

IEA Energieeffiziente Endverbrauchsgeräte (4E): Electric Motor Systems Annex

Arbeitsperiode 2017 - 2019

K. Kulterer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

2/2020

Liste sowie Downloadmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe
unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Auszugsweise Abdruck ist nur mit Quellenangabe gestattet. Es wird darauf verwiesen, dass alle Angaben in
dieser Publikation trotz sorgfältiger Bearbeitung ohne Gewähr erfolgen und eine Haftung der Republik
Österreich und der Autorin/des Autors ausgeschlossen ist. Nutzungsbestimmungen:
<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/impressum/>

IEA Energieeffiziente Endverbrauchsgeräte (4E): Electric Motor Systems Annex

Arbeitsperiode 2017 - 2019

Mag. DI Konstantin Kulterer
Österreichische Energieagentur

Wien, Juni 2019

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

des Bundesministeriums für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um Österreichische Forschungsbeiträge zu den Projekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu finanzieren.

Seit dem Beitritt Österreichs zur IEA im Jahre 1975 beteiligt sich Österreich aktiv mit Forschungsbeiträgen zu verschiedenen Themen in den Bereichen erneuerbare Energieträger, Endverbrauchstechnologien und fossile Energieträger. Für die Österreichische Energieforschung ergeben sich durch die Beteiligung an den Forschungsaktivitäten der IEA viele Vorteile: Viele Entwicklungen können durch internationale Kooperationen effizienter bearbeitet werden, neue Arbeitsbereiche können mit internationaler Unterstützung aufgebaut sowie internationale Entwicklungen rascher und besser wahrgenommen werden.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch viele IEA Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und auch in der Marktumsetzung konnten bereits richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen des Programms ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Fachöffentlichkeit zugänglich zu machen, was durch die Publikationsreihe und die entsprechende Homepage www.nachhaltigwirtschaften.at gewährleistet wird.

DI Michael Paula
Leiter der Abt. Energie- und Umwelttechnologien
Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung	7
2	Abstract	9
3	Ausgangslage	11
	3.1. Status Quo/Ausgangssituation	11
	3.2. Motivation für das Projekt	11
	3.3. Übergeordnete Zielsetzung des Projekts	12
	3.4. Beschreibung des Standes der Technik aus eigenen Vorarbeiten sowie nationalen und internationalen Projekten	12
4	Projekthalt	13
	4.1. <i>Electric Motor Systems Annex</i>	13
	4.2. Projektziele	15
	4.3. Beschreibung von Vorgangsweise, Methoden und verwendeten Daten	16
5	Ergebnisse	18
	5.1. Ergebnisse, Darstellung von Innovationen, Weiterentwicklungen und Highlights	18
	5.1.1. Hintergrund	18
	5.1.2. Definition und Anwendungsbereiche	19
	5.1.3. Grobanalyse von Energie-Einspareffekten von Industrie 4.0	21
	5.1.4. Industrie-4.0-Lösungen für Elektromotoren	23
	5.1.5. Industrie-4.0-Anforderungen an Elektromotoren	23
	5.1.6. Exkurs – Energieverbrauch Robotertechnik	27
	5.2. Erkenntnisse und Wirkungen auf internationaler Ebene	28
	5.3. Veröffentlichte Ergebnisse im Berichtszeitraum	29
	5.3.1. Bericht Industrie-4.0-Lösungen für effiziente Motorsysteme	29
	5.3.2. Beitrag Industrie-4.0-Lösungen für effiziente Motorsysteme	30
	5.3.3. Nationaler Newsletter	30
	5.3.4. Internationaler Newsletter (Schweiz)	30
	5.3.5. Bericht: Round Robin of Converter Losses, Report of Results of Phase 1	30
	5.3.6. Leitfaden: Policy Guidelines for Motor Driven Units (MDUs) Part 2	31
	5.3.7. Software Tool: EMSA Motor Systems Tool	31
6	Vernetzung und Ergebnistransfer	32
	6.1. Politische Entscheidungsträger, Programmmanager	32
	6.2. Technologie- und Komponentenanbieter	33
	6.3. Forschung	34
	6.4. Energieberater, Endkunden bzw. Techniker in Betrieben	34
	6.5. Relevanz, Nutzen der Projektergebnisse und Verwertung	35
7	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen	37

7.1. Schlussfolgerungen	37
7.2. Ausblick.....	38
7.3. Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik	38

1 Kurzfassung

Ausgangssituation, Motivation

Motorsysteme sind in Österreich für 69 % des Stromverbrauchs in der Industrie verantwortlich. Sie umfassen u. a. Pumpen-, Ventilator-, Kälte- und Druckluftsysteme. Gleichzeitig können durch entsprechende Optimierungsmaßnahmen durchschnittlich 20 % des Stromverbrauchs eingespart werden. In den letzten Jahren wurden sehr viele politische und normative Aktivitäten zu Mindeststandards (z. B. EU-Ökodesign-Richtlinie, weltweit einheitliche Energieklassifizierung nach IEC 60034-30-1) gesetzt, die zunächst nur Drehstrom-Asynchronmotoren ohne Regelung berücksichtigten. Mittlerweile wurden auch neue Motorentchnologien und Frequenzumrichter in Normen zur Energieeffizienz aufgenommen (z. B. Permanentmagnetmotoren in IEC TS 60034-30-2).

Die umfassende Digitalisierung der Produktion wird es künftig ermöglichen, dass alle produktionsrelevanten Faktoren (Mensch und Anlagen) aktiv in den Produktionsprozess einbezogen sind und über intelligente Netze miteinander kommunizieren. Einerseits wirken sich intelligente Vernetzung von Verbraucher und Erzeuger senkend auf den Energieverbrauch von Motorsystemen aus. Andererseits bewirkt die zunehmende Automatisierung durch den verstärkten Einsatz von Steuerungsequipment und Elektromotoren eine Erhöhung des Energieverbrauchs.

Ziele, Methode

Nur wenige Studien beschäftigen sich mit dem Stromverbrauch von Systemen, die im Rahmen von neuen industriellen Entwicklungen (Industrie 4.0) installiert werden. Österreich hat innerhalb eines Subtasks des *Electric Motor Systems Annex* des IEA TCP 4E geprüft, ob neue Entwicklungen bei der Industrieautomatisierung Auswirkungen auf den Stromverbrauch in Industriebetrieben haben und welche technologische Entwicklungen bei Elektromotoren zu erwarten sind. Dazu wurden Studien, wissenschaftliche Beiträge und Vorträge analysiert und Stakeholder-Interviews mit Anbietern, Anwendern und Energieberaterinnen und Energieberatern durchgeführt.

Ergebnisse, Erkenntnisse

Dieses Projekt umfasste die Teilnahme Österreichs am *Electric Motor Systems Annex*, insbesondere die Leitung des Tasks „*Monitoring and Assessing New Industrial Developments*“. Die Ergebnisse der Experteninterviews, Studienanalyse und Webrecherche wurden in einem Bericht festgehalten.

Als wesentliches Ergebnis kann festgehalten werden, dass Industrie-4.0-Technologien einen großen Einspareffekt auf traditionelle Motorsysteme (Druckluft, Pumpen, Ventilatoren) haben werden und Spezialmotoren für Automatisierungsanwendungen noch ein Randthema sind.

Alle relevanten Hersteller bieten Produkte zur Erfassung von Daten von Motoren und Motorsystemen mittels Sensoren und Berechnungsmodellen an, um diese „intelligent“ zu machen. Diese Sensoren erfassen Daten und leiten diese weiter. Dies kann bereits innerhalb des Systems zur Erhöhung der Effizienz, aber auch auf Ebene des Unternehmens zu Transparenz hinsichtlich der größten Energieverbraucher und ihrem derzeitigen Effizienzniveau führen. Frequenzumrichter stellen in diesem Zusammenhang eine zentrale Schnittstelle zwischen Datenerfassung und

Steuerung dar. Mittels Übertragung und Darstellung der Daten vor Ort oder in der Cloud können diese Daten dann auch hinsichtlich Auffälligkeiten und Optimierungsmöglichkeiten manuell oder mittels Algorithmen analysiert und mit „Digital Twins“ der jeweiligen Anlage oder des jeweiligen Motors verglichen werden.

Als wesentliche Anforderungen an die Entwicklung von Elektromotoren wurden bisher folgende Aspekte erfasst: Informationserfassung über Sensoren, Konnektivität über unterschiedliche Bussysteme, Darstellungsmöglichkeiten der erfassten Daten vor Ort und zentral, automatisierte Auswertungsmöglichkeiten, Aspekte der Mensch-Maschinen-Kollaboration und kostengünstiger, effizienter Technologieeinsatz.

Präsentiert wurden die Ergebnisse auf einer Konferenz und einem Expertenworkshop der Plattform Industrie 4.0. Die Industrieeinbindung erfolgt über die Expertenbefragung, Newsletter und Direktkontakt. Die darüber hinaus im Annex gewonnenen Kenntnisse der Entwicklung von internationalen Energieeffizienznormen, Mindeststandards, Testnormen und -abläufen wurden an österreichische Firmen und über das klima**aktiv** Energieberater-Netzwerk verbreitet, insbesondere über einen Workshop zum Thema Antriebstechnik.

2 Abstract

Current Situation and Motivation

Motor systems account for 69% of electricity consumed in industry in Austria. They include, for example, pumping, fan, cooling and compressed air systems. At the same time, an average of 20% of electricity consumed could be saved through economic optimization measures.

Over the last years, many political activities in the field of international efficiency and minimum performance standards have been set (e.g. EU Ecodesign Directive, efficiency classification according to IEC 60034-30-1) considering mainly induction motors without control. In the meantime, new technologies have also been included in standards for energy efficiency (e.g. permanent magnet motors in IEC TS 60034-20-2).

The extensive digitalization of production will in future enable all relevant factors of production (human and equipment) to be integrated in the production process and to communicate via intelligent networks. On the one hand, intelligent networks of supply and demand will decrease energy consumption of motor systems, while on the other hand, consumption will increase by further installation of electric motors and control equipment.

Targets, Methodology

So far, few studies deal with the energy consumption of systems which will be installed by Industry 4.0 (e.g. robots, automation techniques, control systems). Austria examined within a subtask of the Electric Motor Systems Annex of the IEA TCP 4E whether new developments in the field of industrial automation have an impact on electricity consumption in industrial companies and which effects are expected for the technological development of electric motors. For this purpose, studies, scientific papers and presentations were analyzed and stakeholders (suppliers, users and energy consultants) were interviewed.

Results

This project comprises the participation of Austria in the Electric Motor Systems Annex, especially the lead of the task „Monitoring and Assessing New Industrial Developments“. The results of the expert interviews, study analysis and web research were recorded in a report. The key findings are that Industry 4.0 technologies will have a major energy-saving effect on traditional electric motor systems (compressed air, pumps, fans) and special motors for automated applications are still a marginal issue.

All relevant manufacturers offer products for capturing data from electric motors and electric motor systems using sensors and calculation models to make them "intelligent". These sensors collect data and pass it on.

This can already lead to increased efficiency within the system, but also to enhanced transparency at the level of the company with regard to the largest energy consumers and their current level of efficiency.

In this context, frequency converters represent a central interface between data acquisition and control. By means of transmission and presentation of the data on site or in the cloud, these data can then be analyzed manually or via algorithms with respect to abnormalities and optimization possibilities. Furthermore, this data can be compared with "digital twins" of the respective equipment or system.

The following aspects have been recorded as essential requirements for the development of electric motors: information acquisition via sensors, connectivity via different bus systems, presentation possibilities of the recorded data locally and centrally, automated evaluation possibilities, aspects of human-machine collaboration and cost-effective, efficient technology use.

The results were presented at a conference and an expert workshop of Plattform Industrie 4.0 (platform on industry 4.0).

Industry involvement was achieved via stakeholder interviews, newsletter and direct contact. Furthermore, a contact was established within the project for information exchange regarding the bmvit platform on industry 4.0. Last but not least, knowledge of how international energy efficiency standards, minimum performance standards, testing standards and testing procedures are being developed is disseminated to Austrian companies and through the klimaaktiv energy consultant network.

3 Ausgangslage

Diese Kapitel beschreibt die Ausgangssituation und Motivation für das Projekt, außerdem die übergeordneten Projektziele und die Vorarbeiten aus vergangenen Projekten.

3.1. Status Quo/Ausgangssituation

Motorsysteme sind in Österreich für 69 % des Stromverbrauchs in der Industrie verantwortlich. Weltweit wird sich laut World Energy Outlook 2016 der Internationalen Energieagentur der Stromverbrauch für Motorsysteme bis 2040 mehr als verdoppeln. Die Einführung von koordinierten politischen Maßnahmen mit Mindeststandards kann je nach angenommenem Szenario zu Einsparungen von 1.400 bis 3.100 TWh pro Jahr führen.

In den letzten Jahren wurden sehr viele politische und normative Aktivitäten zu Mindeststandards (z. B. EU-Ökodesign-Richtlinie, weltweit einheitliche Energieklassifizierung nach IEC 60034-30-1) gesetzt, die zunächst nur Drehstrom-Asynchronmotoren ohne Regelung berücksichtigten. Mittlerweile wurden auch neue Motorentechnologien in Normen zur Energieeffizienz aufgenommen. (z. B. Permanentmagnetmotoren in IEC TS 60034-30-2).

3.2. Motivation für das Projekt

Die umfassende Digitalisierung der Produktion wird es künftig ermöglichen, dass alle produktionsrelevanten Faktoren (Mensch und Anlagen) aktiv in den Produktionsprozess einbezogen sind und über intelligente Netze miteinander kommunizieren. Einerseits wirken sich intelligente Vernetzung von Verbraucher und Erzeuger senkend auf den Energieverbrauch von Motorsystemen aus. Andererseits bewirkt die zunehmende Automatisierung durch den verstärkten Einsatz von Steuerungsequipment und Elektromotoren eine Erhöhung des Energieverbrauchs.

Studien zur Auswirkung von Industrie 4.0 beschränken sich derzeit vor allem auf die wirtschaftlichen Auswirkungen und Arbeitsplatzeffekte oder allgemein auf Umwelteffekte von Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT). Einige aktuelle Artikel konzentrieren sich insbesondere auf das Thema Energieeffizienz durch Digitalisierung: Senkung der Energiekosten durch das Internet der Dinge oder durch verstärkte Sensorik und Energiedatenauswertung.

3.3. Übergeordnete Zielsetzung des Projekts

Daraus ergaben sich drei Schwerpunkte für dieses Projekt:

- a) Erhebung und Auswertung von Studien zum Thema Auswirkungen Industrie 4.0 auf den Stromverbrauch mit dem Schwerpunkt Elektromotoren
- b) Analyse des Einsatzes von Informations- und Kommunikationstechnologien in der Produktionssteuerung und des möglichen Einflusses auf den Betrieb von Elektromotoren
- c) Analyse der Anforderung der Automatisierung auf die Bauweise und Technologieart von Elektromotoren

3.4. Beschreibung des Standes der Technik aus eigenen Vorarbeiten sowie nationalen und internationalen Projekten

Die Österreichische Energieagentur (AEA) vertritt seit 2008 Österreich im Rahmen des *Electric Motor Systems Annex*. Bis 2014 leitete Österreich den Task *Motor Systems Policy*. Dabei wurden von der AEA in Kooperation mit den Schweizer Partnern zwei Leitfäden für politische Entscheidungsträger erarbeitet, international abgestimmt und bei zahlreichen Konferenzen präsentiert:

- *Motor Policy Guide, Part I, Assessment of Existing Policies*
- *Policy Guidelines for Electric Motor Systems, Part II, Toolkit for Policy Makers Assessment of Existing Motor Policies*

Außerdem erstellte Österreich während der Annex-Teilnahme 2014–2017 einen Leitfaden zur Durchführung von Energieaudits für elektrische Motorsysteme (*EMSA Energy Audit Guide for Motor-Driven Systems*) unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Normen und verfügbarer Tools.

Bereits in der ersten Projektphase wurde von der AEA ein Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren für Anwender erarbeitet und in der Folge ergänzt und aktualisiert.

Im Programm **klimaaktiv** des Bundesministeriums für Nachhaltigkeit und Tourismus (BMNT) wurden Leitfäden für Energieauditoren zur Beurteilung von Pumpen, Lüftungsanlagen, Druckluftanlagen und Kältesysteme erstellt und Informationen aus der Beteiligung am *Electric Motor Systems Annex* eingebaut. Im Jahr 2018 wurde der Bericht „Integration von Produktions- und Energiedaten“ erstellt und untersucht, wie Daten aus dem Produktionsmanagement sinnvoll zur Steigerung der Energieeffizienz genutzt werden können und welche energierelevanten Daten in der Automatisierungspyramide vorliegen. Darüber hinaus wurden Tipps von Anwendern und Softwareherstellern bei der Umsetzung von intelligenten Datenerfassungssystemen zusammengefasst.

4 Projektinhalt

Dieses Kapitel enthält die Kurzbeschreibung des *Electric Motor Systems Annex*, definiert die Projektziele und erläutert die angewendeten Methoden.

4.1. *Electric Motor Systems Annex*

Der *Electric Motor Systems Annex* (EMSA) ist ein Annex des *Technology Cooperation Programme Energy Efficient End-Use Equipment (4E)*. Kernthema dieses Programms ist die Energieeffizienz von energieverbrauchenden Geräten im Bereich der Endverbraucher. Gegenstand des Annexes sind insbesondere Geräte/Technologien, die einen hohen Energieverbrauch und eine hohe Marktrelevanz aufweisen. Bis Anfang 2014 lag der Fokus auf stromverbrauchenden Geräten. Seit dem Frühjahr des Jahres 2014 soll mit der Bezeichnung „energieverbrauchende Geräte“ auch die Möglichkeit geschaffen werden, z. B. Gasheizungen aufzunehmen.

Der *Electric Motor Systems Annex* (EMSA) setzt international gezielt Aktivitäten im Bereich effiziente Motorsysteme, insbesondere der internationale Austausch über Erfahrungen im Bereich der politischen Maßnahmen. Hier sind die Erfassung aller wesentlichen politischen Maßnahmen weltweit und die Ableitung von Handlungsempfehlungen zu nennen.

Partnerländer des Annexes umfassen Australien, Dänemark, Niederlande, Österreich, Schweiz und die USA. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die einzelnen Tasks, Taskleitung und Partnerländer und Ziele des Tasks.

Tabelle 1: Taskuntergliederung, -leitung und Ziele des *Electric Motor Systems Annex* (Periode 2017–2019)

Task	Taskleitung/ Partnerländer	Ziele
Outreach	CH/ DK, US, AT, AUS, NL	<ul style="list-style-type: none"> • Internationale Verbreitung der EMSA-Arbeit • Beteiligung an internationalen Foren (EEMODS, Motor Summit, ECEEE Industrial Summer Study) • Organisation Motor Summit 2018 • EMSA-Website (www.motorsystems.org) • EMSA-Newsletter (Englisch, Chinesisch, Japanisch, Russisch, Deutsch) (2–3 Mal pro Jahr) • Erweiterung des globalen Netzwerks von Motorexperten
International Standards	CH/ DK, AUS, US	<ul style="list-style-type: none"> • Mitarbeit an Normen durch Repräsentation in IEC und anderen Normungsgremien (IEC TC2, IEC SC 22G) • Koordination der Inputs für größeren Einfluss auf die Normenentwicklung • Verbreitung von neuen Normen an Stakeholder in Industrie und Regierungen

Task	Taskleitung/ Partnerländer	Ziele
Regulatory Assistance		<ul style="list-style-type: none"> • Beteiligung am IECEE Global Motor Labelling Programme (GMLP) • Koordinierte Untersuchung für Testmethoden für fortgeschrittene Motortechnologien und Frequenzumrichter
	US	<ul style="list-style-type: none"> • Mindeststandards für sog. Extended Products (Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren) • Erarbeitung einer Motormarktdatenbank • Koordiniertes Testen zur Marktüberwachung (Compliance) • Erarbeitung einer Datenbank mit finanziellen Anreizprogrammen für Motorsysteme (weltweit)
Energy Management	NL/ AT, CH	<ul style="list-style-type: none"> • Untersuchung von IKT (Smart Energy Services) in Energiemanagementsystemen und Motorsystemen • Untersuchung von Möglichkeiten zur Finanzierung von Projekten zur Optimierung von Motorsystemen • Entwicklung von Politikmechanismen für die Implementierung von Energiemanagementsystemen • Austausch von Ergebnissen aus nationalen Projekten
Monitoring & Assessing New Industrial Developments	AT/ NL	<ul style="list-style-type: none"> • Screening von bestehenden Studien zum Thema Industrie 4.0 / Advanced Manufacturing zu den Fragen: Wie viel Energie wird für Industrie 4.0 benötigt? Welche neuen industriellen Entwicklungen beeinflussen den Energieverbrauch in der Industrie?
Motor Systems Tool Dissemination	DK/ AUS, AT, NL, CH, US	<ul style="list-style-type: none"> • Entwicklung eines Motorsystem-Tools (www.motorsystems.org) zur Beurteilung der Effizienz eines realen oder geplanten Motorsystems (Maschine, Motor, Antrieb und Regelung) • Übersetzung in weitere Sprachen (Chinesisch, Spanisch, Polnisch) • Entwicklung von Materialien zur Unterstützung der Anwender • Trainings von weiteren Anwendern • Entwicklung „Train the Trainer“-Konzept
SEAD Cooperation	US	<ul style="list-style-type: none"> • SEAD: Super-Efficient Equipment and Appliance Deployment (Projekt im Rahmen der Clean Energy Ministerial) • SEAD / U4E: Aktivitäten zur Verbreitung • Studie: Testing and Test-lab costs • Einbringen der Expertise aus EMSA in SEAD

Die Österreichische Energieagentur leitete 2017 bis 2019 den Task *Monitoring and Assessing New Industrial Developments*. Dabei wurden Auswirkungen von Industrie 4.0 auf den Motorenmarkt untersucht. Darüber hinaus beteiligte sich Österreich u. a an den Verbreitungsaktivitäten des Annexes, insbesondere durch nationale Newsletter und durch Präsentationen bei der IEWT-Fachtagung 2019 und eines Expertenworkshops der Plattform Industrie 4.0.

Weiters arbeitet Österreich an folgenden Fragestellungen mit und unterstützt dadurch die jeweiligen Ziele der Tasks:

- Outreach: Verbindung zu österreichischen Akteuren, aber auch internationalen Organisationen (z. B. IEA, UNIDO), nationaler Newsletter
- International Standards: Verbreitung neuester Informationen über nationalen Newsletter, falls gewünscht: Kontakt zu nationalen Normungsgremien
- Energy Management: Informationsaustausch mit dem Taskleiter
- Motor Systems Tool Dissemination: Feedback zum Tool und Verbreitung

4.2. Projektziele

Das Ziel des Annexes Elektrische Motorsysteme ist es, durch die Förderung von hocheffizienten elektrischen Motorsystemen in Industrie- und Entwicklungsländern die Energieeffizienz zu erhöhen und die Treibhausgasemissionen weltweit zu senken.

Inhalte des Annexes sind:

- Erhöhung des Bewusstseins über die beträchtlichen Energieeinsparmöglichkeiten in Motorsystemen und Entwicklung von Leitfäden zur Realisierung der Einsparungen
- Unterstützung von politischen Entscheidungsträgern bei der Entwicklung und Ausgestaltung von Instrumenten zur Förderung von effizienten Motorsystemen (inkl. Normen und Mindeststandards zu Energieeffizienz und Marktüberwachung)
- Förderung des internationalen Austauschs zu neuen Technologien, politischen Erfahrungen und Herausforderungen
- Erhöhung des Wissensstandes bei Technikerinnen und Technikern sowie Motorsystemanwendern in der Industrie und bei Energieauditorinnen und Energieauditoren

Das Ziel des von der Österreichischen Energieagentur geleiteten Tasks *Monitoring and Assessing New Industrial Developments des Electric Motor Systems Annex* der Internationalen Energieagentur umfasste die Darstellung wesentlicher Trends aus dem Bereich Industrie 4.0 und deren Energieeffekte auf Motorsysteme.

Folgende Fragestellungen standen dabei im Vordergrund:

- Beurteilung, ob und wie Industrie 4.0 Auswirkungen auf die Stromverbrauchsentwicklung allgemein und insbesondere von Elektromotoren hat und/oder haben wird
- Einschätzung, welche Technologieentwicklungen im Bereich Automatisierung und Digitalisierung besonderen Einfluss auf den Stromverbrauch von Elektromotoren haben werden
- Einschätzung, welche Anforderungen für Elektromotoren mit Industrie 4.0 verbunden sind

Darüber hinaus sollten die während dieser Mini-Extension gewonnenen Ergebnisse die Basis für die weiterführende Arbeit des Annexes in diesem Bereich darstellen und diesbezügliche Fragestellungen konkretisieren.

Außerdem erfolgte die Information österreichischer Akteure per Newsletter, Website, Direktkontakt und Teilnahme an einer Konferenz und einem Workshop.

Österreich nimmt auch an den halbjährlichen Annex-Meetings teil. Diese dienen dem Erfahrungsaustausch internationaler Expertinnen und Experten zum Thema energieeffiziente Motorsysteme.

Schwerpunkte liegen dabei auf:

- neuen Testmethoden, auch für neue Motortechnologien wie Permanentmagnetmotoren und Motoren, die mit Frequenzumrichtern gespeist werden
- internationalen Normen und Anreizsystemen für die Energieeffizienz von Motoren
- Energiemanagement und -audits
- Entwicklungen von neuen gesamthaften politischen Instrumenten zur Forcierung effizienter elektrischer Motorsysteme in der Industrie

4.3. Beschreibung von Vorgangsweise, Methoden und verwendeten Daten

Österreich prüfte unter dem Task *Monitoring and Assessing New Industrial Developments*, ob neue Entwicklungen bei der Industrieautomatisierung Auswirkungen auf den Stromverbrauch in Industriebetrieben haben und welche Auswirkungen auf den Motorenmarkt zu erwarten sind.

Dazu wurden durchgeführt:

- Analyse von Studien, wissenschaftlichen Beiträgen und Vorträgen
- Stakeholder-Interviews mit Anbietern, Anwendern und Energieberaterinnen und Energieberatern
- Ergänzende, umfassende Internetrecherche zu den Fallbeispielen und Produkten
- Organisation von nationalem und internationalem Erfahrungsaustausch

Folgende Studien wurden näher analysiert (in alphabetischer Reihenfolge):

- Capgemini: Smart Factories: How can manufacturers realize the potential of digital industrial revolution, 2017
- Ernst & Young: EY-Umfrage: Industrie 4.0 im österreichischen Mittelstand, Befragungsergebnisse, 2018
- Ethan Rogers: The Energy Savings Potential of Smart Manufacturing, American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 2014
- Ethan Rogers, Eric Junga: Intelligent Efficiency Technology and Market Assessment, American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 2017
- IEA/OECD: Digitalization and Energy, 2017
- McKinsey Digital: Industry 4.0 – How to navigate digitization of the manufacturing sector, McKinsey & Company, München, 2015
- Obermaier, R.: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe, Springer Verlag, 2016
- Roland Berger: Die Digitalisierung in der GreenTech-Branche, Roland Berger GmbH, München, 2016

- TPA: Studie zu Wachstumsmärkten, Fokus auf IKT-Anwendungen (Digitalisierung) und elektrische Antriebe, 2018
- VDI ZRE (Zentrum Ressourceneffizienz): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0, Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes, 2017
- Verein Industrie 4.0 Österreich: Ergebnispapier „Forschung, Entwicklung & Innovation in der Industrie 4.0“, 2018.
- World Economic Forum: Fourth Industrial Revolution: Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing, in collaboration with McKinsey & Company, January 2019

Der Interviewleitfaden zur Durchführung der Experteninterviews umfasst beispielhaft folgende Fragen:

- Welche Anwendungen von Industrie 4.0 beeinflussen den Energieverbrauch?
- Welche Technologieentwicklungen im Bereich Automatisierung und Digitalisierung werden besonderen Einfluss auf den Stromverbrauch von Elektromotoren haben?
- Welche Anforderungen könnten für Elektromotoren mit Industrie 4.0 verbunden sein?

Es wurden sieben Experteninterviews zu Motorsystemen und Gespräche mit weiteren Akteuren in diesem Bereich geführt.

- Anibal De Almeida, Professor Universität von Coimbra, Director of the Institute for Systems and Robotics (UC), Autor der Studien der Impact Assessments zur EcoDesign-Verordnung für Motoren für die Europäische Kommission
- Clement Pucher, Leiter Technik, SMC Pneumatik
- Gerhard Rauch, Berater Anlagenoptimierung, Österreichischer Energieauditor für Gebäude gem. EEffG, WILO
- Christian Gerl, Geschäftsführer Chriger Solutions
- Andreas Schaufler, Key Account Manager Austria, Yaskawa
- Michael Krammer, Teamleiter Applikationsspezialisten Geschäftsbereich Industrie, Schneider Electric Austria Ges.m.b.H.
- Christian Gorbach, Business Development Manager, ZIEHL-ABEGG Ges.m.b.H.

Aufbauend auf den Interviews wurde eine Vielzahl von Informationen aus dem Web zu den einzelnen Produkten analysiert. Die genaue Funktionsweise, Art und Umfang der gemessenen und dargestellten Daten lässt sich für viele Produkte nur nach genauer Recherche erheben.

5 Ergebnisse

Die Österreichische Energieagentur (AEA) leitete den Task *Monitoring and Assessing New Industrial Developments* und erstellte nach Studienanalyse, Webrecherche und Durchführung der Experteninterviews den Bericht „Industrie-4.0-Lösungen für effiziente Motorsysteme“ (Kulterer, 2019).

Weiters wurden im Berichtszeitraum November 2017 bis Mai 2019 drei nationale Newsletter, ein wissenschaftlicher Fachbeitrag für eine Konferenz und eine Präsentation für einen Expertenworkshop erstellt.

5.1. Ergebnisse, Darstellung von Innovationen, Weiterentwicklungen und Highlights

Dieses Unterkapitel präsentiert die wichtigsten Inhalte aus dem Bericht zu Industrie 4.0. Der gesamte Bericht wurde als „Industrie-4.0-Lösungen für effiziente Motorsysteme“ (Kulterer, 2019) veröffentlicht.

5.1.1. Hintergrund

In Österreich stieg der Stromverbrauch im Sektor Sachgüterproduktion in den Jahren 2007 bis 2017 um 16 % (durchschnittlich um 1,6 % pro Jahr), im Zeitraum 2009 bis 2017 sogar um 24 % (durchschnittlich um 3 % pro Jahr) (Statistik Austria, 2018a, eigene Berechnung). Der Produktionswert verzeichnete in diesen Zeiträumen einen Anstieg um 12 % bzw. 4 % (Statistik Austria, 2018b).

Der Anteil von Standmotoren am Stromverbrauch in diesem Sektor sank zwar von 74 bis 75 % in den Jahren 2009 bis 2014 auf rund 69 % in den Jahren 2015 bis 2017, macht aber mit 20.370 GWh im Jahr 2017 den größten Teil aus (Statistik Austria, 2018a, eigene Berechnung).

Laut dem Topmotors Market Report Schweiz 2017 machen Elektromotoren in der Schweiz in der Leistungsklasse 7,7 bis 375 kW 72,6 % des elektrischen Energieverbrauchs bei Elektromotoren aus, bei rund 12,5 % der Verkaufszahlen. Motoren mit der Nennleistung 0,12 bis 0,75 kW machen hingegen mit 59,7 % der Verkaufszahlen einen Anteil am Stromverbrauch von 5,3 % aus (Brunner, Werle, 2018).

Die wichtigsten Anwendungen umfassen u. a. Pumpen-, Ventilator-, Kälte- und Druckluftsysteme. Man geht davon aus, dass durch entsprechende Optimierungsmaßnahmen durchschnittlich 20 % des Stromverbrauchs eingespart werden können.

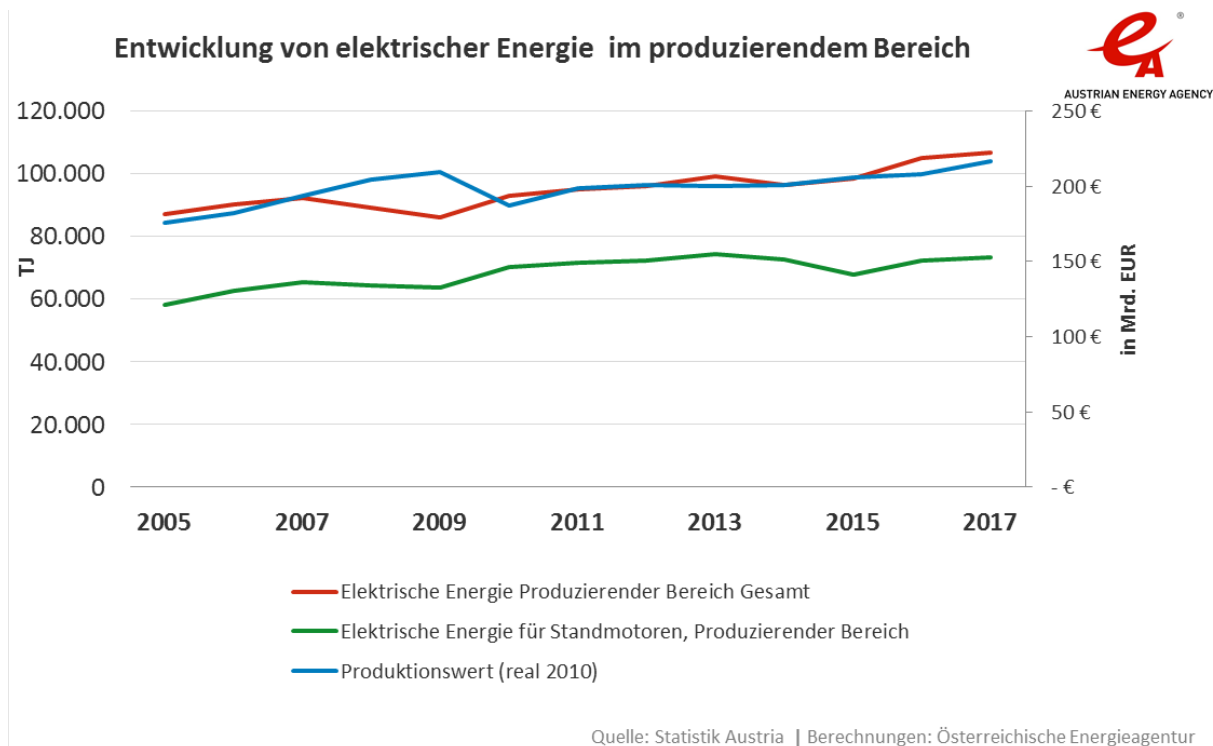


Abbildung 1: Entwicklung des Stromverbrauchs im Sektor Produktion in Österreich in den Jahren 2005 bis 2017 (Statistik Austria, 2018)

5.1.2. Definition und Anwendungsbereiche

Als in diesem Zusammenhang relevante Definitionen von Industrie 4.0 wurden u. a. folgende identifiziert:

„Industrie 4.0 bezeichnet die intelligente Vernetzung von Maschinen und Abläufen in der Industrie mit Hilfe von Informations- und Kommunikationstechnologie“ (Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, 2019).

„Die Begriffe ‚digitale Transformation‘ und ‚Industrie 4.0‘ beziehen sich auf die Verbindung der physischen mit der digitalen Welt. Konkret bedeutet das für die Industrie und das verarbeitende Gewerbe die Verbindung von Anlagen, Maschinen, Werkstücken und Produkten mit digitalen Technologien, welche durch neue Informationstechnologien, insbesondere durch das Internet und Cyber-physikalische Systeme (CPS), ermöglicht wird“ (VDI ZRE, 2017, S. 17).

„Im industriellen Kontext bezeichnet der Begriff Industrie 4.0 die Verbindung der digitalen Welt des Internets mit den konventionellen Prozessen und Diensten der produzierenden Wirtschaft. Es handelt sich dabei um die horizontale und vertikale Vernetzung entlang der Wertschöpfungskette mit Verlagerung der Steuerung von oben nach unten“ (BMW i, 2015).

Als zentrale Treiber oder Industrie-4.0-Charakteristika bezeichnet Obermaier die Bereiche:

- Automatisierung
- Digitalisierung
- Vernetzung aller an der Wertschöpfung beteiligten Akteure (Obermaier, 2016)

Ähnliche technologische Megatrends identifiziert das World Economic Forum (2019):

- Konnektivität: schafft Verbindung zwischen diskreten Netzwerkknoten und erhöht so die Sichtbarkeit
- Künstliche Intelligenz: ermöglicht automatisiertes Erkennen von Ereignissen und bildet die Grundlage für Entscheidungsfindung
- Flexible Automation: beinhaltet Response-Mechanismen, Automatisierung und Remote-Bewegung

Aufbauend auf der Analyse unterschiedlicher Quellen wurden folgende Teilkomponenten von Industrie 4.0 als energierelevant identifiziert und qualitativ bewertet.

Tabelle 2: Wesentliche Komponenten von Industrie 4.0 und deren Energieeffekte

Teilkomponenten von Industrie 4.0	Energieeffekte
Aktoren, Sensoren	Eine Kommunikation miteinander und mit übergeordneten Systemen erhöht den Informationsstand und bietet Möglichkeiten zu Analysen und Zustandsüberwachung und damit zur Energieoptimierung.
Robotik und Automatisierungstechnologien	Der Energieeffekt ist eher negativ, ist aber auch abhängig vom Roboter-Stand-by-Verbrauch und der Zeit, um die Prozesse zu beschleunigen und daher den spez. Energieverbrauch reduzieren.
Additive Fertigungstechnologie (3-D-Druck)	Generell ist Maßanfertigung zu Kosten einer Großserienproduktion das Ziel, d. h., der Energieverbrauch ist verglichen mit Großserien pro Stück höher. Der Energieeffekt ist aber abhängig von der bisher verwendeten Technologie. Theoretisch kann energieeffizientes Design besser umgesetzt werden.
Big Data, Data Mining Data Analytics Cloud-based Data Analytics	Die Auswertung von Prozessdaten ermöglicht die Identifikation von Schwachstellen und Störungen. Das Ziel ist, durch die Erfassung und Auswertung aller relevanten Daten (inkl. Energiedaten) Prozess- und Qualitätsverbesserungen zu erreichen. Dies beinhaltet auch verbesserte Methoden zur Evaluierung und Validierung.
Automatische Steuerung Onlineüberwachung	Die zeitliche Erfassung verfahrensrelevanter Daten in Echtzeit und deren Auswertung ermöglicht Energieeinsparung. Eine sofortige Fehlermeldung erlaubt Eingriff in den Produktionsprozess; Ausschussraten und Materialeinsatz werden minimiert. Bedarfsorientierte Regelung (z. B. automatische Temperaturregelung) zur Wärmebehandlung erhöht Qualität bei geringerer Gasmenge.

Teilkomponenten von Industrie 4.0	Energieeffekte
Human-Machine Interface/Collaboration Augmented Reality	Assistenzsysteme unterstützen Menschen bei energieeffizientem Betrieb der Maschine, z. B. Key Performance Indicators (KPIs) auf Benutzerdisplay. Augmented Reality kann Wartungsprozesse erleichtern.
Digital Twin/Digitaler Schatten	Ein Abbild des Prozesses ermöglicht es, eine echtzeitfähige Auswertungsbasis aller relevanten Daten zu erstellen, Auskunft über aktuelle Zustände zu geben und Prognosen zukünftiger Zustände durchzuführen. Außerdem bieten Digital Twins die Möglichkeit, auch effizientere Prozesse und Teilkomponenten zu entwickeln, wodurch in weiterer Folge Energie gespart wird.
Verbindung von Produktions-, Umwelt- und Energiedaten	Betriebsinformationssystem speichert alle verfügbaren Daten (Energie-, Materialverbrauch), macht eine Auswertung über längere Zeiträume möglich; Einsparungspotenziale werden erkannt.

Quelle: VDI ZRE, 2017; Obermaier, 2016; Rogers, 2014; eigene Einschätzung

5.1.3. Grobanalyse von Energie-Einspareffekten von Industrie 4.0

Aussagen zu Einspareffekten, die mit Industrie 4.0 verbunden sind, wurden beispielhaft in folgenden Studien angeführt:

Laut Smart Manufacturing Leadership Coalition können Technologien im Kontext von Smart Manufacturing die Energieeffizienz um 25 % verbessern (SMMLC, 2011).

Jene Unternehmen, die in der Studie „Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0“ untersucht wurden, ordneten die erzielte Verringerung des Energieverbrauchs (elektrische Energie) durch Maßnahmen der digitalen Transformation überwiegend im Bereich bis 25 % ein (VDI ZRE, 2017, S. 144).

Basierend auf den Erfahrungen bei Sensitec nimmt dieselbe Studie eine mögliche Einsparung an Strom durch eine Echtzeitsteuerung der Fertigungslinie zwischen 10 % und 20 % an (VDI ZRE, 2017, S. 141).

Der Einsatz von Big Data und Advanced Analytics kann zu einer 20- bis 25%igen Erhöhung des Produktionsvolumens und zu einer 45%igen Reduktion von Stillstandszeiten führen, was wiederum die Stand-by-Verluste minimiert und somit Energie für die Bedienung der Anlagen einspart (McKinsey Digital, 2015; VDI ZRE, 2017, S. 33).

Die Studie des World Economic Forums 2019 gibt eine Steigerung der Energieeffizienz für ausgewählte Anwendungsbeispiele von Industrie 4.0 von 2 bis 50 % an (World Economic Forum, 2019).

Umgekehrt errechnet das Umweltbundesamt Deutschland 2017 den durch Informations- und Kommunikationstechnologien (IKT) bedingten Stromverbrauch 2014 in Deutschland auf ca. 75,2 TWh (entsprechend einem Anteil von rund 10 % am gesamten Stromverbrauch, davon entfallen ca. 9,6 TWh auf die Industrie) (VDI ZRE, 2017, S. 14).

Weltweit geht die Global e-Sustainability Initiative (GeSI) im Bericht „Smarter 2020“ davon aus, dass innerhalb der durch IT verursachten Emissionen als fortgeschrittener Technologie ein

Emissionsminderungspotenzial bis 2020 von 9,1 Milliarden t erreichbar ist und das den Ausstoß von rund 1,3 Milliarden t, der auf IT selbst entfällt, um den Faktor 7,2 übertrifft (Reger, Kosch, 2017).

5.1.4. Industrie-4.0-Lösungen für Elektromotoren

Generell ermöglichen folgende Faktoren, ein Objekt in Cyber-physikalische Systeme einzubinden:

- Physisches Element, das die Grundfunktion des Produkts vorgibt (Motor)
- Intelligentes Element, das zukünftig die Leistung des physischen Elements verstärkt (Sensor, Aktor, Steuerung)
- Vernetzungselement, das die Verlagerung von Teilen der Intelligenz aus dem Produkt ermöglicht (Sende-, Empfangseinheiten) (Obermaier, 2016)

Für Elektromotoren und Motorsysteme sind folgende Schritte notwendig, um sie Industrie-4.0-tauglich zu machen:

- Einer der ersten Schritte zu Industrie 4.0 besteht darin, die Produkte selbst „intelligent“ zu machen. Dies beinhaltet als ersten Schritt die Erfassung von Daten mittels Sensoren, die Erfassung und Speicherung der Daten und das Errechnen weiterer Daten.
- Der zweite Schritt ist die Übertragung und Darstellung von Daten.
- Der dritte Schritt schließt die Analyse von Daten und evtl. bereits eine Ableitung von Maßnahmen ein. Auf dieser Ebene können bereits Dienstleistungen angeboten werden.
- Der vierte Schritt würde die automatisierte Steuerung der Anlage auf Basis dieser Analyse umfassen.

Für diese Analyse relevant sind einerseits Elektromotoren (als Produkt oder Objekt), Prozess (in diesem Fall z. B. Motorsystem, beispielsweise Pumpen- oder Druckluftsystem) und Standort (z. B. betriebliche Energiedatenerfassung und Energiemanagement).

Im Bericht wurden dazu derzeitige Trends für den Motormarkt anhand von Produktbeispielen mit Effekt auf den Energieverbrauch analysiert und dargestellt:

- Smartboxes für Elektromotoren
- Nutzung der Motorschutzeinheit zur Überwachung des Motorstroms im Schaltschrank von Elektromotoren, die direkt vom Netz (also ohne Softstarter oder Frequenzumrichter) betrieben werden
- Frequenzumrichter als lokaler Datensammelpunkt
- Intelligente Pumpen und Ventilatoren
- Industrie 4.0 und Druckluftanlagen

5.1.5. Industrie-4.0-Anforderungen an Elektromotoren

In diesem Kapitel werden Informationen dargestellt, welche Anforderungen Industrie 4.0 auf die Motorentwicklung haben wird. Die Informationen dieses Kapitels wurden auf Basis der durchgeführten Interviews erstellt, sind also keine umfassende Analyse der derzeitigen Forschungstätigkeit auf diesem Gebiet. Sie geben aber die wichtigsten Tendenzen wieder. In den Stakeholder-Interviews wurde konkret die Frage gestellt, welche Auswirkungen von Industrie 4.0 auf die Entwicklung von Elektromotoren bzw. Motorsysteme zu erwarten sind.

Ausstattung mit Sensoren

Im Zusammenhang mit Industrie 4.0 wird von Komponenten wie Motoren erwartet, dass sie über ihren Zustand selbstständig nicht nur Information geben können, sondern sich in weiterer Folge selbst überwachen und optimieren können. Dazu gehören eine Vielzahl von Sensoren, die Vibration, unterschiedliche Umgebungs- und Komponententemperaturen, Drücke, Volumenströme, Beschleunigungsgrößen, elektrische Kenngrößen usw. erfassen können. Weitere Sensoren wären z. B. jene für Luftfeuchtigkeit, Erkennen von Vereisung.

Dadurch werden etwa Druckluft- oder Lüftungsanlagen, ähnlich bereits verfügbarer Systeme für Beleuchtungsanlagen, nur mehr jene Bereiche in Unternehmen oder Gebäuden versorgen, in denen zur konkreten Zeit (z. B. Nachtschicht) Menschen oder Maschinen arbeiten und diese Systeme benötigen. Sonst werden diese Systeme automatisch abgeschaltet, auf das erforderliche Niveau zurückgeregelt oder der jeweilige Bereich abgetrennt werden.

Steuerungsmöglichkeiten

Generell wird sich die Anzahl der Sensoren in der Umgebung stark erhöhen, auf diese Werte können Motoren dann z. B. innerhalb von Lüftungs- oder Heizungsanlagen reagieren. Daher wird die Regelung von Motorsystemen nicht mehr über Drücke (also z. B. Ventilstellungen, Klappen), sondern direkt über entsprechende Sensorsignale (Temperatur, Feuchte) erfolgen. Pumpen beispielsweise werden dann nur mehr den Durchfluss, der zur Aufrechterhaltung des jeweiligen Temperaturniveaus erforderlich ist, bereitstellen.

Konnektivität

Um den Motor in die automatisierte Fabrik integrieren zu können, muss eine sog. bidirektionale Konnektivität gewährleistet werden. Hier ist auch im industriellen Umfeld eine Vielzahl von Systemen in Anwendung. Beispiele für Systeme sind derzeit für Feldbussysteme Modbus, Fieldbus, CAN, Profibus oder die Ethernetlösungen Profinet, EtherNet, EtherCAT, SERCOS III, POWERLINK und in weiterer Folge Bluetooth. Dabei setzen die Hersteller auf eine Vielzahl von Möglichkeiten. Unterbrechungssicherheit aber auch Security-Aspekte spielen dabei eine große Rolle.

Algorithmenentwicklung/Virtualisierung

Um von den gesammelten Daten auch auf belastbare Aussagen zu kommen, müssen diese Daten übertragen, gespeichert und auch ausgewertet werden. Je größer der Umfang der Daten, umso wichtiger wird automatisierte Datenaufbereitung und -auswertung über entsprechende Algorithmen.

Ziele von Algorithmen sind derzeit insbesondere das Condition Monitoring, d. h. die frühzeitige Fehlererkennung im System. Darauf aufbauend werden dann Services wie z. B. das zeitnahe Bestellen von Ersatzkomponenten usw. entwickelt oder bereits angeboten.

Ein anderes Ziel könnte aber auch die Optimierung hinsichtlich des Energieverbrauchs von Einzelkomponenten bis hin zur gesamten Anlage sein. Derzeit erfolgt dies in der Praxis händisch mit Excel-Lösungen oder über Zeitverläufe der Einschaltzeiten und Energieaufnahme einzelner Anlagen in einer Energiemanagementsoftware.

Dazu sind neben Trend- und Kennzahlenentwicklung aber auch eine Vielzahl von realen Betriebserfahrungen notwendig, um beispielsweise Aussagen über die verbleibende Lebensdauer von Komponenten oder über den Betriebszustand (z. B. Verschmutzung) machen zu können. Die Lebensdauer kann von einer Vielzahl von Umgebungs- und Betriebsparametern abhängig sein (Temperatur, Feuchtigkeit, Kühlung, Betriebsstunden, Stromaufnahme, Lastzustand usw.). Alle diese Parameter könnten mit entsprechender Erfahrung und Know-how mit Wertebereichen hinterlegt werden, die für einen optimalen Betrieb erforderlich sind. Kombiniert wird das mit virtuellen Modellen des Prozesses oder der Maschine.

Cloud Computing

Eine Voraussetzung zur Datenanalyse zentral über mehrere Standorte, über mobile Endgeräte oder auch über zentrale Datacenter ist die Sammlung und Speicherung von Daten in der Cloud.

Themenbereiche, die dabei eine Rolle spielen sind u. a. Edge Computing (ein Prozessor macht auf Produktionsebene Datenanalyse und sendet nur ausgewählte Daten an die Cloud) oder Advanced Data Analytics, um die steigende Datenmenge sinnvoll analysieren zu können.

Condition Monitoring

Durch Condition Monitoring wird der Betriebszustand laufend überwacht und dabei werden auch energetisch ungünstige Betriebszustände erkannt. Dazu gehören insbesondere erhöhte Vibrationen, erhöhte Stromaufnahme, erhöhte Anzahl von Starts, unregelmäßige Laufzeiten usw. Durch entsprechende Auswertung (auch über Algorithmen) kann daraus auf verschiedene Ursachen (z. B. ungenügende Schmierung, verstopfte Luftfilter, Fouling an Pumpen und Rohren, abgenutzte Getriebe, Änderung der Anforderungen) geschlossen und entsprechende Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Dies kann über Warnsignale bis hin zur automatisierten Bestellung der Ersatzkomponente und Terminanfrage zum Austausch oder Wartung geschehen. Fernziel ist, dass sich jede einzelne Komponente selbst überwacht. Beispiel dazu wäre ein Magnetventil an einer Ventilinsel, das erkennt, wenn z. B. eine Spule zu viel Strom benötigt, und damit erkennt, wenn ein Austausch oder eine Reparatur erforderlich ist.

Generell werden Maschinenproduzenten vermehrt die Daten über die Fahrweise ihrer Anlagen durch die Anlagenbetreiber auswerten und nutzen.

Maschinensicherheit/Worker Collaboration

Ein Ziel von Industrie 4.0 ist die weitere Verschränkung von Arbeitsplätzen von Robotern mit jenen von Menschen. Dabei hat die Sicherheit des Menschen höchste Priorität und ihre Sicherstellung wird von Normen und Richtlinien unterstützt. Laut Whitepaper „Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration“ fehlen aber dazu noch Erfahrungswerte in der Praxisumsetzung (TÜV, Fraunhofer, 2016).

Mensch-Roboter-Kollaboration bezeichnet die Zusammenarbeit von Menschen und Robotern in einem gemeinsamen Arbeitssystem ohne Gitter, Zäune, Lichtgitter oder Laserscanner.

Motoren müssen daher entsprechende Anforderungen erfüllen, dazu gehören auch beispielsweise die Stoppkategorie 0 nach EN 60204. Die Energieversorgung zum Antrieb kann sofort unterbrochen werden, der Antrieb wird ungesteuert stillgesetzt. Der Antrieb kann dann nach der Abschaltung kein

Drehmoment mehr erzeugen. Andere Möglichkeiten beinhalten, dass z. B. bei Werkstückwechsel eines Fräasers, der Motor auf sichere Drehzahl zurückgeregelt wird oder der Roboterarm sich langsamer bewegt, damit keine Gefahr für den Arbeiter droht, aber auch kein Neustart erforderlich ist. Neue Entwicklungen in diesem Bereich umfassen auch eine „künstliche Haut“ für Roboter, über die die Roboterarme zum Stillstand gebracht werden können.

Neue Technologieaspekte

Dieser Aspekt kann nicht unmittelbar Industrie-4.0-Aspekten zugeordnet werden, wird hier aber dennoch der Vollständigkeit halber angeführt.

In den letzten Jahren spielte die Energieeffizienz von Elektromotoren, angetrieben durch neue Technologieentwicklungen und aufgrund von Mindeststandards (derzeit IE3), eine große Rolle.

Folgende Technologieentwicklungen sind dabei erwähnenswert:

- Steigerung der Effizienz Richtung IE₄ und IE₅ bei Induktionsmotoren mit Kupferrotor
- Verbreiteter Einsatz von Permanentmagnetmotoren mit Frequenzumrichter oder über Wechselstrombetrieb; diese weisen im Teillastbereich und bei niedrigen Drehzahlen höhere Wirkungsgrade als Induktionsmotoren auf
- Angetrieben durch Anwendungen im E-Mobilitätsbereich gibt/gab es Kostensenkungen bei Permanentmagnetmotoren, reduzierte Volumina des magnetischen Materials und neue Entwicklungen beim Design des Permanentmagneten.
- Entwicklung von Synchron-Reluktanzmotoren, diese weisen höhere Wirkungsgrade bei niedrigeren Herstellkosten auf
- Permanentmagnet-unterstützter Synchron-Reluktanzmotor
- Neue Materialien bei der Entwicklung von Permanentmagnetmotoren (Ferrite), diese haben allerdings geringeres Drehmoment als seltene Erden-Magneten

Bei Linearmotoren für Automatisierungsanwendungen spielen Miniaturisierung, Geschwindigkeit und Beschleunigung und ein geringer Energiekonsum eine große Rolle. Außerdem muss eine einfache Kommunikation mit Industrielösungen möglich sein. Diese Lösungen sollen auch als (Plug & Play) funktionieren. Die Herstellung kleiner Linearmotoren ist auch ein Einsatzgebiet für 3-D-Druck.

Innovative Motorsteuerungsmechanismen

Permanentmagnetmotoren benötigten bisher Lagesensoren, um ein hohes Anfahrmoment zu erzeugen und damit die Maschine rasch in den gewünschten Betriebszustand zu beschleunigen. Dies wird über Hallsensoren oder Lagegeber auf der Welle des Motors umgesetzt, die den Statorstrom in einem bestimmten Winkel relativ zum Rotor einprägen. Bei sensorloser Regelung wird die Lage des Rotors über die aktuellen Strom- und Spannungswerte über Testimpulse bestimmt. Bei niedrigen Drehzahlen oder Stillstand kann dies z. B. über die an der TU Wien entwickelten INFORM-Methode erfolgen. Damit ist diese Art von Motoren für eine Vielzahl von Gebieten möglich (TU Wien, 2019). Für Hochgeschwindigkeitsanwendungen werden auch bürstenlose Gleichstrommotoren angewendet. Dabei spielt die Positionserkennung über Winkelmessung eine große Rolle zur exakten Steuerung des Drehmoments.

Kompensationsalgorithmen im Sensor selbst können den Übertragungsfehler aufgrund der Zeitverzögerung von Messung und Übertragung verringern und damit Vibration und andere störende mechanische Effekte reduzieren (AMS, 2018).

Energieaspekte der Robotertechnik

Bezogen auf den Gesamtenergiebedarf in der Industrie benötigen Roboter noch einen sehr geringen Anteil an Energie; in spezifischen Anwendungen, z. B. in der Autofertigung für den Karosserierohbau, verbrauchen sie aber über die Hälfte der benötigten Gesamtenergie (Elektrotechnik, 2014). Möglichkeiten bzw. Trends zur Energieeffizienz umfassen u. a.:

Bei Elektromotoren für Roboter sind die wesentlichen Aspekte die Bewegungssteuerung und das Verhältnis aus Drehmoment zu Gewicht. Trends zu effizienteren Motoren umfassen verbesserte Technologie, kompaktere Bauweise und damit geringere Masse und geringere Stromverbräuche.

Effizienzaspekte bei Robotern sind die Reduktion des Gewichts und Verringerung der Größe (z. B. bei Hebearmen), die Verringerung des Stand-by-Verbrauchs (die Energieaufnahme beträgt z. B. bei kleineren Robotern nahezu dieselbe wie im aktiven Zustand) und die Rückspeisung von Energie bei Brems- und Senkbewegungen (Yaskawa, 2018).

Die Kühlung und die Bewegungsgeschwindigkeit von Robotern haben ebenfalls wesentlichen Einfluss auf den Energieverbrauch. Weitere Entwicklungsschritte sind die Entwicklung der statischen und dynamischen Festigkeit und die Bearbeitungsgenauigkeit (Uhlmann et al., 2016).

Unnötige Bewegungen (z. B. durch falsche Installationshöhe, Ausweichmanöver) sind mit unnötigem Energieverbrauch verbunden; ruckartige Bewegungen (also das rasche Beschleunigen und Abbremsen) verursachen Lastspitzen im Energieverbrauch und belasten die Mechanik. Simulationsmodelle, die optimierte Bahnkurven ohne abrupte Richtungswechsel errechnen, ergaben in Labortests Stromeinsparpotenziale von 10 bis 50 Prozent.

5.1.6. Exkurs – Energieverbrauch Robotertechnik

Generell ist eine Erhöhung der Automatisierung mit der Erhöhung des Energieverbrauchs verbunden. Grundsätzlich werden automatisierte Anlagen auf Einhaltung einer bestimmten Taktzeit gebaut. Durch intelligente Überwachung und Wartungs- und Instandhaltungstätigkeit lassen sich die damit verbundenen Energieverbräuche nahezu konstant halten. Dennoch gibt es immer wieder Möglichkeiten, effizienter zu produzieren.

Ein Beispiel sind optimierte Produktionsplanung und Maschinenbelegung. Dadurch lassen sich beispielsweise Wartezeiten einzelner Maschinen und damit Stand-by-Verbräuche reduzieren. Auch optimierte Spann- und Werkzeugwechsellvorrichtungen usw. ermöglichen es, solche Zeiten zu reduzieren.

In diesem Abschnitt erfolgt eine Grobabschätzung des Stromverbrauchs von Industrierobotern für Österreich:

Laut International Federation of Robotics (IFR) betrug die Anzahl der Roboter im Jahr 2016 in Österreich 144 pro 10.000 Beschäftigte in der Industrie (IFR, 2018). Im Sachgüterbereich waren im Jahr 2016 629.625 Personen in Österreich beschäftigt (WKO, 2016).

Die Gesamtzahl der Roboter in Österreich beträgt laut diesen Angaben rund 9.100 (9066,6).

Brunner errechnet auf Basis eines Industrieroboters mit 210 kg Traglast, einer Reichweite von 2,7 m, mit einer Vollastleistung von 3,5 kW und einem detaillierten Lastprofil (ca. 19 % der Zeit 3 kW, 10 % in Warteposition mit 0,7 kW; restl. Zeit inkl. Wochenendabschaltung und Warten mit Bremsen ca. 0,2 kW) einen Gesamtstromverbrauch von 7.000 kWh pro Jahr (Brunner, 2015). Dies würde einer durchschnittlichen Leistung von ca. 0,8 kW oder 2.000 Vollaststunden entsprechen.

Rechnet man auf Basis dieses Roboters den Energieverbrauch hoch, ergibt dies für Österreich einen Wert von rund 63,5 GWh. Der Stromverbrauch für Industrieroboter machte daher 2016 einen Anteil von 0,22 % des gesamten Stromverbrauchs von 29.175 GWh in der Sachgüterproduktion aus.

5.2. Erkenntnisse und Wirkungen auf internationaler Ebene

Generell ist für die Mitgliedsstaaten der Informationstransfer innerhalb des Annexes der wichtigste Punkt zur Teilnahme. Die EMSA-Website, der Newsletter, das *Motor Systems Tool*, der Leitfaden zur Durchführung von Motorsystemaudits und der *Motor Summit* wurden in der Umfrage der Teilnehmerländer als wesentliche Ergebnisse genannt.

Außerdem trägt insbesondere die Arbeit an der internationalen Normenentwicklung durch die EMSA-Mitglieder bei, die Definition der Energieeffizienzklassen und Testnormen weltweit zu vereinheitlichen, weiterzuentwickeln und zu präzisieren.

EMSA-Mitglieder beteiligen sich an mehreren Arbeitsgruppen in folgenden Normungsgremien:

- IEC SC22G Frequenzumrichter (WG 18)
- IEC TC2: Elektromotoren (WG 12, 28, 31)

In der Berichtsperiode (November 2017 bis Februar 2019) wurde ein Round Robin zur Verlustbestimmung von Frequenzumrichtern als Kooperationsprojekt von EMSA & IEC SC22G WG 18 durchgeführt. Das Ziel war es, bis Februar 2019 die Testmethode für Frequenzumrichter weiter zu spezifizieren und ein einheitliches Testprotokoll zu entwickeln, um die Revision der Norm IEC 61800-9-2 mit statistischem Material zu unterstützen. Diese Norm definiert Energieeffizienzkriterien für Frequenzumrichter und Motorstarter. In weiterer Folge soll dieser Round Robin um mehr Produkte und um weitere Leistungsbereiche ausgeweitet werden. Diese Initiative wurde auch von der Europäischen Kommission in einer Anfrage an das Normungskomitee aufgegriffen.

Die von EMSA im Auftrag des IEA TCP 4E im Mai 2018 veröffentlichten *Policy Guidelines for Motor Driven Units Part 2* sind eine gute Grundlage, um „Motor Driven Units“ besser zu definieren, und legt damit die Basis für einheitliche Effizienzklassifizierungen von Motorsystemen, wie z. B. Pumpen, Ventilatoren und Druckluftkompressoren. Dieser Bericht formuliert Empfehlungen zur weltweiten Harmonisierung von Normen und Gesetzen, die die Energieeffizienz von Motorsystemen betreffen.

Ein wesentliche Empfehlung war die Harmonisierung und Koordinierung der IEC mit den ISO-Normen für „*Motor Driven Units*“ innerhalb des IEC Advisory Committee on Energy Efficiency (ACEE). Dazu wurde bereits die Arbeit gestartet. Drei IEC-Technische Komitees und sechs ISO-Komitees wurden bisher als Ansprechpartner identifiziert:

- IEC: TC2 Motors; SC22G Converters; TC 121 Switchgear
- ISO TC 41 Pulleys & belt; ISO TC 60: Gears; TC 115: Pumps; TC 117: Fans; TC 118: Air compressors; TC 301: Energy management

Die wesentliche Frage dabei ist, wie Motorsysteme als Ganzes getestet, gelabelt und klassifiziert werden können. Dazu wären z. B. folgende Punkte wichtig:

- Abgestimmte Terminologie und Umfang von „Motor Driven Units“
- Koordinierte Betriebspunkte und Bedingungen
- Festlegung typische Betriebscharakteristika (Zeit/Lastprofil)
- Koordinierte Testprozesse (Produkt/System)
- Koordinierte Energieeffizienzklassifizierung (Methoden und Metrik)

Innerhalb der Berichtsperiode wurde das *EMSA Motor Systems Tool* um einen komplexen Rechner für die Optimierung von hydraulischen Systemen ergänzt. Diese Adaption ist allerdings zum Zeitpunkt des Berichts noch nicht online. Kurz vor der Berichtsperiode (Oktober 2017) wurde eine neue Version veröffentlicht, die ergänzende Parameter für Anwendungen wie z. B. Pumpen, Ventilatoren und Druckluftkompressoren enthält. Außerdem wurde das Tool für diesen Veröffentlichungstermin auch auf Deutsch und Französisch übersetzt.

Österreich konnte beispielsweise durch die Erkenntnisse aus dem Annex qualifiziertes Feedback zum Entwurf der Umsetzungsverordnung zur Ökodesign-Verordnung für Elektromotoren im Jänner 2019 geben. Das *Motor Systems Tool* konnte über Newsletter und eine Veranstaltung an die Zielgruppe verbreitet werden.

5.3. Veröffentlichliche Ergebnisse im Berichtszeitraum

Im Rahmen des *Electric Motor Systems Annex* und nationalen Projektes zur Beteiligung wurden während des Projektzeitraums folgende Dokumente veröffentlicht:

5.3.1. Bericht Industrie-4.0-Lösungen für effiziente Motorsysteme

Dieser Bericht gibt einen Überblick der wichtigsten Elemente von Industrie 4.0 und deren mögliche Auswirkung auf den Energieverbrauch, fasst Einspareffekte von Industrie 4.0 aus mehreren Studien zusammen und führt eine Reihe von Anwendungsbeispielen und Produkten für Industrie 4.0 in unterschiedlichen Motorsystemen an. Darüber hinaus werden Möglichkeiten zum Energiemanagement in den Schichten der Automatisierungspyramide dargestellt.

Abschließend enthält der Bericht eine Zusammenstellung der Anforderungen für Elektromotoren, die mit Industrie 4.0 verbunden sind.

Verfasser: Konstantin Kulterer, Österreichische Energieagentur

Quelle: <https://www.energyagency.at/projekte-forschung/industrie-gewerbe/detail/artikel/effiziente-elektrische-motorsysteme.html>

5.3.2. Beitrag Industrie-4.0-Lösungen für effiziente Motorsysteme

Dieser wissenschaftliche Beitrag wurde bei der Internationalen Energiewirtschaftstagung 2019 in Wien durch Konstantin Kulterer, Österreichische Energieagentur, erstellt und präsentiert und behandelt folgende Fragestellungen:

- Überblick der wichtigsten Elemente von Industrie 4.0 und mögliche Auswirkung auf Energieverbrauch
- Grobanalyse von Einspareffekten von Industrie 4.0
- Anwendungsbeispiele und -produkte für Industrie 4.0 in den unterschiedlichen Motorsystemen
- Möglichkeiten zum Energiemanagement in den Schichten der Automatisierungspyramide
- Grobabschätzung für Energieverbrauch durch Roboter

Verfasser: Konstantin Kulterer, Österreichische Energieagentur

Quelle: <https://iewt2019.eeg.tuwien.ac.at/programme>

5.3.3. Nationaler Newsletter

Dieser Newsletter wird von der AEA verfasst, teilweise basierend auf dem internationalen Newsletter, und um weitere nationale und internationale Aspekte ergänzt. Der Verteiler umfasst rund 180 Kontakte.

5.3.4. Internationaler Newsletter (Schweiz)

Dieser Newsletter wird weltweit an 5.375 Kontakte in 85 Ländern versendet und erscheint auf Deutsch, Englisch, Chinesisch, Japanisch, Spanisch.

<http://www.motorsystems.org/newsletter>

5.3.5. Bericht: Round Robin of Converter Losses, Report of Results of Phase 1

Dieser Bericht enthält die Ergebnisse des Round Robins für Frequenzumrichter-Verluste und wurde Ende 2017 als Co-Projekt zwischen 4E-EMSA und IEC SC 22 G WG 18 (International Electrotechnical Commission, Technical Committee TC 22, Subcommittee 22, Working Group 18) initiiert.

Das Ziel des RoundRobin-Tests für Frequenzumrichter war es, eine robuste und praxistaugliche Testmethode zu definieren und wiederholbare Ergebnisse zu erzielen. Dabei wurde der gleiche

Frequenzumrichter mehreren Tests unterzogen. Das zweite Ziel war es, genügend statistisches Material für regelmäßig getestete Frequenzumrichter zu sammeln, um die Referenzverluste in der Norm: IEC 61800-9-2 zu prüfen.

Das Testprogramm umfasste neun Frequenzumrichter mit einer Leistungsangabe zwischen 0,75 kW und 11 kW von vier verschiedenen Herstellern. Insgesamt wurden 58 Tests von vier unabhängigen Testlabors mit 24 verschiedenen Motoren mit Effizienzklassen IE1 bis IE3 von 12 unterschiedlichen Herstellern durchgeführt.

Verfasser: Emmanuel Agamloh, Advanced Energy; Andrew Baghurst, CalTest; Conrad U. Brunner, Impact Energy; Sandie B. Nielsen, DTI; Andrea Vezzini, BFH

<https://www.motorsystems.org/testing>

5.3.6. Leitfaden: Policy Guidelines for Motor Driven Units (MDUs) Part 2

Dieser Bericht entwickelt Empfehlungen für politische Entscheidungsträger und Normenentwickler zur Harmonisierung von Mindeststandards für Motoren, Pumpen, Ventilatoren und Druckluftkompressoren in den Regionen USA, Europa und China. In Ergänzung zu den detaillierten Empfehlungen für jede dieser Technologien werden auch die wichtigsten Vorteile wie geringere Kosten und höhere Energieeinsparungen vorgestellt.

Verfasser: Maarten van Werkhoven, Rita Werle, Conrad U. Brunner

Quelle: https://www.motorsystems.org/files/otherfiles/0000/0200/pgmdu_part_2_may2018.pdf

5.3.7. Software Tool: EMSA Motor Systems Tool

Das unter dänischer Leitung entwickelte EMSA Motor Systems Tool berechnet den Wirkungsgrad von kompletten Motorsystemen und bietet technische Unterstützung bei der Auswahl der optimalen Komponenten. Es berechnet dynamisch, wie die Veränderung der Drehzahl, des Betriebspunktes oder eines anderen Elements die gesamte Systemeffizienz beeinflusst. Das Werkzeug beinhaltet Standardmodelle für Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren als auch Getriebearten wie Keilriemen, Elektromotoren mit unterschiedlicher Effizienz und Frequenzumrichter und Kombinationen.

Verfasser: Sandie B. Nielsen, Danish Technological Institut

Quelle: <https://www.motorsystems.org/motor-systems-tool>

Derzeit (1.7.2019) sind keine konkreten Veröffentlichungstermine geplant.

6 Vernetzung und Ergebnistransfer

Dieses Kapitel gibt für jede Zielgruppe des Projektes an, wie diese eingebunden wurde und wie die Ergebnisse kommuniziert wurden.

Innerhalb des *Electric Motor Systems Annex* erfolgt im Rahmen der *Annex Meetings* ein Austausch zu Mindeststandards und Normen im Bereich energieeffizienter Motorsysteme. Dieser Austausch umfasst durch Einbeziehung sogenannter Observerländer viele relevante Regionen: Indien, Japan, China, Australien, USA, Europa.

Im Umfeld des Annexes werden auch die wichtigsten Energieeffizienzkonferenzen für elektrische Motorsysteme (EEMODS, Motor Summit) entweder organisiert bzw. unterstützt und Normungsgremien besetzt. Damit ermöglicht es der Annex, weltweit einen raschen Überblick über neue Entwicklungen im Bereich Technologie, Politik und Normung zu schaffen und diese zu beeinflussen.

Diese Informationen wurden in Form von Berichten, Konferenzbeiträgen, Präsentationen, Workshops und Newslettern an die Zielgruppen Technologieanbieter und Energieauditoren weiterverbreitet, die dieses Wissen dann in ihrer Arbeit anwenden können.

Innerhalb des *Electric Motor Systems Annex* werden sowohl national als auch international Newsletter erstellt. Der internationale Newsletter hat 5.600 Empfänger in 85 Ländern.

National wurden während der Projektlaufzeit drei Newsletter über die neuesten Entwicklungen im Bereich Standardisierung, Normenentwicklung, Veranstaltungen usw. und im Bereich effiziente Motorsysteme erstellt und an ca. 180 ausgewählte Adressaten verschickt. Derzeit befinden sich neben den wichtigen Stakeholdern alle großen Motoren-, Frequenzumrichterhersteller und -vertriebsfirmen im Verteiler. Der Newsletter erwies sich als besonders erfolgreich und zog regelmäßig Reaktionen bzw. Anfragen nach sich.

6.1. Politische Entscheidungsträger, Programmmanager

Politische Entscheidungsträger (bmvit, BMNT, FEEL, WIFI) und Programmmanager wurden über Newsletter über neue politische Instrumente im Bereich Motorsysteme weltweit informiert. Dazu gehören auch Mindeststandards, neue weltweite Normen im Bereich Energieeffizienz und Energiemanagement und Instrumente bzw. Verfahren zur Marktüberwachung zur Kontrolle der Mindeststandards. Diese Stakeholder können daher bei der Entwicklung von Politiken für Österreich weltweite Erfahrungen berücksichtigen. Die Leiterin des Programms **klimaaktiv** energieeffiziente betriebe, des nationalen Programms zur Markttransformation von effizienten Technologien in Betrieben, ist in das laufende Projekt eingebunden. Alle Ergebnisse aus dem Annex konnten direkt dem für Mindeststandards für Motorsysteme zuständigen Beamten der Europäischen Kommission präsentiert werden.

Am 14. und 15. November 2018 fand bereits der 8. *Motor Summit* in Zürich statt, der mit Unterstützung von *Electric Motor Systems Annex* organisiert wird und wo zahlreiche Ergebnisse aus dem Annex präsentiert werden. Teilnehmer waren die wichtigsten Stakeholder zur Motoreffizienz aus China, Japan, Indien, USA, Australien, Brasilien und europäischen Ländern. Themenbereiche waren u. a. internationale Vorgaben in Europa, Indien, China und USA, Innovationen, Normierung, Digitalisierung, E-Motoren in Fahrzeugen. Weiters wurde dort der Energieaudit-Leitfaden, der von der Österreichischen Energieagentur in der Periode 2014–2017 erarbeitet wurde, aufgelegt.

Am 21. Mai 2019 fand in Utrecht im Anschluss an das EMSA-Meeting der Workshop *Market monitoring & surveillance* statt. Österreich berichtete über die Erfahrungen mit einer Marktanalyse, die mit Unterstützung des FEEI im Rahmen des *Electric Motor Systems Annex* im Jahre 2009 durchgeführt wurde.

Der Bericht Industrie 4.0 wurde bei der Sitzung der Expertengruppe Forschung, Entwicklung & Innovation der Plattform Industrie 4.0 vor ca. 30 Teilnehmerinnen und Teilnehmern und bei der Internationalen Energiewirtschaftstagung (IEWT) 2019 einem nationalen und internationalen Publikum präsentiert.

6.2. Technologie- und Komponentenanbieter

Der Bereich Entwicklung und Produktion von Motorsystemen ist in Österreich hochrelevant. Beispiele sind die Entwicklung, die Herstellung und der Vertrieb von Frequenzumrichtern in Wien durch Schneider Electric Power Drives (pdrive); die Entwicklung und Herstellung von Motoren und Steuerungen durch Watt Drive Antriebstechnik (WEG) in Markt Piesting, Niederösterreich; die Produktion von leistungsstarken Elektromotoren in Weiz durch ELIN Motoren die Entwicklung und Produktion von Motoren durch ATB Antriebstechnik in Spielberg. Als relevanter Komponentenlieferant für Steuerungschips für Drehzahlregler ist der Standort Villach von Infineon zu nennen. AMS (Austria Micro Systems) produziert und entwickelt analoge Halbleiterbauelemente für die Anwendungen bei Sensoren und Sensorschnittstellen, z. B. zur Positionserkennung über Winkelmessung für Motoren mit hoher Drehzahl.

Darüber hinaus sind in Österreich größere Vertriebsfirmen für Motorsystemkomponenten beheimatet (z. B. Kaeser Kompressoren, Altas Copco, WILLO, Grundfos, Danfoss). Sämtliche Unternehmen beschäftigen sich schon seit Jahrzehnten mit Antriebssystemen und deren Effizienz. Für alle Akteure ist ein laufender Überblick über internationale Standards und Entwicklungen besonders wichtig. Im Zuge des aktuellen Projektes zum Thema Industrie 4.0 fanden mit vielen Vertretern von Firmen im Bereich Motorsysteme Experteninterviews oder vertiefende Gespräche zu Industrie 4.0 und Energieeffizienz statt. Dazu gehören beispielsweise: Weidmüller, Siemens, ABB, Schneider Electric, Industrie Automation Graz, WILLO, Ziehl-Abegg, FESTO, SMC, Phoenix Contact, Rexel, Nord-Motoren, Aventics GmbH, Stöber Austria, SEW Eurodrive, Brüel & Kjær Vibro, Kobold.

Die meisten dieser Firmen wurden über den Newsletter zu neuen Entwicklungen im Bereich Standards (z. B. Bestimmung der Energieeffizienz von neuen Motortechnologien, Motoren mit neuen Regelsystemen) und Mindeststandards weltweit informiert.

6.3. Forschung

Relevante Forschungsakteure auf diesem Gebiet sind das Institut für elektrische Anlagen und Antriebstechnik, das Institut für Hydraulische Strömungsmaschinen der TU Graz und das Institut für Elektrische Antriebe und Maschinen der TU Wien. Diese und weitere Forschungsakteure (wie z. B. ATB Antriebstechnik oder Schneider Electric) werden über den Newsletter über Inhalte des Annexes informiert.

Die Österreichische Energieagentur präsentierte die Ergebnisse dieses Projektes im Rahmen der zwölften Sitzung der Expertengruppe Forschung, Entwicklung & Innovation der Plattform Industrie 4.0 am 12. April 2019 am FH Technikum Wien. Unter den ca. 30 Teilnehmerinnen und Teilnehmern waren u. a. folgende Institutionen vertreten:

- WKO, IV, BMDW, Gewerkschaft (Jenbacher Innio)
- Siemens, Rexel, Schneider Electric, ÖBB
- TU Graz, TU Wien, FH Technikum, FH Joanneum, FH Krems, AIT, FH Oberösterreich, Joanneum Research

Die Präsentation wurde an alle Teilnehmer (ca. 50) übermittelt.

6.4. Energieberater, Endkunden bzw. Techniker in Betrieben

Die AEA steht in laufendem Kontakt zu vielen Energieauditoren und zahlreichen Energiemanagern in Österreich sowohl über den Newsletter des klimaaktiv Programms als auch über die regelmäßig stattfindenden Schulungen. Hier kann über den klimaaktiv Newsletter, die Aktualisierung der klimaaktiv Leitfäden (z. B. Druckluft-, Kälte-, Pumpen- und Ventilator-Leitfäden), aber auch durch die direkten Schulungen innerhalb des Programms Ergebnisse aus dem Annex-Motorsystem verbreitet werden. Insbesondere Informationen zu neuen Mindeststandards und zu Einsatzmöglichkeiten neuer, effizienter Motortechnologien wurden über den Newsletter und die Antriebsschulung verbreitet. Mithilfe dieser aktuellen Informationen können Betriebe bestmöglich die Effizienzpotenziale der neuen Technologien nutzen, hocheffiziente Motoren und Regelsysteme entsprechend einsetzen und dabei Energie und somit Kosten sparen. In den Newslettern des klimaaktiv Programms energieeffiziente Betriebe wurden Beiträge zu spezifischen Informationen aus dem Annex erstellt.

Die Verbreitung des *Motor Systems Tools* erfolgte im klimaaktiv Newsletter Dezember 2018 an das klimaaktiv Energieberater-Netzwerk.

Am 9. und 10. Mai 2019 präsentierte die Österreichische Energieagentur im Rahmen einer zweitägigen Schulung zum Thema Antriebstechnik das *EMSA Motor Systems Tool* und die *Energy Audit Guide for Motor Driven Systems*, die im Rahmen von klimaaktiv in Kooperation mit Schneider Electric durchgeführt wurde. Dazu wurden Präsentationen und Übungsbeispiele in deutscher Sprache im Rahmen von klimaaktiv erarbeitet.

Der Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren wurde 2018 bis Juni 2019 bei drei klimaaktiv Schulungen für Energieberater (Grundschulungen) an 31 Teilnehmerinnen und Teilnehmern verbreitet.

6.5. Relevanz, Nutzen der Projektergebnisse und Verwertung

Im Rahmen der Überarbeitung der Umsetzungsverordnung für Motoren 640/2009 konnten die EMSA-Teilnehmer ihre Empfehlung insbesondere zur Einführung der Effizienzklasse IE4 als Mindeststandard für bestimmte Motorenkategorien und Details zum derzeitigen Effizienzstatus von Frequenzumrichtern in die Diskussion einbringen. Dieser von mehreren Mitgliedsländern vorgebrachte Vorschlag wurde in die Endversion aufgenommen.

Damit ist Europa weltweit die erste Region, die diese Effizienzklasse definiert hat. Der für die Bearbeitung der Mindestverordnung für Motoren zuständige Beamte der Europäischen Kommission war bei den letzten beiden Annex Meetings anwesend.

Ein eigener Task des *Electric Motor Systems Annex* beschäftigt sich mit der Teilnahme an und Unterstützung von internationalen Normungsgremien in den relevanten Bereichen. Beispielsweise nehmen Annex-Mitglieder an den Normungsgremien zu Energieeffizienz von Elektromotoren, Teststandards und Energiemanagement und -audits teil.

Insbesondere konzentrierte sich die Arbeit auf folgende zwei Gremien:

- IEC Technical Committee 2 Rotating Machines, Working Groups 12, 28, 31: Testing methods and energy efficiency classification for motors online and fed by converters
- IEC SC22G Converters, Working Group 18: Testing methods and energy efficiency classification of motors and motors plus converters

Das Ziel des Round Robins für Frequenzumrichter war es, genügend statistisches Material für regelmäßig getestete Frequenzumrichter zu sammeln, um die Referenzverluste in der Norm: IEC 61800-9-2 zu prüfen.

Bisher wurden viele Inputs für die Normen zur Energieeffizienzklassifizierung von elektrischen Motoren und Frequenzumrichtern auf Basis von Messungen in unabhängigen Labors der Annex Teilnehmer geliefert. In vielen Workshops und Konferenzen wird insbesondere dieses Thema behandelt und die Leiterinnen und Leiter der Normungsgremien über die Ergebnisse aus dem *Electric Motor Systems Annex* informiert und in die Diskussion eingebunden. In Mandaten der Kommission zur weiteren Normenentwicklung in diesem Bereich wird explizit auf den *Electric Motor Systems Annex* verwiesen.

Die im Vorprojekt erstellte und während des Berichtszeitraums gedruckte Version der *Motor System Audit Guideline* diente als Vorlage für eine Motorauditorenausbildung in den Niederlanden und wurde im Rahmen einer Schulung in Österreich präsentiert. Während dieser Schulung wurde auch das *EMSA Motor Systems Tool* detailliert mit den Teilnehmern getestet und angewandt.

Im Rahmen der zwölften Sitzung der Expertengruppe Forschung, Entwicklung & Innovation der Plattform Industrie 4.0 am 12. April 2019 am FH Technikum Wien stellte die Österreichische Energieagentur die bisherigen Ergebnisse des Annex zum Thema Energieeffizienz und Motorsysteme vor und schilderte an konkreten Beispielen, wie Industrie 4.0 zu Energieeffizienz und damit Klimaschutz beitragen kann. Diese Sichtweise konnte auch in den Workshop zur FTI-Offensive der Bundesregierung eingebracht werden.

Die Österreichische Energieagentur ist im direkten Kontakt mit dem für die Umsetzung der Ökodesign-Richtlinie zuständigen Ministerium. Dadurch konnten die Erkenntnisse aus dem Annex qualifiziertes Feedback zum Entwurf der Überarbeitung der Umsetzungsverordnung für Elektromotoren im Jänner 2019 geben.

7 Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Dieses Kapitel enthält zunächst die fachlichen Schlussfolgerungen, die insbesondere durch das nationale Teilprojekt während der sog. Mini-Extension gewonnen wurden, und gibt einen Ausblick auf das weiterführende IEA-Kooperationsprojekt. Außerdem sind die Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik dargestellt.

7.1. Schlussfolgerungen

Elektromotoren bieten ein weites Feld zur Anwendung von Technologien, die Industrie 4.0 zugeordnet werden, und sind als wichtigster Bestandteil von vielen automatischen Prozessen bereits in zahlreiche Automatisierungslösungen integriert.

Alle relevanten Hersteller bieten Produkte zur Erfassung von Daten von Motoren und Motorsystemen mittels Sensoren und Berechnungsmodellen an, um diese „intelligent“ zu machen. Diese Sensoren erfassen Daten und leiten diese weiter. Dies kann bereits innerhalb des Systems zur Erhöhung der Effizienz, aber auch auf Ebene des Unternehmens zu Transparenz hinsichtlich der größten Energieverbraucher und ihrem derzeitigen Effizienzniveau führen. Frequenzumrichter stellen in diesem Zusammenhang eine zentrale Schnittstelle zwischen Datenerfassung und Steuerung dar. Mittels Übertragung und Darstellung der Daten vor Ort oder in der Cloud können diese Daten dann auch hinsichtlich Auffälligkeiten und Optimierungsmöglichkeiten manuell oder mittels Algorithmen analysiert und mit „Digital Twins“ der jeweiligen Anlage oder des jeweiligen Motors verglichen werden.

Als wesentliche Anforderungen an die Entwicklung von Elektromotoren wurden bisher folgende Aspekte erfasst: Informationserfassung über Sensoren, Konnektivität über unterschiedliche Bussysteme, Darstellungsmöglichkeiten der erfassten Daten vor Ort und zentral, automatisierte Auswertungsmöglichkeiten, Aspekte der Mensch-Maschinen-Kollaboration und kostengünstiger, effizienter Technologieeinsatz.

7.2. Ausblick

In der Strategie des *Electric Motor System Annex* für den Zeitraum 2019–2024 wurden insgesamt vier inhaltliche Tasks definiert: *International Standards, Testing, New Industrial Developments and Digitalization in Motor Systems, Motor Systems Tool Maintenance and Dissemination*.

Der Task *New Industrial Developments and Digitalization in Motor Systems* soll dabei von Österreich geleitet werden. Als Partnerländer sind derzeit die Niederlande und Schweden vorgesehen.

Geplante Inhalte umfassen:

- Weitere Analyse, Definition und Kategorisierung von Industrie-4.0-Technologien im Bereich Motorsysteme
- Quantifizierung der Effekte einzelner Kategorien auf den Energieverbrauch (soweit möglich)
- Erhebung von Potenzialen und Gefahren bei der Nutzung von Industrie 4.0
- Feststellung der Entwicklung, Notwendigkeit und Möglichkeit zu politischer Intervention
- Suche und Beschreibung von Use Cases von Industrie-4.0-Technologien im Bereich energieeffiziente Motorsysteme

Dies soll u. a. durch Online-, Telefon- und Vor-Ort-Befragung und Workshops mit Key-Stakeholdern erfolgen.

7.3. Empfehlungen für die österreichische FTI-Politik

Das World Economic Forum schlägt sechs Maßnahmen vor, um sicherzustellen, dass Industrie 4.0 den maximalen positiven Vorteil für die Gesellschaft bringt. Neben sozialen Anliegen, lebenslangem Lernen und Daten- und Sicherheitsaspekten steht dabei auch die Forderung, den Herausforderungen des Klimawandels durch Nutzung von Industrie-4.0-Technologien zu begegnen.

Industrie-4.0-Themen sollten auch für Österreich unter dem Blickwinkel des Beitrags zum Klimaschutz und Energieeffizienz stehen bzw. gestellt werden.

Eine weite Brandbreite von Anwendungsmöglichkeiten, wie in diesem Bericht angeführt, kann auch zur Forcierung der Energieeffizienz erweitert werden:

Dazu gehören die Entwicklung von Sensoren und Steuerungsmöglichkeiten, Themen der Konnektivität, Algorithmenentwicklung zur Erhöhung der Energieeffizienz, Nutzen von Cloud Computing, inkl. Edge-Computing, und Condition Monitoring zur Verringerung des Energieverbrauchs. Auch im Bereich Robotertechnik spielen Energieaspekte eine Rolle.

Eine international akkordierte Kategorisierung und Beurteilung hinsichtlich tatsächlichem Beitrag zur Energieeffizienz, wie sie im EMSA 2019–2024 angedacht ist, könnte ein Schritt sein, den Stellenwert von bestimmten Industrie-4.0-Themen auch im Klimaschutz- und Energieeffizienzbereich zu erhöhen.

Hinsichtlich Motortechnologien, in denen auch Österreich mit mehreren Entwicklungs- und Produktionsstandorten internationale Akzente setzt, werden folgende Themen relevant:

- Steigerung der Effizienz Richtung IE₄ und IE₅ bei Induktionsmotoren mit Kupferrotor
- Verbreiteter Einsatz von Permanentmagnetmotoren mit Frequenzumrichter oder über Wechselstrombetrieb; diese weisen im Teillastbereich und bei niedrigen Drehzahlen höhere Wirkungsgrade als Induktionsmotoren auf
- Angetrieben durch Anwendungen im E-Mobilitätsbereich gibt/gab es Kostensenkungen bei Permanentmagnetmotoren, reduzierte Volumina des magnetischen Materials und neue Entwicklungen beim Design des Permanentmagneten.
- Entwicklung von Synchron-Reluktanzmotoren, diese weisen höhere Wirkungsgrade bei niedrigeren Herstellkosten auf
- Permanentmagnet-unterstützter Synchron-Reluktanzmotor
- Neue Materialien bei der Entwicklung von Permanentmagnetmotoren (Ferrite), diese haben allerdings geringeres Drehmoment als seltene Erden-Magneten

Im Zuge der Erstellung der Mindeststandards für E-Motoren im Rahmen der Ökodesign-Verordnung für Motoren wurde auch die Diskussion um den Wirkungsgrad von Frequenzumrichtern eröffnet. Dazu wurde eine europäische Norm zur Energieeffizienzklassifizierung entwickelt, die 2017 auch (etwas adaptiert) als IEC-Norm international wirksam wurde. Die EU setzt in der kommenden Aktualisierung der Motorenverordnung zur Ökodesign-Richtlinie auch Mindeststandards für Frequenzumrichter, weitet das Anwendungsgebiet von Mindeststandards auf kleinere (Leistungsbereich 0,12 bis 0,75 kW) und einphasige Motoren aus und führt ab 2023 IE₄ als Mindeststandard für Motoren im Leistungsbereich 75 kW bis 200 kW ein.

Aufgrund von Entwicklungen durch neue Materialien in der Halbleitertechnologie lassen sich die Verluste von Frequenzumrichtern um bis zu 60 % verringern. Unter Berücksichtigung dieser raschen technologischen Entwicklung und der in Österreich vorhandenen Produktions- und Entwicklungsstandorte und Komponentenlieferanten für E-Motoren und Frequenzumrichter ergeben sich für Österreich folgende Empfehlungen:

- Österreichische Motorenhersteller und Materiallieferanten sollten bei der Entwicklung bis zur Serienreife von hocheffizienten Motoren (IE₄ und darüber) in allen Leistungsbereichen und bei der Anknüpfung zu Industrie-4.0-Technologien unterstützt werden.
- Österreichische Frequenzumrichter-Entwickler und -Komponentenlieferanten sollten bei der Entwicklung von Frequenzumrichtern mit hohem Wirkungsgrad und bei intelligenten Datenerfassungs- und Datenauswertungssystemen unterstützt werden (Wirkungsgrad IE₂ und darüber).

Diese Unterstützung soll in Form von fokussierter Forschungsförderung und über Informationstransfer erfolgen.

Literaturverzeichnis

AMS: Position sensing in high-speed applications, <https://ams.com/daec> (abgerufen am: 28.10.2018, 16:00)

BMWi: Industrie 4.0 – Volks- und betriebswirtschaftliche Faktoren für den Standort Deutschland – Eine Studie im Rahmen der Begleitforschung zum Technologieprogramm AUTONOMIK für Industrie 4.0, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi), Berlin, 2015

Brunner, C.U.: Topmotors Studie: Potentialuntersuchung Rotierende Maschinen und Transportanlagen, 2015, Zürich

Brunner, C.U., Werle, R.: Topmotors Market Report 2018, Impact Energy im Auftrag von Bundesamt für Energie (BFE), Bern, 2018

Capgemini: Smart Factories: How can manufacturers realize the potential of digital industrial revolution, 2017

Deutsches Bundesministerium für Wirtschaft und Energie: <https://www.plattform-i40.de/I40/Navigation/DE/Industrie40/WasIndustrie40/was-ist-industrie-40.html> (abgerufen am: 29.3.2019, 11:30)

Elektrotechnik, Automatisierung: <https://www.elektrotechnik.vogel.de/volkswagen-will-bei-robotern-sparen-a-449404/>, (veröffentlicht am: 30.6.2014, Zugriff: 6.4.2019, 14:30)

Ernst & Young: EY-Umfrage: Industrie 4.0 im österreichischen Mittelstand, Befragungsergebnisse, 2018

IEA/OECD: Digitalization and Energy, 2017

International Federation of Robotics: Robot density rises globally, Frankfurt, 2018

Kulterer, K.: Industrie-4.0-Lösungen für effiziente Motorsysteme, Österreichische Energieagentur, 2019

McKinsey Digital: Industry 4.0 – How to navigate digitization of the manufacturing sector, McKinsey & Company, München, 2015

Obermaier, R.: Industrie 4.0 als unternehmerische Gestaltungsaufgabe: Strategische und operative Handlungsfelder für Industriebetriebe, Springer Verlag, 2016

Reger, J., Kosch, B.: Energieaspekte der Informationstechnologie, in Matzen, F.J., Tesch, R. (Hrsg.) Industrielle Energiestrategie, Springer, 2017

Rogers, E.: The Energy Savings Potential of Smart Manufacturing, American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 2014

Rogers, E., Junga, E.: Intelligent Efficiency Technology and Market Assessment, American Council for an Energy-Efficient Economy (ACEEE), 2017

Roland Berger: Die Digitalisierung in der GreenTech-Branche, Roland Berger GmbH, München, 2016

Smart Manufacturing Leadership Coalition (SMLC), Implementing 21st Century Smart Manufacturing. Workshop Summary Report, University of California, Los Angeles, 2011

Statistik Austria (a): Nutzenergieanalyse 2018

Statistik Austria (b): Volkswirtschaftliche Gesamtrechnungen, 1995–2017, Hauptergebnisse

TPA: Studie zu Wachstumsmärkten, Fokus auf IKT-Anwendungen (Digitalisierung) und elektrische Antriebe, 2018 (Original: Niederländisch)

TU Wien, Institut für Energiesysteme und Elektrische Antriebe: Sensorlose Regelung für Synchronmotoren, 2019

TÜV AUSTRIA Holding AG, Fraunhofer Austria Research GmbH: Whitepaper „Sicherheit in der Mensch-Roboter-Kollaboration“, 2016

Uhlmann, E., Reinkober, S., Hollerbach, T.: Energy efficient usage of industrial robots for machining processes, 23rd CIRP Conference on Life Cycle Engineering, 2016

VDI ZRE (Zentrum Ressourceneffizienz): Ressourceneffizienz durch Industrie 4.0, Potenziale für KMU des verarbeitenden Gewerbes, 2017

Verein Industrie 4.0 Österreich: Ergebnispapier „Forschung, Entwicklung & Innovation in der Industrie 4.0“, 2018.

WKO Statistik: <http://wko.at/statistik/jahrbuch/sach-beschaefigte-2016.pdf> (abgerufen am: 28.01.2019, 10:30)

World Economic Forum: Fourth Industrial Revolution, Beacons of Technology and Innovation in Manufacturing, in collaboration with McKinsey & Company, January 2019

Yaskawa: Annual Report 2018

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Entwicklung des Stromverbrauchs im Sektor Produktion in Österreich in den Jahren 2005 bis 2017 (Statistik Austria, 2018)	19
---	----

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Taskuntergliederung, -leitung und Ziele des <i>Electric Motor Systems Annex</i> (Periode 2017–2019)	13
Tabelle 2: Wesentliche Komponenten von Industrie 4.0 und deren Energieeffekte	20

Es konnten keine Einträge für ein Abbildungsverzeichnis gefunden werden.**Abkürzungsverzeichnis**

Abkürzung	Erklärung
4E	Energy Efficient End-Use Equipment (4E)
ACEE	Advisory Committee on Energy Efficiency
AEA	Austrian Energy Agency
AIT	Austrian Institute of Technology
BFH	Berner Fachhochschule
BMDW	Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort
BMNT	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
bmvit	Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
DTI	Danish Technological Institute
ECEEE	European Council for an Energy Efficient Economy
EEMODS	Energy Efficient Motor Driven Systems
EMSA	Electric Motor System Annex
IEA	International Energy Agency
IEC	International Electrotechnical Commission
IECEE	IEC Conformity Assessment for Electrotechnical Equipment and Components
IEWT	Internationale Energiewirtschaftstagung
FEEI	Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie
FH	Fachhochschule
FTI	Forschung, Technologie, Innovation
GMLP	Global Motor Labelling Programme
IKT	Informations- und Kommunikationstechnologien
IV	Industriellen Vereinigung
SC	Subcommittee
SEAD	Super-efficient Equipment and Appliance Deployment
TC	Technical Committee
TCP	Technology Cooperation Programme
TS	Technical Standard
TU	Technische Universität
WG	Working Group
WIFI	Wirtschaftsförderungsinstitut der Wirtschaftskammer Österreich
WKO	Wirtschaftskammer Österreich
UNIDO	United Nation Industrial Development Organization

Abkürzung

Erklärung

U4E

United for Efficiency

**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie,
Mobilität, Innovation und Technologie (BMK)**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

[bmk.gv.at](https://www.bmk.gv.at)