert deutet auf einen Fortschritt hin. Der Teilindex Bedeutung ist über die letzten drei Jahre konstant geblieben, während die Teilindizes für Investitionen und Produktivität einen signifikanten Rückgang im Jahr 2023 verzeichnet haben (Bild 1).

Die Auswirkungen der Pandemie und der Ausbruch des Ukrainekriegs haben sich negativ auf die Investitionsbereitschaft im Bereich der Energieeffizienz ausgewirkt. Die Industrie hatte in dieser Zeit mit vielen Problemen zu kämpfen, wie etwa der Aufrechterhaltung der Produktion und der Lieferketten, einem Abschwung der Wirtschaft und hohen Energiepreisen. Wirtschaftliche Unsicherheit, finanzielle Belastungen, höhere Inflation und Energiepreise haben die Investitionstätigkeit gedämpft [7]. Der Klimainvestitionsbericht der Europäischen Investitionsbank EIB zeigt, dass zunehmend mehr Unternehmen in den Klimaschutz investieren. Allerdings gelten hohe Unsicherheiten als Hindernis für diese Investitionen [8]. Angesichts dieser Herausforderungen sind Energieeffizienzmaßnahmen wichtig. Ein Drittel der Energieeinsparmaßnahmen lassen sich ohne große Investitionen realisieren [9]. Vor allem die Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs kann sich als Entscheidungskriterium etablieren und Einsparungen bei energieintensiven Prozessen ermöglichen.

Die Umfrage wird in Zusammenarbeit mit erfahrenen Marktforschungsinstituten durchgeführt, um eine hohe Qualität sowohl bei telefonischen als auch Online-Befragungen zu gewährleisten. Die wichtigsten Branchen in Deutschland sind durch eine festgelegte Verteilung repräsentiert, was eine Gewichtung der Branchen ermöglicht. Durch die hohe Teilnehmerzahl wird eine konstante Datenbasis erreicht, welche eine gleichbleibende Berechnung der Indizes und eine aussagekräftige Bewertung der verschiedenen Branchen in der Industrie in Deutschland erlaubt. Die Ergebnisse lassen sich nach Unternehmensgröße (Kleinstunternehmen, Kleinunternehmen, mittlere Unternehmen), nach Bundesländern, nach Wirtschaftszweigen oder nach Energieintensitätsklassen auswerten.

3 Energiemanagementsysteme (EnMS)

Die Überwachung des Energieverbrauchs erfolgt durch Energiemanagementsysteme (EnMS). Die Erfassung und Analyse der Energiedaten stellt Trends oder Spitzenverbrauchszeiten dar und kann zur Optimierung des Energiebedarfs sowie zur Senkung der Energiekosten beitragen. Zudem können Effizienzmaßnahmen abgeleitet werden, die sich durch die Verringerung des Energieverbrauchs wirtschaftlich und emissionsreduzierend auswirken. Die Einführung eines EnMS leistet somit einen Beitrag, um die Wirtschaftlichkeit und Wettbewerbsfähigkeit eines Unternehmens zu steigern [9].

Die ISO-50001-Zertifizierung [10] bietet Unternehmen einen Rahmen für die Etablierung, Implementierung, Aufrechterhaltung und Verbesserung eines EnMS. Die Norm verfolgt einen kontinuierlichen Verbesserungsprozess der energiebezogenen Leistung, um die Ziele der Energieeffizienz und des Energieverbrauchs auf allen Ebenen einer Organisation zu erreichen. Dieser Prozess basiert auf der Methode Plan-Do-Check-Act (PDCA). Er umfasst die Planung, Umsetzung, Überprüfung und Verbesserung. In der Planungsphase werden ein Energiebeauftragter oder ein Energie-Team benannt und eine initiale Bewertung der Energiesituation des Unternehmens vorgenommen. Die Umsetzung besteht aus der Einführung klarer Ziele und Prozesse, deren Einhaltung und Bewertung in der Überprüfungsphase durch interne Audits kontrolliert wird. Anschließend werden in der Verbesserungsphase die energierelevanten Prozesse optimiert und neue Ziele formuliert [11]. Unternehmen müssen gemäß ISO 50001 ein Energiemanagementsystem implementieren und aufrechterhalten, um die Zertifizierung gemäß der Norm zu erlangen.

Neben ISO 50001 existieren weitere Normen und Standards, die verschiedene Aspekte des Energiemanagements abdecken. Die EN 16247 [12] ist eine europäische Norm für Energieaudits, die eine systematische Untersuchung des Energieverbrauchs erlaubt. Diese Norm ergänzt die ISO 50001, indem sie mit Erkenntnissen die Implementierung eines Energiemanagementsystems unter-

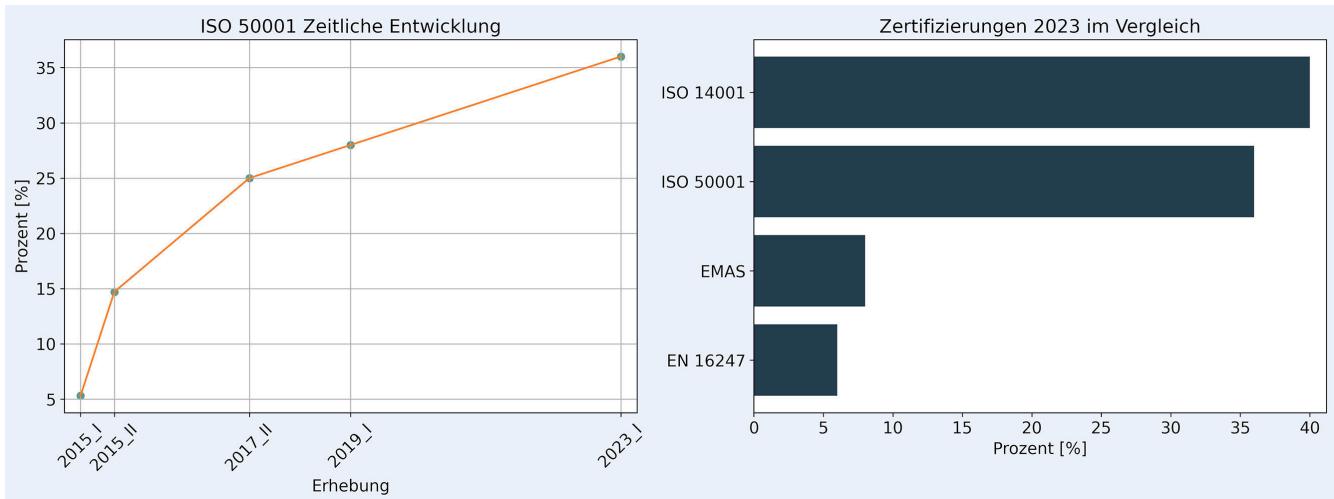


Bild 2. ISO 50001 – Zeitliche Entwicklung und Vergleich der Zertifizierungen. *Grafik: [7]*

stützt. Die ISO 14001 [13] ist ein weltweit verbreiteter Standard für Umweltmanagementsysteme. Sie befasst sich mit verschiedenen Umweltaspekten, wie Ökobilanzen und Umweltleistungskennzahlen. Diese Norm kann effektiv mit ISO 50001 kombiniert werden, um sowohl die Umwelt- als auch Energieleistung einer Organisation zu verbessern. Das Eco-Management and Audit Scheme (EMAS) ist ein Umweltmanagement- und Auditprogramm der Europäischen Union, welches die Anforderungen der ISO 14001 übernimmt und erweitert. EMAS verlangt als Erweiterung die Veröffentlichung einer Umwelterklärung, die von einem zugelassenen Umweltgutachter zu prüfen ist [14].

Für energieintensive Unternehmen kann die Einführung einer Zertifizierung nach EMAS oder ISO 50001 eine finanzielle Entlastung bedeuten. Unternehmen können dadurch von reduzierten EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz)-Umlagen und von einem Spitzenausgleich, welcher eine Ermäßigung der Strom- und Energiesteuern einschließt, profitieren. Ziel dieser Maßnahmen ist es, die Implementierung von EnMS zu fördern und durch finanzielle Anreize Investitionen in Energieeffizienz attraktiver zu machen [15]. Im Jahr 2022 verzeichnete die Internationale Organisation für Normung (ISO) in Deutschland etwa 5523 Zertifikate für ISO 50001, als Teil der weltweiten Gesamtzahl von 27 765 Zertifikaten. Die Verbreitung der Zertifizierung nach ISO 14001 ist noch größer, mit rund 13 383 Zertifikaten in Deutschland von insgesamt 529 853 weltweit [16].

Die Einführung von Energiemanagementsystemen wird durch das vom Bundestag beschlossene Energieeffizienzgesetz (EnEfG) weiter gefördert. Das EnEfG verpflichtet Unternehmen mit einem hohen Energieverbrauch (durchschnittlich mehr als 7,5 GWh) zur Einführung von Energie- oder Umweltmanagementsystemen. Zudem sollen Unternehmen mit einem jährlichen Gesamtenergieverbrauch von über 2,5 GWh wirtschaftliche Energieeffizienzmaßnahmen in Umsetzungsplänen erfassen und diese veröffentlichen [17].

4 Korrelation Umfrageergebnisse Energieeffizienz-Index und EnMS

Seit Einführung der ISO 50001 im Jahr 2011 [10] ist die Zahl der Zertifizierungen in Deutschland stetig gewachsen. Die Umfragen des Energieeffizienz-Index haben über die letzten Jahre

eine kontinuierliche Steigerung gezeigt. **Bild 2** illustriert den zeitlichen Verlauf des Anstiegs der ISO-50001-Zertifizierungen in Deutschland von 2015 bis 2023.

Die Ergebnisse der Umfrage zeigen eine Zunahme der Verbreitung von Zertifizierungen in Unternehmen. Vier Jahre nach der Einführung waren im Jahr 2015 etwa 5,3 % der befragten Unternehmen zertifiziert. Im Jahr 2023 beträgt der Anteil an ISO-50001-Zertifizierungen 36 %. Dies weist auf eine wachsende Umsetzung des Standards hin. Der Anstieg lässt sich auch an der Zahl an Zertifizierungen der letzten Jahre, dokumentiert durch die ISO in Deutschland, erkennen: Etwa 3402 Zertifizierungen im Jahr 2015 und 5523 im Jahr 2022 [16]. Es ist zu erwarten, dass der prozentuale Einsatz in den kommenden Jahren weiter zunimmt, da das Energieeffizienzgesetz (EnEfG) neu eingeführt wurde. Aktuelle Umfrageergebnisse aus dem Jahr 2023 in Bild 2 rechts zeigen, dass die Unternehmen zunehmend Wert auf international anerkannte Normen legen. Dabei wird neben der ISO 50001 besonders die ISO 14001 für Umweltmanagementsysteme verfolgt. Diese Normen sind entscheidend für Firmen, die ihre Energieeffizienz steigern möchten. Im Gegensatz dazu sind europäische Standards wie die EN 16247 oder das EMAS weniger verbreitet. Diese Entwicklung zeigt, dass die ISO 50001 eine wichtige Richtlinie für Unternehmen ist, die ihre Nachhaltigkeitspraktiken verbessern möchten.

Die digitale Erfassung des Energieverbrauchs spielt eine zentrale Rolle bei der Implementierung von Energiemanagementsystemen und für eine ISO-50001-Zertifizierung. Der Energieeffizienz-Index 2022 [18] zeigte, dass rund 52 % der 860 befragten Unternehmen bereits eine digitalisierte Erfassung ihres Energieverbrauchs eingeführt haben oder dies planen. Es zeigt sich eine Korrelation zu den Umfrageergebnissen von 2022 und 2023. In 2022 hatten bereits 36 % der Unternehmen eine digitale Erfassung ihres Energieverbrauchs umgesetzt (Bild 2). Auch in 2023 haben etwa 36 % der Unternehmen eine ISO-50001-Zertifizierung angestrebt (Bild 2 rechts).

Wie in **Bild 3** dargestellt, bevorzugen 28 % der Unternehmen die Nutzung von standardisierter Software für die Erfassung von Energiedaten. Lediglich rund 8 % entscheiden sich für die Entwicklung eigener Softwarelösungen.

Eine Analyse dieser Ergebnisse nach Unternehmensgröße zeigt, dass insbesondere bei Großunternehmen mit hohem Ener-

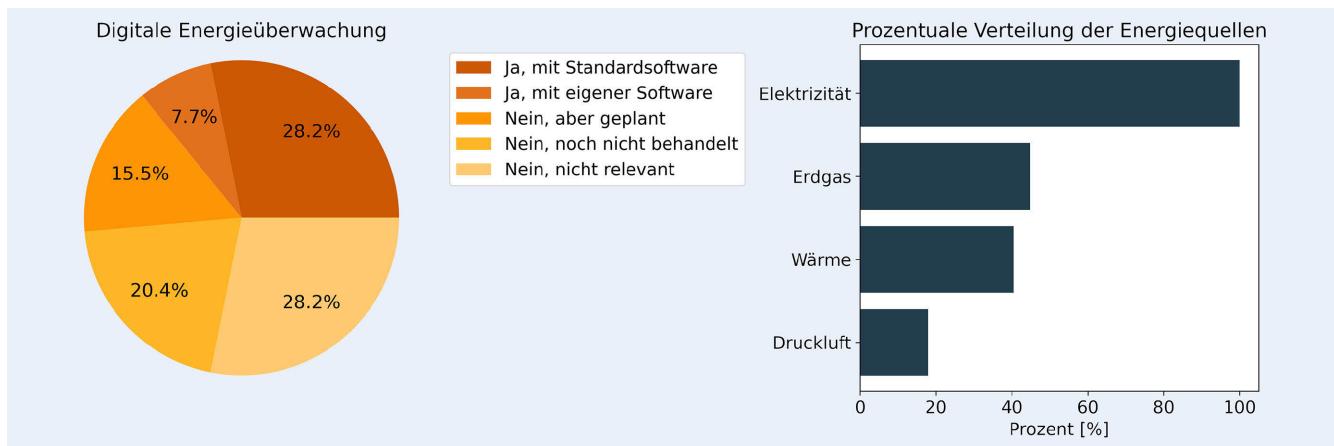


Bild 3. Digitale Erfassung der Energieverbräuche sowie Verteilung der Energieträger. *Grafik: [18]*

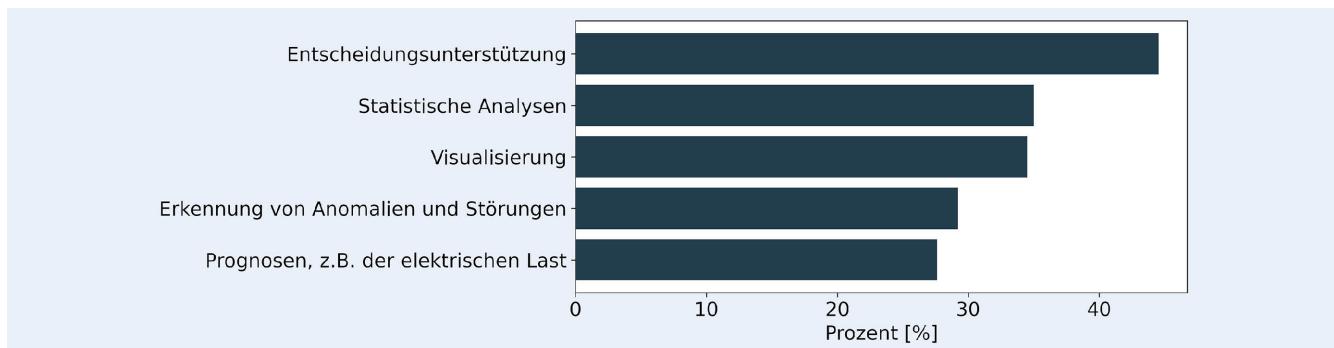


Bild 4. Umfrageergebnisse für den Zweckeinsatz von EnMS (Energiemanagementsystemen) in Unternehmen. *Grafik: [7]*

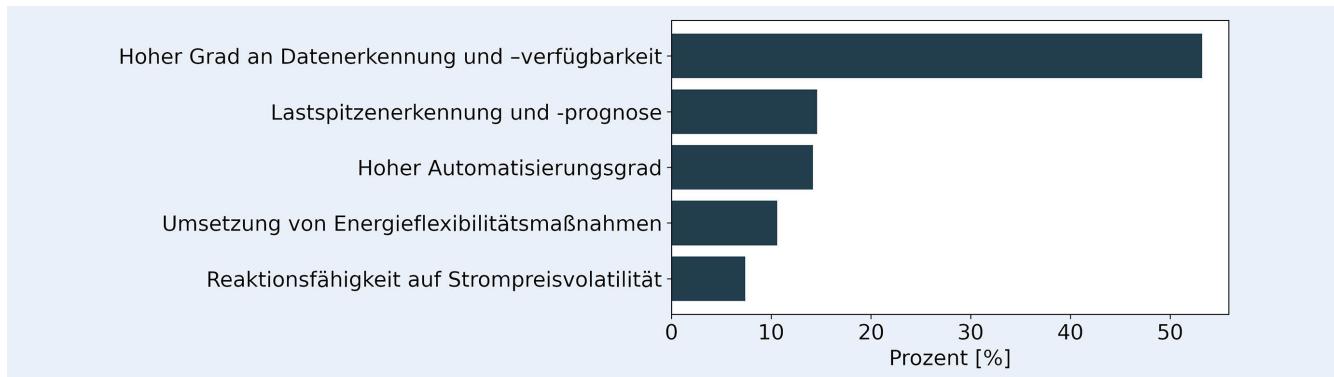


Bild 5. Umfrageergebnisse für den Mehrwert von EnMS für Unternehmen. *Grafik: [7]*

gieverbrauch die digitale Erfassung weit verbreitet ist: Etwa 82 % dieser Unternehmen halten sie für relevant. Davon nutzen bereits 68 % ein digitales System, während 14 % sich in der Planungsphase befinden. Auch die Eigenentwicklung von Software ist bei Großunternehmen mit 17 % stärker verbreitet.

Bild 3 rechts veranschaulicht, dass die digitale Erfassung von elektrischer Energie besonders verbreitet ist. Von den 36 % der Unternehmen, die eine digitalisierte Erfassung ihres Energieverbrauchs implementiert haben, erfassen alle ihren Verbrauch an elektrischer Energie digital. Rund 40 % dieser Unternehmen nutzen ihre Systeme auch zur Überwachung des Verbrauchs von Wärme oder Erdgas. Die Verfolgung des Druckluftverbrauchs findet bei 18 % der Unternehmen statt, wobei Druckluft nicht in allen Unternehmen als Energieträger eingesetzt wird.

Die Umfrage von 2023 [7] richtete sich an 860 Unternehmen, um zu ermitteln, wie und wofür diese ihr Energiemanagementsystem (EnMS) einsetzen. Etwa die Hälfte der befragten Unternehmen gab an, bereits ein EnMS implementiert zu haben. Von den 860 Unternehmen nutzen 44 % das System zur Entscheidungsunterstützung, vor zur Optimierung von Prozessabläufen und dem Energiebezug (Bild 4).

Rund 35 % der Unternehmen verwenden die durch das EnMS gesammelten Daten für statistische Analysen oder zur Visualisierung. Circa 30 % setzen das EnMS ein, um Störungen frühzeitig zu erkennen und Prognosen über den zukünftigen elektrischen Lastverbrauch zu erstellen. Ein EnMS ist ein effektives Werkzeug, um die Energieeffizienz zu erhöhen und Kosteneinsparung zu erzielen.

Im Jahr 2023 [7] bewerteten die Unternehmen den Mehrwert eines EnMS unabhängig davon, ob sie eines implementiert hatten oder nicht. Neben allgemeinen Zielen wie Energiekosteneinsparungen und dem Beitrag zur Nachhaltigkeit gaben rund 50 % der Befragten an, dass der hohe Grad an Datenerfassung und -verfügbarkeit den größten Mehrwert bietet (Bild 5). Ungefähr 14 % sehen einen wesentlichen Vorteil in der Erkennung von Lastspitzen, um ihren zukünftigen Energiebedarf präziser vorherzusagen und Strategien für Energieeffizienz zu entwickeln. Ebenfalls 14 % der Unternehmen betonen den Mehrwert durch die Möglichkeit zur Automatisierung innerhalb des Unternehmens. Durch die Integration der Daten in automatisierten Umgebungen können sie den Energieverbrauch effektiver anpassen und steuern. Das Potenzial von Maßnahmen zur Energieflexibilität und die Fähigkeit, auf volatile Energiepreise zu reagieren, wird nur von etwa 10 % der Befragten wahrgenommen, was auf ein hohes Entwicklungspotenzial in diesem Bereich hinweist.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Analyse der empirischen Daten des Energieeffizienz-Index zeigt einen deutlichen positiven Trend bei der Einführung von ISO-50001-Zertifikaten sowie der Nutzung digitalisierter Plattformen zur Erfassung des Energieverbrauchs. Seit der Einführung im Jahr 2011 haben etwa 36 % der Unternehmen Systeme für die digitale Erfassung implementiert oder streben eine Zertifizierung gemäß ISO 50001 an, um ihre Energieeffizienz zu steigern. Vor allem die Erfassung des elektrischen Verbrauchs, gefolgt von Erdgas und Wärme, ist für die Unternehmen von hoher Bedeutung. Die Wichtigkeit dieser systematischen Ansätze wird durch das neue Energieeffizienzgesetz noch verstärkt, das energieintensive Unternehmen zur Einführung solcher Systeme verpflichtet.

Die Auswertung der Daten zeigt, dass Großunternehmen, die häufig in diese Kategorie fallen, bereits zu etwa 68 % ein solches System nutzen, während 14 % die Einführung planen. Dieser hohe Grad an Datenverfügbarkeit soll Unternehmen insbesondere bei der Entwicklung von Entscheidungen zur Optimierung ihres Energieverbrauchs unterstützen und eine Möglichkeit bieten, Energieeffizienzmaßnahmen ohne höhere Investitionen durchzuführen.

- [6] Sauer, A.; Schneider, C.: Energieeffizienz in der Industrie. Empirische Analysen, Auswertungen und Handlungsempfehlungen. München: Carl Hanser Verlag 2021
- [7] Universität Stuttgart: Universität Stuttgart: Der Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie. PK / Briefing Event –Sommererhebung 2023. Stand: 28.06.2023. Internet: www.eep.uni-stuttgart.de/dokumente/EEI-Sommer-2023/2023_I_BriefingEvent_EEIndex.pdf. Zugriff am 22.01.2024
- [8] Europäische Investitionsbank: EIB-Klimainvestitionsbericht 2022–2023: Europäische Unternehmen investieren verstärkt in den Klimaschutz. Stand: 13.04.2023. Internet: www.eib.org/de/press/all/2023-173-eib-climate-investment-report-2022-2023-european-companies-are-stepping-up-their-investment-in-climate-action. Zugriff am 11.01.2024
- [9] Geilhausen, M.: Energiemanagementsysteme nach DIN EN ISO 50001:2011. In: Geilhausen, M.; Bränzel, J.; Engelmann, D. et al. (Hrsg.): Energiemanagement. Für Fachkräfte, Beauftragte und Manager. Wiesbaden: Springer Vieweg 2015, S. 7–73
- [10] DIN EN ISO 50001:2018–12: Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO_50001:2018); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2018, Ausgabe Dezember 2018
- [11] Girbig, P.: Energiemanagementsysteme. In: Matzen, F. J.; Tesch, R. (Hrsg.): Industrielle Energiestrategie. Praxishandbuch für Entscheider des produzierenden Gewerbes. Wiesbaden: Springer Gabler 2017, S. 411–427
- [12] DIN EN 16247–1:2022–11. Energieaudits – Teil_1: Allgemeine Anforderungen; Deutsche Fassung EN 16247–1:2022. Ausgabe November 2022
- [13] DIN EN ISO 14001:2015–11. Umweltmanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO_14001:2015); Deutsche und Englische Fassung EN ISO 14001:2015, Ausgabe November 2015
- [14] Reimann, G. (Hrsg.): Erfolgreiches Umweltmanagement nach DIN EN ISO 14001:2015 und EMAS. Lösungen zur praktischen Umsetzung: Textbeispiele, Musterformulare, Checklisten. Berlin: Beuth Verlag 2019
- [15] Umweltbundesamt: ISO 50001. Internationale Energiemanagement-norm ISO 50001. Internet: www.umweltbundesamt.de/energiemanagementsysteme-iso-50001#iso-50001-und-spitzenausgleich. Zugriff am 11.01.2024
- [16] International Organization for Standardization ISO: ISO Survey of certifications to management system standards – Full results. Internet: www.iso.org/committee/54998.html?t=KomURwikWDLiub1P1c7SjLMLEAgXOA7emZHKGWyn8f3KQUTU3m287NxnpA3DI-uxm&view=documents#section-isodocuments-top. Zugriff am 11.01.2024
- [17] BMWK Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz: Bundestag beschließt Energieeffizienzgesetz. Energieeffizienz bekommt einen klaren gesetzlichen Rahmen. Internet: www.bmwk.de/Redaktion/DE/Pressemitteilungen/2023/09/20230921-bundestag-beschliesst-energieeffizienzgesetz.html. Zugriff am 11.01.2024
- [18] Universität Stuttgart: Der Energieeffizienz-Index der deutschen Industrie. PK / Briefing Event –Wintererhebung 2022. Stand: 14.03.2023. Internet: www.eep.uni-stuttgart.de/dokumente/EEI-Winter-2022_23/BriefingEvent_2022_2.pdf. Zugriff am 22.01.2024

L iteratur

- [1] Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung BMZ: Klimaabkommen von Paris. Stand: 2023. Internet: www.bmz.de/de/service/lexikon/klimaabkommen-von-paris-14602. Zugriff am 11.01.2024
- [2] Europäische Kommission: Europäischer Grüner Deal. Stand: 2023. Internet: commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_de. Zugriff am 11.01.2024
- [3] Die Bundesregierung: Ein Plan fürs Klima. Klimaschutzgesetz und Klimaschutzprogramm. Stand: 2023. Internet: www.bundesregierung.de/breg-de/aktuelles/klimaschutzgesetz-2197410. Zugriff am 11.01.2024
- [4] Umweltbundesamt: Trendtabellen Treibhausgase 1990–2022 (Arbeitsstand: EU-Submission). Stand: 2023. Internet: www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/361/dokumente/2024_01_15_em_entwicklung_in_d_trendtabelle_thg_v1.0.xlsx. Zugriff am 22.01.2024
- [5] Sauer, A.; Bauernhansl, T. (Hrsg.): Energieeffizienz in Deutschland – eine Metastudie. Analyse und Empfehlungen. Heidelberg: Springer 2016



L a u r a J u n g , M . S c . 
Foto: Autorin

K e r i m T o r o l s a n , M . S c . 

A r t u r G e r g e r t , B . A .

F e l i x F ö r s t e r , B . A .

P r o f . D r . - I n g . A l e x a n d e r S a u e r 

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA
Institut für Energieeffizienz in der Produktion (EEP)
Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart
Tel. +49 711 970-1215
laura.jung@ipa.fraunhofer.de
www.ipa.fraunhofer.de

LIZENZ



Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons
Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)