

IEA 4E EMSA Effiziente elektrische Endverbrauchsgeräte – Annex Elektrische Motorsysteme

Arbeitsperiode 2014 - 2017

K. Kulterer, P. Lackner,
D. Presch, M. Hofmann

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

40/2018

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

Impressum

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
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 4E EMSA

Effiziente elektrische Endverbrauchsgeräte

Annex Elektrische Motorsysteme

Arbeitsperiode 2014 - 2017

Mag. DI Konstantin Kulterer, Mag. Petra Lackner,
DI (FH) David Presch, DDI (FH) Marcus Hofmann
Österreichische Energieagentur

Wien, Dezember 2017

Ein Projektbericht im Rahmen des Programms

IEA FORSCHUNGS
KOOPERATION

des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie

Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts aus dem Programm FORSCHUNGSKOOPERATION INTERNATIONALE ENERGIEAGENTUR. Es wurde vom Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie 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 Verkehr, Innovation und Technologie

Inhaltsverzeichnis

1.	Kurzfassung	7
1.1.	Kurzfassung deutsch.....	7
1.2.	Abstract	8
2.	Einleitung.....	9
2.1.	Allgemeine Einführung in die Thematik	9
2.2.	Ausgangssituation/Motivation des Projekts	9
2.3.	Beschreibung des Standes der Technik in dem Forschungsgebiet	10
2.4.	Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema	11
2.5.	Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Ergebnisberichts	11
3.	Hintergrundinformation zum Projektinhalt	12
3.1.	Darstellung des gesamten Kooperationsprojekts (Partnerländer, Taskuntergliederung) und der Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojekts im Task/Annex	12
3.2.	Beschreibung der Projektziele (bezogen auf das Kooperationsprojekt und auf das österreichische Teilprojekt).....	14
3.3.	Beschreibung der verwendeten Methodik, Daten und Vorgangsweise	15
4.	Ergebnisse des Projekts.....	16
4.1.	Erfahrungsaustausch, Normenanalyse.....	16
4.2.	Zusammenfassung Energieauditleitfaden.....	19
4.2.1.	Hintergrund und Ziele	19
4.2.2.	Überblick über den Audit-Leitfaden.....	19
4.2.3.	Auditplanung	21
4.2.4.	Auftakt-Besprechung.....	24
4.2.5.	Datensammlung	25
4.2.6.	Messplan	28
4.2.7.	Außeneinsatz	29
4.2.8.	Analyse	31
4.3.	Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren.....	34
4.3.1.	Synchron-Reluktanzmotor.....	34
4.3.2.	Permanentmagnet-Motor	35
4.3.3.	Höhere Drehzahl bei effizienteren Motoren.....	35
4.3.4.	Beseitigung von Klappen in Pumpensystemen	36
4.3.5.	Geringere Saugdruckverluste	36

4.4.	Weitere Veröffentlichungen.....	36
4.4.1.	Software Tool: EMSA Motor Systems Tool.....	38
4.4.2.	Leitfaden: Policy Guidelines for Motor Driven Units (MDUs) Part 1.....	38
4.4.3.	Geplante Veröffentlichungen.....	38
5.	Vernetzung und Ergebnistransfer	39
5.1.	Darstellung der österreichischen Zielgruppe, für die die Projektergebnisse relevant sind.	39
5.1.1.	Politische Entscheidungsträger, Programm-Manager	39
5.1.2.	Technologie- und Komponentenanbieter	39
5.1.3.	Forschung	40
5.1.4.	Energieberater, Endkunden bzw. Techniker in Betrieben.....	40
5.2.	Weitere Verbreitungstätigkeiten	40
5.2.1.	Fachtagung Effiziente Elektromotoren.....	40
5.2.2.	Vortrag Marktbeobachtungsrunde	41
5.2.3.	Newsletter	41
5.3.	Aufgebaute Kompetenzen.....	42
5.4.	Nutzen für den Technologiebereich in Österreich, Mehrwert und Nutzen der IEA-Beteiligung generell.....	42
6.	Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen.....	43
7.	Verzeichnisse	46
7.1.	Literaturverzeichnis.....	46
7.2.	Abbildungsverzeichnis.....	47
7.1.	Tabellenverzeichnis	47

1. Kurzfassung

1.1. Kurzfassung deutsch

Motorsysteme sind in Österreich für 75 % 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 zur Einführung von Energieeffizienzkriterien, Testnormen und Mindeststandards gesetzt. Während Mindeststandards insbesondere die Effizienz von Einzelkomponenten steigern, berücksichtigen Energieaudits die tatsächlichen Bedingungen vor Ort. Bei der Umsetzung der Energieeffizienz-Richtlinie mit der Vorgabe zur verpflichtenden Durchführung von Energieaudits für Großbetriebe ist es wesentlich, geeignete Instrumente für die Berücksichtigung von Motorsystemen bereit zu stellen.

Die Österreichische Energieagentur (AEA) leitete den Task *Energy Audits for Motor Systems*. Dabei sollten insbesondere Empfehlungen zur Durchführung von Energieaudits für Motorsysteme aufbauend auf bestehenden Normen definiert werden. Dazu wurden Desk-Research (zur Normenanalyse), Stakeholder-Interviews und ein nationaler und internationaler Erfahrungsaustausch während Workshops, Konferenzen und Meetings durchgeführt.

Zunächst analysierte die AEA die Energieauditprogramme und Normen der am Annex teilnehmenden Länder und fasste die Ergebnisse in einem Bericht zusammen. Dieser beinhaltet u.a.

- Ergebnisse des Erfahrungsaustauschs zu Energieauditprogrammen und Werkzeuge zur Analyse von Motorsystemen in unterschiedlichen Ländern
- Ergebnisse der Analyse bestehender Normen zu Energieaudits und der Berechnung der energetischen Leistung. Diese umfassen Normen auf ISO-Niveau aber auch internationale Protokolle.

Darauf aufbauend wurde der *Energy Audit Guide for Motor Driven Systems, Recommended Steps and Tools entwickelt*. Dieser Leitfaden ist analog zu den Prozess-Schritten zur Durchführung von Energieaudits der ISO 50002 strukturiert und beinhaltet organisatorische und technische Aufgaben, die während eines Energieaudits für Motorsysteme durchzuführen sind. Für jeden dieser Schritte wird auf die relevanten Normen, Leitfäden und Tools verwiesen, und wie diese im Auditablauf zu verwenden sind. Außerdem enthält der Leitfaden Indikatoren und Formeln zur Berechnung für Einsparmaßnahmen von Motorsystemen.

Darüber hinaus fließen neueste Erkenntnisse in den seit der ersten Projektphase laufend aktualisierten Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren ein, der sich insbesondere an Anwender (Energiemanager, Energieberater) richtet.

1.2. Abstract

Motor systems are responsible for 75% of electricity consumed in the industry. These include - for example - pumping-, fan-, cooling- and compressed air systems. At the same time, 20% of electricity consumed could be saved by economic optimization measures.

In the last couple of years a lot of changes in the fields of policy development and standard making, esp. for energy efficiency standards, testing standards and minimum performance standards, took place.

Whereas minimum performance standards focus on the efficiency of single components, energy audits consider the real conditions on-site. For implementation of the Energy Efficiency Directive of the European Commission with the stipulation for energy audits for large companies, it is essential that instruments for the consideration of motorsystems are available.

Austria leads the task *Energy Audits for Motor Systems*: Within this task, recommendations for carrying out energy audits for motor systems based on existing standards were defined. Therefore, desk-research (for analysing the standards), stakeholder-interviews and international exchange of experiences during workshops, conferences and meetings were carried out.

Firstly, the Austrian Energy Agency analysed energy audit programmes and standards in the member countries of the Electric Motor Systems Annex and summarized the results in a report. This report contains:

- Results of the exchange of experiences on the implementation of energy audit programmes and tools for analysis of motor driven systems in different countries
- Results of analysis of standards for energy audits and calculation of energy performance. This includes ISO-standards but also international protocols.

This report served as basis for the development of the *Energy Audit Guide for Motor Driven, Recommended Steps and Tools*. The guide is structured along the stages of an energy audit according to ISO 50002 and includes organisational and technical tasks to be performed during an energy audit for motor systems. For each step it refers to the relevant standards, guides and tools and how they can be used within the audit procedure. Furthermore the guide includes indicators and calculation formulas for energy saving measures for motor driven systems.

In addition, new know-how of the project is included in the continuously updated energy efficiency guide for motor systems, which is aimed at motor system users (energy managers, consultants and industrial planners).

2. Einleitung

2.1. Allgemeine Einführung in die Thematik

Motorsysteme sind in Österreich für 75 % 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.

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 bereits sehr viele politische und normative Aktivitäten gesetzt, die aber zunächst nur Drehstrom-Asynchronmotoren ohne Regelung berücksichtigten. Mittlerweile wurden auch neue Motorentechnologien in die Normen zur Energieeffizienz aufgenommen, z.B. Permanentmagnet-Motoren in der IEC TS 60034-30-2.

Die wichtigsten Maßnahmen waren die weltweit einheitliche Effizienzklassifizierung für Elektromotoren (International Efficiency (IE), IE1 bis IE4 Motoren), die Einführung von Mindeststandards im Rahmen der Ökodesign-Richtlinie der EU und die weitere Ausweitung von Mindeststandards in den USA.

Bis 2010 waren noch IE1-Motoren Stand der Technik (damals unter der Bezeichnung „eff2 Klasse“). Seit 2011 haben IE2-Motoren den größten Marktanteil in Europa. Seit 1. Jänner 2017 ist die Effizienzklasse IE3 für Asynchronmotoren mit Betrieb am Netz im Leistungsbereich 0,75 kW bis 375 kW in der EU vorgeschrieben. In Kombination mit Frequenzumrichtern sind aber auch noch IE2-Motoren erlaubt.

Außerdem drängen bereits jetzt neue Motortechnologien mit noch höheren Wirkungsgraden (IE4, IE5) auf den Markt. Z.B. weisen Synchron-Reluktanzmotoren bereits Wirkungsgrade auf, die einer Effizienzklasse von IE6 entsprechen würden. (Quelle: Sandie Nielsen, Dänisches Technologiezentrum, Annex-Meeting Wien April 2017)

2.2. Ausgangssituation/Motivation des Projekts

Das größte Einsparpotenzial von Elektromotoren liegt im Systemansatz, also in der Anpassung des tatsächlichen Energiebedarfs für den Motor an den erforderlichen Energiebedarf für die jeweilige Anwendung (zu fördernder Luft- oder Flüssigkeitsstrom, Druckluft, Kälte). Während Mindeststandards insbesondere die Effizienz von Einzelkomponenten (Steuerung, Motoren und Maschinen, wie z.B. Pumpen und Ventilatoren) steigern, berücksichtigen Energieaudits die tatsächlichen Bedingungen vor Ort. Insbesondere Hersteller von Frequenzumrichtern führen in den Diskussionen zu den Mindeststandards von Motoren immer wieder an, dass ein viel größeres Einsparpotenzial im Bereich der Regelung liegt. Eine gesetzliche Vorgabe zum Einsatz neuer Regeltechnik ist allerdings schwierig zu formulieren, da der Nutzen vom jeweiligen Anwendungsgebiet bestimmt wird.

Insbesondere die zeitliche Abstimmung von Antrieb und Verbraucher, die optimale Steuerung zur Versorgung von variablen Lasten, mögliche Überdimensionierungen und weitere Verbesserungsmöglichkeiten, wie z.B. Wärmerückgewinnung und Vermeidung von Leckagen, können während eines Energieaudits identifiziert werden. Mit diesen Einsparmaßnahmen können Einsparungen von bis zu 50 % in Einzelfällen und ca. 20 - 30 % im Durchschnitt erzielt werden.

Die Richtlinie 2012/27/EU des Europäischen Parlaments und des Rates (Energieeffizienz-Richtlinie vom 4. Dezember 2012) legt in Artikel 8, Ziffer 4 fest, dass Großunternehmen beginnend mit dem Jahr 2015 alle vier Jahre ein Energieaudit durchführen müssen.

Bei der Umsetzung dieser Anforderung ist es wesentlich, geeignete Instrumente für die Berücksichtigung von Motorsystemen bereit zu stellen. International wurden und werden Normen zur Durchführung von Energieaudits ausgearbeitet. Wie genau Motorsysteme behandelt werden müssen, welche Messungen erforderlich sind und wie die Einsparbewertung erfolgen soll, bleibt jedoch offen.

2.3. Beschreibung des Standes der Technik in dem Forschungsgebiet

Die Energieeffizienz-Richtlinie legt in Artikel 8, Ziffer 4 fest: „Die Mitgliedstaaten stellen sicher, dass Unternehmen, die kein KMU sind, Gegenstand eines Energieaudits sind, das bis zum 5. Dezember 2015 und mindestens alle vier Jahre nach dem vorangegangenen Energieaudit in unabhängiger und kostenwirksamer Weise von qualifizierten und/oder akkreditierten Experten durchgeführt oder nach innerstaatlichem Recht von unabhängigen Behörden durchgeführt und überwacht wird.“

Bezüglich des Inhalts der Energieaudits definiert die Richtlinie im Anhang bestimmte Mindestinhalte für Energieaudits. Zur Umsetzung dieser Richtlinie war aber in einem ersten Schritt bereits eine genaue Definition von Energieaudits notwendig.

Daher veröffentlichte CEN/CENELEC 2013 die erste internationale Norm zu Energieaudits (EN 16247-1 – Allgemeine Anforderungen für Energieaudits). Diese wurde für Energieaudits in produzierenden Unternehmen mit der EN 16247-3 – Energieaudits für Prozesse ergänzt. Auf weltweiter Ebene erfolgte die Erarbeitung des ISO-50002 – Energyaudits – Requirements with guidance for use (2014). Darüber hinaus wurden auf internationaler Ebene Normen zu Vorgaben für Energieaudits für Druckluftsysteme aus dem Jahr 2013 (ISO 11011 – Druckluft-Energieeffizienz-Bewertung) und für Pumpensysteme aus dem Jahr 2015 (ISO 14414 – Energetische Bewertung von Pumpensystemen) erstellt.

In diesen Normen werden bereits sehr umfassende Strategien zur Messung empfohlen (z.B. in ISO 11011) aber sie enthalten - mit Ausnahme von ISO 14414 - weder Indikatoren für schlecht funktionierende Motorsysteme noch Empfehlungen zur Bewertung und Berechnung von Energieeinsparungen.

Es ist unklar, wie Energieaudits in der Realität diese Normen bezüglich Motorsysteme erfüllen können. Vor allem dann, wenn - wie üblich - zuerst ein allgemeines Energieaudit durchgeführt wird, dabei aber bereits bestimmte Prüfungen von möglichen Einsparmaßnahmen für Druckluftsysteme oder andere elektrische Motorsysteme durchgeführt werden.

Ein Indikatorsatz für die Beschreibung von Motorsystemen oder andere Methoden, z.B. Excel-Listen, sind notwendig, um eine mögliche Vorauswahl von Maßnahmen eines Energieaudits zu spezifizieren.

Vorschläge für die Berechnung von Energieeinsparungen sind ebenfalls notwendig, um einheitliche Bewertungen von Einsparungsmaßnahmen durchführen zu können.

2.4. Beschreibung der Vorarbeiten zum Thema

Die Österreichische Energieagentur (AEA) vertritt seit 2008 Österreich im Rahmen des Annex Electric Motor Systems. 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.

Bereits in der ersten Projektphase wurde von der AEA ein Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren für Anwender erarbeitet und in der Folge ergänzt. Dieser beinhaltet u.a. Hinweise zur Anwendung effizienter Motoren und deren besonderen Eigenschaften, Ähnliches für neue Motortechnologien und Frequenzumrichter.

Im Programm **klimaaktiv** des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft wurden Leitfäden für Energieauditor:innen zur Beurteilung von Pumpen, Lüftungsanlagen, Druckluftanlagen und Kältesysteme erstellt. In diesen Leitfäden konnten Informationen aus der Beteiligung am *Annex Electric Motor Systems* zum Thema effiziente Elektromotoren und Frequenzumrichter eingebaut werden. Diese Leitfäden werden in regelmäßigen Schulungen in Kooperation mit Herstellerfirmen an Energiemanager und Energieauditor:innen vermittelt.

Begleitend zu diesen Projekten konnte in Kooperation mit dem Fachverband für Elektro- und Elektronikindustrie im Auftrag des Bundesministeriums für Wissenschaft, Forschung und Wirtschaft eine Publikation erstellt und eine Konferenz zum Thema effiziente Motorsysteme abgehalten werden.

2.5. Kurzbeschreibung des Aufbaus (Kapitel) des Ergebnisberichts

Der vorliegende Endbericht ist wie folgt strukturiert:

Zunächst folgen in Kapitel 3 Hintergrundinformationen zum Projekt. Diese umfassen eine Beschreibung der Ziele und des Inhalts des *Implementing Agreements 4E* und des *Annex Electric Motor Systems*. Darüber hinaus werden die Arbeitsinhalte des nationalen Projekts beschrieben.

In Kapitel 4 sind die bisherigen Ergebnisse des Projekts dargestellt: Diese bieten Kurzdarstellungen des *Working Document Energy Audits for Motor Driven Systems, Part 1* und des *Energy Audit Guides for Motor Driven Systems, Recommended Steps and Tools*, welche im Rahmen des von Österreich geleiteten Tasks Energy Audits for Motor Systems erarbeitet wurden. Weiters werden Abschnitte des Energieeffizienz-Leitfadens für Elektromotoren, die im Laufe dieses Projekts aktualisiert wurden, dargestellt. Im Anschluss wird ein Überblick über Veröffentlichungen aus dem Annex gegeben.

In Kapitel 5 erfolgen Detailangaben in Bezug auf die Forschungsk Kooperation mit der Internationalen Energieagentur. Diese umfassen die Darstellung der österreichischen Zielgruppe, die Einbindung relevanter Stakeholder und den Nutzen der Projektergebnisse.

Den Abschluss des Berichts stellen die Schlussfolgerungen zu den Projektergebnissen und ein Ausblick inkl. Empfehlungen dar.

3. Hintergrundinformation zum Projektinhalt

3.1. Darstellung des gesamten Kooperationsprojekts (Partnerländer, Task- untergliederung) und der Aufgabenstellung des österreichischen Teilprojekts im Task/Annex

Der *Annex Electric Motor Systems* (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 *Annex Electric Motor Systems* (EMSA) setzt international gezielt Aktivitäten im Bereich effiziente Motorsysteme, die derzeit hoch relevant sind bzw. nicht von anderen Akteuren übernommen werden. Dazu gehört 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 3-1: Taskuntergliederung, -leitung und Ziele des Electric Motor Systems Annex (Periode 2014 - 2017)

Tasks	Sub-Task Leitung	Ziele
Outreach	Schweiz	• Internationale Verbreitung der EMSA-Arbeit über internationale Konferenzen und Workshops • EMSA Website: www.motorsystems.org • EMSA-Newsletter (in Englisch, Chinesisch, Japanisch, Russisch, Deutsch)
International Standards	Schweiz	• Mitarbeit an Normen, Repräsentation in den Normungsgremien der International Electrotechnical Commission (IEC) • Verbreitung von neuen Normen • Koordinierte Untersuchung für Testmethoden für fortgeschrittene Motortechnologien und Frequenzumrichter
Regulatory Issues	USA	• Testen von Motoren, die auf neuen Motortechnologien basieren (Permanentmagnet-Motoren, Switched Reluctance) • Mindeststandards für sog. Extended Products (Pumpen, Ventilatoren und Kompressoren) • Koordiniertes Testen zur Marktüberwachung (Compliance) • Erarbeitung einer Motormarktdatenbank
Energy Management	Niederlande	• Untersuchung von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) in Energiemanagementsystemen • Untersuchung von Möglichkeiten zur Finanzierung von Projekten zur Optimierung von Motorsystemen im Rahmen von Contracting
Energy Audits for Motor-systems	Österreich	• Erfahrungsaustausch zu Energieauditprogrammen • Empfehlungen zur Durchführung von Energieaudits in Unternehmen • Empfehlungen zur Nutzung von Tools und Einsparbewertung
Motor Systems Tool Dissemination	Dänemark	• Übersetzung in weitere Sprachen (deutsch, chinesisch, spanisch, polnisch) • Entwicklung von Materialien zur Unterstützung der Anwender
SEAD Cooperation	USA	Super-Efficient Equipment and Appliance Deployment (SEAD), ein Projekt im Rahmen der Clean Energy Ministerial: • Entwicklung einer Plattform zum Austausch über Marktüberwachung von Motorpolitiken und Normen • Einbringen der Expertise aus EMSA in SEAD

Die Österreichische Energieagentur leitete 2014 bis 2017 den Task *Energy Audits for Motorsystems*. Dabei wurden Empfehlungen zur Durchführung von Energieaudits für Motorsysteme aufbauend auf bestehenden Normen definiert. Darüberhinaus beteiligte sich Österreich u.a an den Verbreitungsaktivitäten des Annexes, insbesondere durch nationale Newsletter und die Organisation der Fachtagung zur nationalen Verbreitung der internationalen Ergebnisse.

3.2. Beschreibung der Projektziele (bezogen auf das Kooperationsprojekt und auf das österreichische Teilprojekt)

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 Technikern, Motorsystem-Anwendern in der Industrie und bei Energieauditoren.

Aktuell (bis Oktober 2017) umfasste die österreichische Beteiligung insbesondere die Leitung des Tasks *Energy Audits for Motor Systems*. Folgende Tätigkeiten wurden dabei verfolgt:

- Analyse der Normen und Empfehlungen zur Durchführung von Energieaudits in verschiedenen Ländern inkl. der Qualifikationskriterien für Energieauditoren
- Erarbeitung von Empfehlungen für die Durchführung von Energieaudits in Motorsystemen unter Berücksichtigung des gesamten Auditprozesses von der Datenerhebung über Datenanalyse inkl. Messung und Einsparbewertung und Bericht.

Außerdem erfolgte die Information österreichischer Akteure per Newsletter, Website, Direktkontakt und einer Fachtagung.

Österreich nimmt auch an den halbjährlichen Annex-Meetings teil. Diese dienen dem Erfahrungsaustausch internationaler Experten zum Thema energieeffiziente Motorsysteme. Schwerpunkte liegen dabei auf

- neuen Testmethoden, auch für neue Motor-Technologien wie Permanentmagnet-Motoren 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.

3.3. Beschreibung der verwendeten Methodik, Daten und Vorgangsweise

Zur Erreichung der oben angeführten Ziele wurden folgende Methoden und Vorgangsweisen gewählt.

Zunächst erfolgte innerhalb des Tasks ein Austausch zu Informationen über die Implementierung von Energieauditprogrammen mit Schwerpunkt Motorsystemen in den USA, Australien, Niederlande, Dänemark, Österreich und Schweiz als Teilnehmerländer des *Annex Electric Motor Systems* und Japan.

Konkret wurden internationale und nationale Anforderungen an die Durchführung von Energieaudits, Normen für die Qualifikation von Energieauditoren und vorhandene Werkzeuge für Energieaudits in Motorsystemen (z.B. Leitfäden, Erhebungsbögen, Berechnungswerkzeuge, Berichtsvorlagen) erhoben.

Weiters erfolgte die Analyse bestehender Energieauditnormen (EN 16247 Teile 1-5, ISO 50002) und die Spezifizierung von Punkten, die bei Energieaudits von Motorsystemen berücksichtigt werden müssen, um den Normen zu entsprechen. Es wurden auch die Differenzen zwischen den allgemeinen Normen zu Energieaudits und speziellen Normen (bzw. Leitfäden) zu Energieaudits für Motorsysteme (ISO 11011) aufgezeigt.

Basierend auf den Ergebnissen der oben beschriebenen Tätigkeiten wurde ein Leitfaden zur Durchführung von Energieaudits in Motorsystemen erstellt. Dieser Leitfaden gibt einen systematischen und umfassenden Überblick, wie verfügbare Normen und Werkzeuge für ein Motorsystemaudit genutzt werden können. Er beinhaltet u.a. zu erhebende Daten, Schlüsselindikatoren für Einsparmaßnahmen in Motorsystemen, Beschreibung und Entwicklung von Methoden zur Bewertung der

Einsparmaßnahmen, Vorschläge für die Bewertung von Einsparmaßnahmen für Motorsysteme und Definition von notwendigen Daten und Messungen für die Einsparberechnung. Darüber hinaus enthält der Leitfaden die Beschreibung von bereits bestehenden Werkzeugen, die die Durchführung von Energieaudits in Motorsystemen unterstützen, darunter das *EMSA Motor Systems Tool*, Werkzeuge von Topmotors (ein von EnergieSchweiz unterstütztes Umsetzungsprogramm für effiziente Antriebssysteme in der Schweiz) und Informationen aus den klimaaktiv Leitfäden zu Motorsystemen.

4. Ergebnisse des Projekts

Die Österreichische Energieagentur (AEA) leitete den Task *Energy Audits for Motor Systems* und erstellte in enger Abstimmung mit den anderen Annex-Teilnehmern die beiden Dokumente

- *Working Document Energy Audits for Motor Driven Systems, Part 1*
- *Energy Audit Guide for Motor Driven Systems, Recommended Steps and Tools.*

Weiters wurden der von der AEA bereits im Vorprojekt erstellte Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren aktualisiert, die Elektromotoren-Fachtagung *Internationale Rahmenbedingungen und Entwicklungen für mehr Energieeffizienz* organisiert, sechs nationale Newsletter und drei wissenschaftliche Fachbeiträge für drei Konferenzen erstellt.

Dieses Kapitel stellt einige der wichtigsten Ergebnisse, die im Detail in den erwähnten Dokumenten enthalten sind, in deutscher Sprache in kompakter Form dar.

4.1. Erfahrungsaustausch, Normenanalyse

Dieses Unterkapitel präsentiert die wichtigsten Ergebnisse des Erfahrungsaustauschs zu Energieaudits in verschiedenen Ländern und der Analyse der Normen zur Durchführung von Energieaudits im Bereich Motorsysteme. Die gesamten Ergebnisse in englischer Sprache wurden im Working Document *Energy Audits for Motor Driven Systems, Part 1* detailliert festgehalten (Kulterer, 2016).

In den von dieser Analyse erfassten EU-Ländern (Dänemark, Niederlande, Österreich) ist die Durchführung von Energieaudits für große Unternehmen lt. Energieeffizienz-Richtlinie der EU (RL 2012/27) verpflichtend. In Japan müssen Unternehmen mit großem Energieverbrauch ihre Tätigkeiten zur Reduktion des Energieverbrauchs nachweisen, den Energieverbrauch berichten und einen Energiemanager bestimmen. In Australien mussten bis 2014 große Unternehmen ihren Energiebedarf bewerten und ihren Energieverbrauch berichten.

In Dänemark, den Niederlanden, der Schweiz und den USA sind Energieaudits in freiwillige Vereinbarungen eingebunden. Bei einem Beitritt zur Vereinbarung müssen sich die Unternehmen bestimmte Ziele setzen und erfüllen sowie Energieaudits durchführen.

Dänemark, Japan, Österreich, die USA und auf regionaler Ebene die Niederlande haben ein Förderprogramm für Energieaudits in Klein- und Mittelunternehmen. Die Schweiz fördert motorspezifische Energieaudits. In den meisten Ländern ist die erforderliche Qualifikation von Energieauditor:innen spezifiziert.

In einem zweiten Schritt wurden die wichtigsten Normen im Bereich Energieaudits und Messung und Verifizierung von energetischer Leistung und Energieeinsparungen analysiert und untersucht, ob

Motorsysteme bereits behandelt werden. Tabelle 4-1 gibt für jede analysierte Norm die wichtigsten Inhalte wieder.

Tabelle 4-1: Internationale Normen, Protokolle und Leitfäden zu Energieaudits und Messung und Verifizierung von Einsparungen und energetischer Bewertung

Internationale Norm Protokoll	Titel der Norm/ des Dokuments	Inhalt relevant für Audits und Messung vor Ort Relevanz für Motorsysteme	Motorsysteme explizit erwähnt?
Energieaudit-Normen			
ISO 50002 (nur in Englisch)	Energieaudits – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung	Definiert den Ablauf von Energieaudits	Ja, als ein Beispiel
EN 16247-1	Energieaudits - Teil 1: Allgemeine Anforderungen	Aufbau sehr ähnlich zu ISO 50002	
EN 16247-2	Energieaudits - Teil 2: Gebäude	Motorsysteme (ausgenommen Klimaanlage) werden nicht im Detail angeführt	Nein
EN 16247-3	Energieaudits - Teil 3: Prozesse	Definiert den Ablauf eines Energieaudits in Produktionsbetrieben, gibt Details, wie Daten gesammelt und analysiert werden und enthält Beispiele für Einsparmaßnahmen	Ja
EN 16247-5	Energieaudits - Teil 5: Kompetenz von Energieauditoren	Spezifiziert die Anforderungen an die Kompetenz von Energieauditoren	Ja
ISO 11011	Druckluft-Energieeffizienz-Bewertung	Spezifiziert die Anforderungen an eine Druckluft-Energieeffizienz-Bewertung	Ja
ISO 14414	Energetische Bewertung von Pumpensystemen	Spezifiziert die Anforderungen an eine Pumpen-Energieeffizienz-Bewertung	Ja
Normen zur Messung der energiebezogenen Leistung			
ISO 50006 (Entwurf)	Energiemanagementsysteme - Messung der energiebezogenen Leistung unter Nutzung von energetischen Ausgangsbasen (EnB) und Energieleistungskennzahlen (EnPI) – Allgemeine Grundsätze und Leitlinien	Beschreibt den Ablauf der Berechnung der energetischen Leistung mit Energieleistungskennzahlen und führt Beispiele für EnPI im Bereich Motorsysteme an	Ja
ISO 50015 (nur Englisch, Französisch)	Energiemanagementsysteme - Messung und Verifizierung der energiebezogenen Leistung von Organisationen – Allgemeine Grundsätze und Anleitung	Beschreibt die Elemente eines Mess- und Verifizierungsplans, im Speziellen für die Messung von Energieeinsparmaßnahmen	Nein
Protokolle und Leitfäden zur Messung und Verifizierung			
IPMVP	International Performance Measurement and Verification Protocol	Gibt die Methode an, wie Energieeinsparungen auf Basis von Messungen zu berechnen sind - mit Beispielen für Motorsysteme	Ja

Internationale Norm Protokoll	Titel der Norm/ des Dokuments	Inhalt relevant für Audits und Messung vor Ort Relevanz für Motorsysteme	Motorsysteme explizit erwähnt?
FEMP M&V Guidelines 3.0	Kein Langtitel	Beinhaltet Leitlinien für die Quantifizierung von Einsparungen für effiziente Anlagen im Rahmen von Einsparcontracting für Bundesgebäude in den USA, z.B.: • E-Motoren (konst. Drehzahl) • Drehzahlgeregelte Motoren • Kälteanlagen	Ja
NSW Measurement and Verification Operational Guide	NSW Measurement and Verification Operational Guide	Beschreibt den Prozess der Messung von Energieeinsparungen; detaillierte Leitfäden für Motorsysteme (Pumpen, Druckluft, Lüftung, Kälte) inkl. der zu berücksichtigenden Variablen	Ja

Die folgenden Punkte wurden zu jeder dieser Normen im *Working Document Energy Audits for Motor Driven Systems, Part 1* analysiert und dokumentiert:

- Ziel der Norm
- Ausgewählte wichtigste Begriffsdefinitionen, relevant für die Beurteilung von Energiesystemen
- Relevanter Inhalt für das Auditieren und für das Messen von Motorsystemen
- Werden Motorsysteme explizit erwähnt?
- Beispiele für das Auditieren, Messen und Berechnen von Energieeinsparungen (z.B. in Motorsystemen).

Die Analyse zeigt, dass für die Durchführung von Energieaudits in Motorsystemen alle Anforderungen der ISO 50002, welche eine Vielzahl von allgemeinen Informationen enthält, relevant sind. Weiters berücksichtigen viele verschiedene Normen und Protokolle Motorsysteme bereits als große Energieverbraucher. Zwei Normen beschreiben bereits die Durchführung von Energieaudits in Druckluft- und Pumpensystemen.

Im Allgemeinen fehlen in den analysierten Energieaudit-Normen jedoch folgende Informationen:

- Parameter für die erste Bestimmung von Energiesparmaßnahmen (mit Ausnahme des Annexes von ISO 14414)
- Kriterien für die Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen
- Berechnungsformeln für die Beurteilung der Energieeinsparung durch die Umsetzung von bestimmten Energieeinsparmaßnahmen (mit Ausnahme des Annexes der ISO 14414).

Auch Protokolle und Leitfäden zur Bestimmung der energetischen Leistung beinhalten bereits Motorsysteme als Beispiel oder bieten bereits spezifische Vorgaben für Einsparmaßnahmen in diesem Bereich. Da die Messung von Energieeinsparungen bereits vor Umsetzung der Maßnahmen beginnen muss, sind das wichtige Informationen für die Datenerhebung während des Energieaudits.

Derzeit fehlt ein Überblick der einzelnen Forderungen aus den unterschiedlichen Normen und Leitfäden in einem konkreten Ablaufschema, die konkrete Nutzung der erwähnten Leitfäden und Normen bei den Audits vor Ort und das Interesse der Kunden, Audits in diesem Detaillierungsgrad durchführen zu lassen.

4.2. Zusammenfassung Energieauditleitfaden

Dieses Unterkapitel präsentiert die wichtigsten Inhalte aus dem Energieauditleitfaden für Motorsysteme. Der gesamte Leitfaden in englischer Sprache wurde als *Energy Audit Guide for Motor Driven Systems, Recommended Steps and Tools* (Kulterer, Presch, 2017) veröffentlicht.

4.2.1. Hintergrund und Ziele

Energieaudits sind ein wichtiges Instrument zur Steigerung der Effizienz von Motorsystemen: Ein Energieaudit ist eine systematische Analyse des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs innerhalb eines definierten Systems mit dem Ziel, das Potenzial für Energieeffizienzverbesserungen zu identifizieren. Es ist daher ein Instrument, um Optimierungspotenziale für bestehende, in Betrieb befindliche Motorsysteme zu erkennen. Ein umfangreiches Audit sollte überdimensionierte, alte und ineffiziente Anlagen bzw. Anlagen, die ohne geeignete Steuerung/mit falscher Steuerungsstrategie betrieben werden, oder Leckagen und ungeeignete Anwendungen identifizieren. Darüberhinaus können das Reduzieren der Laufzeit oder das Abschalten von Anlagen, wenn diese nicht benötigt werden, zu bedeutenden Energieeinsparungen führen.

Der Leitfaden gibt einen systematischen und umfassenden Überblick, wie verfügbare Normen und Werkzeuge für ein Motorsystem-Audit genutzt werden können. Dies soll Energieauditoren helfen, unter Beachtung aller relevanten Normen, die wichtigsten Energieeinsparungspotenziale in diesen Systemen zu identifizieren und zu berechnen. Das Dokument zielt darauf ab, dass Energieauditoren, Energieberater, Energiemanager und Ingenieure die Einsparziele in Motorsystemen in industriellen Anlagen erreichen. Obwohl der Leitfaden auf industrielle Anlagen abzielt, ist die meiste Information auch in anderen Bereichen anwendbar, z.B. in Abwasser- oder Bewässerungsanlagen.

Das Dokument ist anhand der Energieauditschritte gem. ISO 50002 strukturiert und beinhaltet organisatorische und technische Aufgaben, die während des Audits durchzuführen sind. Für jeden dieser Schritte wird auf die relevanten Normen, Leitfäden und Tools verwiesen, und es wird beschrieben, wie diese im Audtablauf zu verwenden sind.

Darüberhinaus beinhaltet es die folgenden Informationen:

- Technologiespezifische Indikatoren für die Bestimmung geeigneter Einsparmaßnahmen
- Einsparbewertungsmethoden.

4.2.2. Überblick über den Audit-Leitfaden

Das erste Kapitel des Leitfadens definiert Umfang und Ziel, das zweite Kapitel umfasst einen Überblick über die verschiedenen Auditschritte. Die Kapitel drei bis neun beinhalten den wesentlichen Teil des Leitfadens: die detaillierte Information für jeden Schritt in unterschiedlichen Unterkapiteln vom ersten Schritt *Akquisition und Energieauditplanung* bis zu Schritt neun *Verknüpfung zum Energiemanagement*.

Der umfassende Anhang beinhaltet Checklisten für die Auditplanung, Datenerhebungsbögen für unterschiedliche Technologien, einen Überblick über mögliche Messpunkte, Indikatoren und Berechnungsformeln für die wichtigsten Energieeinsparmaßnahmen und einen Überblick über Elemente eines Plans zur Messung und Verifizierung von Energieeinsparmaßnahmen.

Abbildung 4-1: Schritte der Energieauditmethode inkl. Unterstützungsmaterialien

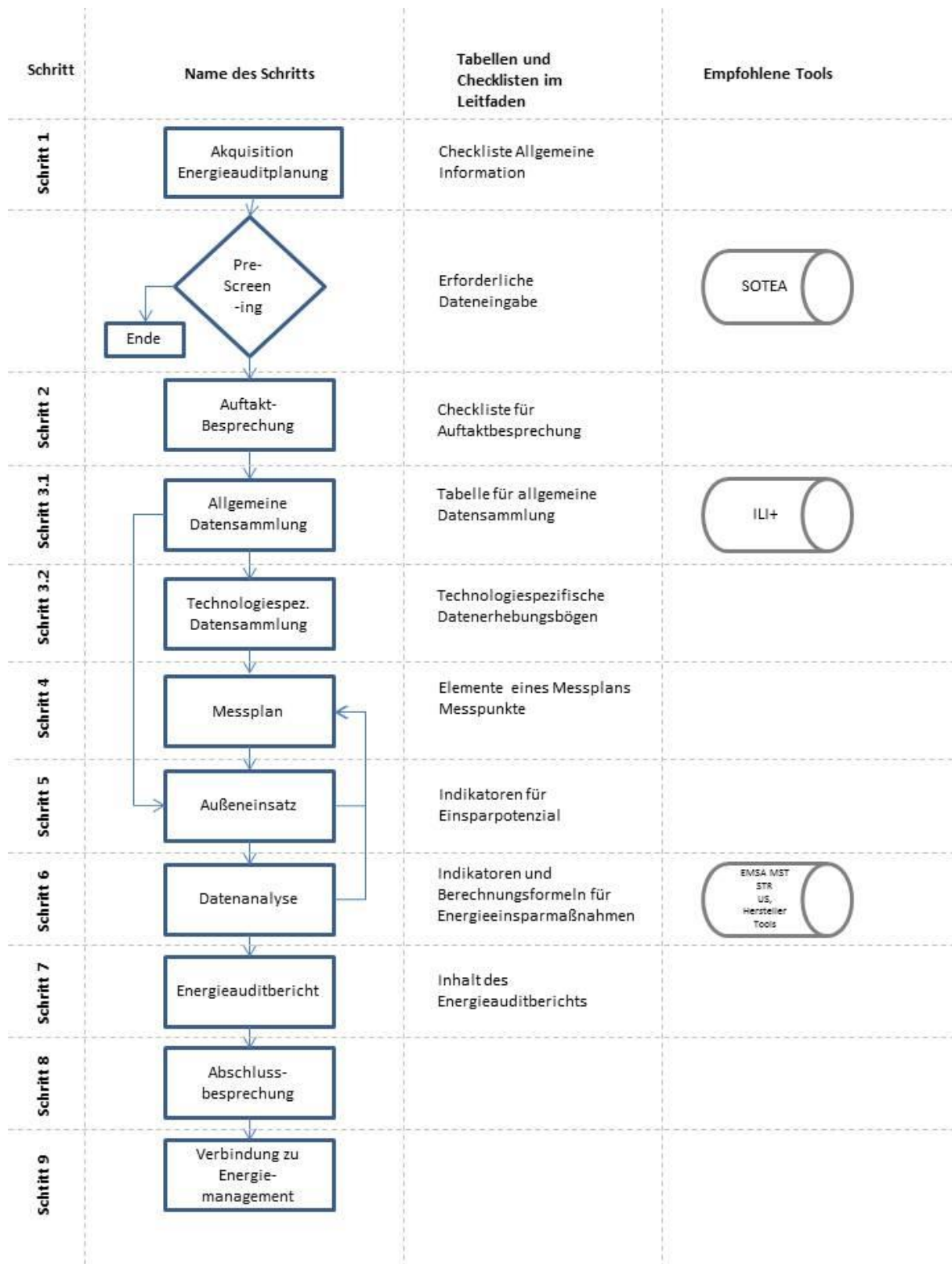


Abbildung 4-1 zeigt die gesamte Energieauditmethode für Motorsysteme. Die Rechtecke im Flow-Chart stehen für die neun Schritte der Auditmethode, die Spalte daneben zeigt die Checklisten, Tabellen und zusätzliche Informationen zur Unterstützung des Auditors, die in diesem Bericht enthalten sind. Zusätzlich sind weitere Tools für jeden Auditschritt abgebildet, die während der unterschiedlichen Phasen angewendet werden können.

Die neun wesentlichen Schritte der Energieauditmethode für Motorsysteme sind nachfolgend aufgelistet und werden im Detail in den folgenden Kapiteln des Leitfadens beschrieben:

- Schritt 1: Akquisition und Energieauditplanung
- Schritt 2: Auftakt-Besprechung
- Schritt 3: Datensammlung
- Schritt 4: Messplan
- Schritt 5: Außeneinsatz
- Schritt 6: Analyse
- Schritt 7: Energieauditbericht
- Schritt 8: Abschlussbesprechung
- Schritt 9: Verbindung zu Energiemanagement.

Die Beschreibung der Methode beinhaltet alle organisatorischen und technischen Aspekte sowie verfügbaren Werkzeuge, die den Energieauditor während der einzelnen Schritte unterstützen können.

In folgendem Abschnitt sind ausgewählte Inhalte des Leitfadens für Energieaudits in Motorsystemen dargestellt.

4.2.3. Auditplanung

Der erste Schritt des Energieaudits ist die Planung des Energieaudits. Die Planung kann, muss aber nicht vor Ort geschehen. Besonders wenn der Zeitaufwand zu hoch und die Reisedistanzen zu lang sind, kann Email- oder Telefonkorrespondenz gegenüber einem persönlichen Treffen bevorzugt werden.

In dieser Phase sollen der Energieauditor und das zu auditierende Unternehmen die Ziele, Erfordernisse und Erwartungen des Unternehmens hinsichtlich des Energieaudits definieren und den Umfang des Audits festlegen. Die Ergebnisse dieser ersten Planung sollten schriftlich festgehalten werden, um als Inhalt für ein mögliches Angebot des Auditors oder intern für die Freigabe weiterer Schritte genutzt werden zu können.

Themen, die zu diesem Zeitpunkt geplant oder gesammelt werden sollten, sind:

- Der erforderliche Zeitumfang, um das Audit durchzuführen
- Notwendige Ressourcen der Organisation (Zeit, verfügbare finanzielle Mittel für das Energieaudit)
- Verfügbare Daten vom Unternehmen (Pläne, historische Energieverbräuche, Messungen)
- Kopien und Zusammenfassungen bereits umgesetzter Effizienzmaßnahmen von vergangenen Effizienzstudien

- Unternehmensverantwortliche für den Energieauditprozess.

Zusätzlich kann ein Energieauditor Informationen anfordern, um die Rahmenbedingungen für das Energieaudit zu definieren, z.B. gesetzliche Anforderungen, Pläne für eine zukünftige Betriebserweiterung, Anlagenverbesserungen oder Ersatzinvestitionen, die die energetische Leistung des Unternehmens beeinflussen, Managementsysteme oder spezielle Überlegungen, die den Auditanwendungsbereich, den Auditprozess und seine Schlussfolgerungen ändern könnten (EN ISO 50002, S. 6-7).

Weitere relevante Fragen, die während dieses Schritts beantwortet werden sollten, sind:

- Interessiert sich das Management des Unternehmens allgemein für das Thema?
- Ist ein Energieaudit für elektrische Motorsysteme für das Unternehmen überhaupt sinnvoll?
- Gibt es ausreichend Einsparpotenzial?
- Kann das Unternehmen den Auditor unterstützen?
- Welche Kriterien werden für die Reihung und/oder Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen verwendet?
- Gibt es ausreichende finanzielle Ressourcen, um Effizienzmaßnahmen umzusetzen?

Weitere Fragen spezifisch für Motorsysteme, um den Umgang mit Motoren innerhalb des Unternehmens zu verstehen, sind z.B. (persönliche Kommunikation mit Gil Mc Coy, 2017):

- Hat das Facilitymanagement eine elektronische Datenbank für die Motoren im Betrieb und jener, die auf Lager liegen? (Falls ja, ist diese Liste vom Auditor anzufordern.)
- Verfolgt das Unternehmen eine vorbeugende oder vorausschauende Wartung und Instandhaltung?
- Werden alle neuen Motoren von einem Hersteller beschafft?
- Hat das Unternehmen eine Reparatur-/Ersatzpolitik für Motoren bei ihrem Ausfallzeitpunkt?
- Werden ausgefallene Motoren vor Ort repariert oder zu einer Reparaturwerkstatt geschickt?
- Werden die Spezifikationen für neue Anlagen durch Personal vor Ort festgelegt oder durch das Personal eines Mutterunternehmens?
- Welches Energieversorgungsunternehmen hat das Unternehmen und welche Tarife bestehen für Energieverbrauch und Leistungsbezug? Bietet das Energieversorgungsunternehmen Anreize für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen?
- Hat das Unternehmen ein Kraft-Wärme-Kopplungs-Kraftwerk?

Sammlung allgemeiner Informationen über das Unternehmen

Zunächst müssen allgemeine Daten über das Unternehmen gesammelt werden. Der Anhang des Leitfadens enthält dazu eine Checkliste mit den wichtigsten zu erhebenden Informationen, wie z.B. Unternehmensadresse, Anzahl der Mitarbeiter, Anwendungsgebiet der Motoren, Betriebszeiten, Name und Funktion der Kontaktperson. Die meisten Fragen können durch Webrecherche, durch den Auditor selbst oder durch ein kurzes Telefonat mit dem Unternehmen geklärt werden.

Pre-Screening

Falls die Suche und Bewertung von Einsparpotenzialen im Unternehmen das wichtigste Thema des Audits sein wird, sollte dieses Potenzial auf Basis des Stromverbrauchs, des Strompreises und damit der gesamten Stromkosten abgeschätzt werden. Der Anteil des Stroms, der von elektrischen Motorsystemen umgewandelt wird, kann zur Abschätzung dienen, wie viel Geld zum Betrieb von

elektrischen Motoren im jeweiligen Unternehmen erforderlich ist: 70 % des gesamten elektrischen Energiebedarfs ist im Durchschnitt in Produktionsbetrieben für elektrische Motoren erforderlich. (IEA, OECD, 2016). Auf nationaler Basis kann dies sogar höher sein - z.B. liegt dieser Anteil in Österreich bei 75 %. In unterschiedlichen Branchen haben diese Werte eine höhere Bandbreite (siehe Tabelle 4-2 für das Beispiel von Österreich). Dieser Anteil kann besonders in Branchen, in denen weitere große elektrische Verbraucher für thermische Anwendungen wie Öfen oder Metallgießen installiert sind, geringer sein.

Tabelle 4-2: Anteil des Stromverbrauchs für elektrische Motorsysteme für Sektoren in Österreich (Statistik Austria, 2017)

Branchen	Anteil elektrischer Motorsysteme am Stromverbrauch
Holzverarbeitung	93 %
Chemie und Petrochemie	92 %
Papier und Druck	90 %
Nahrungs- und Genussmittel, Tabak	80 %
Textil und Leder	80 %
Bergbau	76 %
Sonstiger produzierender Bereich	75 %
Eisen- und Stahlerzeugung	68 %
Fahrzeugbau	65 %
Steine und Erden, Glas	62 %
Maschinenbau	54 %
Bau	47 %
Nicht-Eisen-Metalle	33 %

Der zweite Indikator ist das Alter der Motoren. Die Einschätzung des Alters kann durch folgende Fragen erfolgen: Wann wurde die Produktionsanlage (oder bestimmte Teile davon) gebaut, wann war die letzte große Erneuerung der elektrischen Anlagen (Topmotors, 2015)? Eine andere Quelle könnte die Analyse der vergebenen Identifikationsnummern der Motoren sein. Manche Betriebe vergeben die Nummern chronologisch, andere vergeben die ID-Nummer eines kaputten Motors an den Ersatzmotor weiter. Dies erschwert die Beurteilung des Alters des Motorbestandes (persönliche Kommunikation, McCoy 2017). Basierend auf diesen Informationen kann eine grobe Einschätzung des Einsparpotenzials erfolgen.

Genau für diesen Schritt wurde von Topmotors das kostenfreie *Software-Tool zur Potenzialabschätzung Elektrischer Antriebe* (SOTEA) (Topmotors, 2015) entwickelt. Tabelle 4-3 enthält die wichtigsten erforderlichen Daten.

Tabelle 4-3: Erforderliche Daten für das SOTEA Tool

Erforderliche Daten	
Allgemein	
Sprache	Englisch
Währung	EUR
Umsatz	
Anzahl Arbeitsplätze	
Anteil Büroarbeitsplätze	
Strom	
Verbrauch Elektrizität	[kWh/a]
Preis elektrische Energie (typischer Arbeitspreis)	[EUR/kWh]
Kosten elektrische Energie	[EUR/a]
Wann wurden zum letzten Mal große Teile des elektrischen Maschinenparks erneuert?	

Nach der Dateneingabe kann SOTEA den Verbrauch und das Energieeffizienzpotenzial für elektrische Motorsysteme im jeweiligen Unternehmen berechnen. Basierend auf dieser Information kann das Unternehmen entscheiden, ob es mit dem Energieaudit fortfahren möchte oder nicht.

4.2.4. Auftakt-Besprechung

Falls das Energieeinsparpotenzial im Bereich elektrischer Motoren als hoch genug eingestuft wurde, kann der technische und finanzielle Rahmen für das Audit definiert werden. Die Auftakt-Besprechung kann das erste physische Zusammentreffen zwischen dem Energieauditor und dem Verantwortlichen des Unternehmens sein. Wie bereits oben angeführt, kann der Auditor auch während des Schritts *Audit-Planung* das Unternehmen besuchen. In solch einem Fall können bereits während dieser Besprechung einige Punkte, die in diesem Kapitel angeführt sind, geklärt werden.

In diesem Schritt informiert der Energieauditor interessierte Parteien über das Einsparpotenzial von elektrischen Motorsystemen, den definierten Anwendungsbereich, die Grenzen und Methoden.

Tabelle 4-4 ist eine Checkliste für dieses Meeting und wird im Leitfaden näher beschrieben.

Tabelle 4-4: Checkliste für die Auftakt-Besprechung (basierend auf EN ISO 50002, 2014, S. 7)

Vor dem Meeting	
Einladung verantwortlicher Personen zur Auftaktbesprechung	☐
Vorbereiten von Dokumenten für die Auftaktbesprechung	☐
Während des Meetings	
Überzeugung des Topmanagements	☐
Der Auditor soll vom Unternehmen anfordern:	
Definition des Anwendungsbereichs, der Grenzen und der Methoden für das Energieaudit	☐
Nominieren einer Person, die innerhalb der Organisation für das Energieaudit verantwortlich ist	☐
Benennung von Personen, die den Energieauditor unterstützen	☐
Sicherstellung der Zusammenarbeit betroffener Kreise	☐
Information über unübliche Bedingungen, die während des Energieaudits auftreten werden	☐
Der Energieauditor muss mit dem Unternehmen Folgendes vereinbaren:	
Vorkehrungen bezüglich des Zugangs für den Energieauditor, Geheimhaltungsvereinbarungen	☐
Anforderungen für Gesundheit, Arbeitnehmerschutz, Sicherheit (z.B. erforderliche Unterweisungen, Stahlkappenschuhe)	☐
Verfügbarkeit finanzieller Mittel	☐
Zu befolgende Vorgehensweise für die Installation von Messgeräten (z.B. durch Betriebselektriker, spezielle Ausrüstung)	☐
Aktionsplan	
Entwicklung eines Aktionsplans für das Energieaudit	☐
Festlegung des Aktionsplans durch das Audit-Team und das Topmanagement	☐

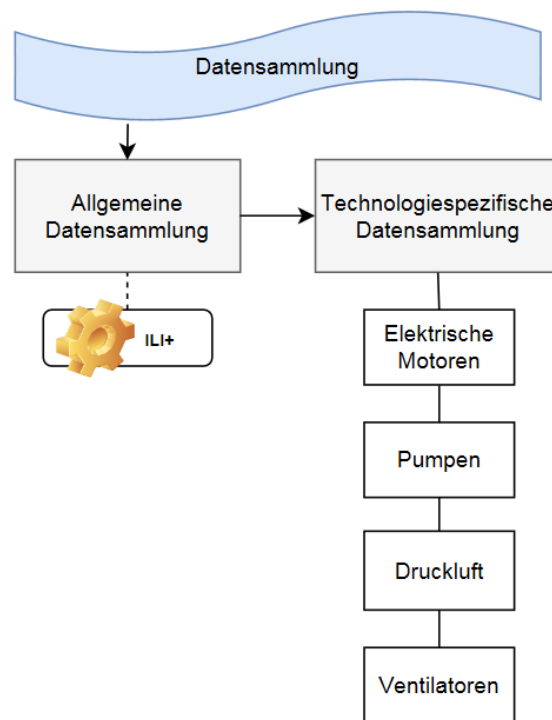
Bezüglich elektrischer Motoren und Energiemanagement sollte geprüft werden, ob das Unternehmen Elemente einer unternehmensweiten Motorpolitik umgesetzt hat (z.B. Einkaufskriterien, Motorliste, Anforderungen an Reparatur und Wartung und Instandhaltung).

4.2.5. Datensammlung

Der Schritt Datensammlung der Energieauditmethode besteht aus zwei Schritten (siehe auch Abbildung 4-2):

- Schritt 1, die von der Anwendung unabhängige oder allgemeine Datensammlung von elektrischen Motorsystemen
- Schritt 2, die technologiespezifische Datensammlung für die im 1. Schritt ausgewählten Systeme.

Abbildung 4-2: Überblick über die zwei Schritte der Datensammlung



Allgemeine Datensammlung für elektrische Motorsysteme

Der erste Schritt in der Datensammlung besteht darin, eine grobe Analyse bestehender Daten bezüglich elektrischer Motorsysteme durchzuführen. Dazu werden allgemeine Daten sowie Daten für jeden Motor, z.B. in einem Excel-File, gesammelt.

Tabelle 4-5: Allgemeine Daten, die für alle Motorsysteme gesammelt werden sollten

Erforderliche Daten	Beispiel
ID Nummer des Motors	1
Jahr der Herstellung, des Kaufs oder der Installation	1999
Betriebsstunden	3.000
Frequenzumrichter gesteuert?	Nein
Nennleistung	100 [kW]
Anzahl der Pole	4
Angetriebene Maschine	Förderband

Obwohl dies der Schwerpunkt der nachfolgenden technologiespezifischen Datensammlung ist, kann es sinnvoll sein, bereits während des ersten Schritts alle Daten des Motortypenschilds zu sammeln: Schutzklasse des Gehäuses, Nennspannung, Nennstrom, Lagertyp, Wirkungsgrad bei Voll-Last. Falls keine Effizienzklassifizierung angegeben ist, entspricht der Motor den Effizienzklassen IE1 oder IE0. Zusätzlich sollten spezielle Eigenschaften des Motors gesammelt werden wie z.B. Eignung für ein hohes Drehmoment oder für explosionsgefährdete Bereiche.

Reihung des Motors, intelligente Motorliste

Die Motoren in der Liste können dann nach einer Mischung aus Kriterien wie z.B. Alter des Motors (z.B. über 10 Jahre), Motor-Nennleistung (z.B. Fokus auf Leistungsbereich von Asynchronmotoren mit 37 bis 375 kW) und Laufzeit (z.B. über 3.000 h) gereiht werden.

Für die automatisierte Analyse bestehender elektrischer Motorsysteme mit dem Fokus auf Energieeffizienz und mögliches Einsparpotenzial wurde die "Intelligente Motorliste" (ILI+) von Topmotors entwickelt (verfügbar auf www.topmotors.ch).

Der Auditor wählt dazu folgende Kriterien aus:

- Alter des Motors
- Betriebsstunden pro Jahr
- Nennleistung
- Motor ohne Frequenzumrichter
- Anwendungstyp (Pumpe, Ventilator, Druckluftkompressor, Kältekompressor, andere etc.).

Das ILI+ Tool listet dann jene Motoren auf, die den oben genannten Kriterien entsprechen.

Technologiespezifische Datensammlung

Die Auswahl jener Systeme, für die detailliertere Daten gesammelt werden, basiert auf dem ersten Schritt, aber zusätzlich werden auch weitere technologiespezifische Kriterien berücksichtigt. Der Leitfaden enthält für jede Technologie jene Kriterien, die die Auswahl der näher zu untersuchenden Systeme erleichtern sollen. Außerdem sind die zu erhebenden spezifischen Daten in Datenerhebungsbögen im Anhang angeführt.

Für die technologiespezifische Datensammlung werden Motorsysteme in folgende Technologien unterschieden:

- Elektrische Motoren
- Pumpsysteme
- Ventilatorsysteme
- Druckluftsysteme.

(Anmerkung: Aufgrund des Umfangs der Bewertung von Kältesystemen wurde diese Technologie vorerst ausgeklammert).

Als Beispiel für die genannten Technologien, die im Leitfaden detailliert behandelt werden, sind einige Informationen zur Datensammlung von elektrischen Motoren angeführt:

Die detaillierte Datensammlung sollte sich auf Motoren mit folgenden Eigenschaften konzentrieren, die während des Außeneinsatzes in Zusammenarbeit mit den relevanten Kontaktpersonen des Unternehmens, z.B. aus dem Facilitymanagement, überprüft werden (UNIDO; 2015):

- Motoren mit hohem Energieverbrauch
- Alte Motoren
- Motoren mit hohem Wartungsaufwand
- Wechselnde Lastanforderung bei fixer Drehzahl
- Betriebsmittelprozesse (keine Herstellprozesse)
- Möglichkeit, die vorgeschlagenen Effizienzmaßnahmen mehrfach anzuwenden.

Zusätzlich zu den im Schritt *allgemeine Datensammlung* gesammelte Daten sollten für die ausgewählten Motoren folgende Daten erhoben werden:

- Allgemeine Motordaten, z.B. Art des Getriebes, Motortyp (Gleich-, Wechselstrom), Effizienzklasse, Hersteller
- Spezifische technische Daten des Motors, z.B. Motoren mit synchroner Drehzahl, Effizienz bei Voll-Last, Leistungsfaktor, Nennspannung, Nennstrom
- Lastprofil des Motors.

4.2.6. Messplan

Um ein Energieaudit durchzuführen, kann es sinnvoll und/oder notwendig sein, Messungen durchzuführen. Der Leitfaden enthält ein Kapitel mit ausführlichen Informationen dazu, insbesondere eine detaillierte Beschreibung der Elemente eines Messplans. Das Kapitel enthält auch Gründe für Messungen und nennt Punkte, die vor Erstellung des Messplans berücksichtigt werden sollen.

Auswahl zu messender Systeme

Es ist unmöglich, alle Systeme innerhalb eines Betriebs zur Beurteilung des Einsparpotenzials zu messen. Daher ist es notwendig, sorgfältig Systeme auszuwählen und die Punkte, die in diesem Kapitel beschrieben wurden, zu berücksichtigen. In weiterer Folge kann der Auditor schrittweise die erforderlichen Daten bis zur Präsentation der endgültigen Maßnahmen im Auditbericht genauer spezifizieren.

Nach dem Schritt *allgemeine Datensammlung*, bei dem die Vorauswahl von Motoren unter Verwendung von Typenschilddaten und abgeschätzter Betriebsstunden erfolgte, sollten die wichtigsten Energieverbraucher mittels Messungen bestimmt bzw. verifiziert und damit die Energieströme innerhalb des Betriebs festgestellt werden. Viele Unternehmen nutzen für diesen Schritt noch keine fix installierten Subzähler. Generell sind bei den größten Systemen auch die größten Einsparungen möglich.

Messungen sind außerdem sinnvoll, um Energieeinsparmöglichkeiten gezielt festzulegen. Für elektrische Anlagen ist zunächst eine Priorisierung erforderlich. Dazu wurden in den Schritten *Datensammlung* und *Außeneinsatz* Kriterien definiert. Oft können auch Mitarbeiter des Betriebs helfen, alte, wartungsaufwendige und möglicherweise auszutauschende Anlagen zu identifizieren.

Motoren und Systeme, die vor kurzem optimiert wurden und möglicherweise einen Frequenzumrichter installiert haben, müssen normalerweise nicht gemessen werden.

Messungen sind notwendig, um die Ausgangsbasis (den Basisenergieverbrauch), die energiebezogene Leistung des betreffenden Systems - inkl. durchschnittlicher Auslastung und Laufzeit - zu bestimmen und damit die Grundlage für die Energieeinsparbewertung zu schaffen.

Um die zu optimierenden Systeme im Detail zu verstehen, sind Messungen erforderlich:

- Generell, um die gegenwärtigen Betriebsbedingungen zu bestätigen
- Um Annahmen zu verifizieren, z.B. durch Kurzzeitmessungen an Systemen mit konstanten Betriebsbedingungen
- Um die Anpassung der Anlagen an die Lastanforderungen zu prüfen (insbesondere maximaler, minimaler, durchschnittlicher Lastpunkt, inkl. Start-Drehmoment)

- Um den Betriebspunkt auf einer Pumpen- oder Ventilator Kennlinie zu bestimmen
- Für Systeme mit konstanten Betriebsbedingungen mit Ein-/Aus-Regelung: Um die jährlichen Betriebszeiten festzustellen oder um die Informationen der Anlagenführer dazu zu verifizieren
- Für Systeme mit variablem Durchfluss: um zu verstehen, wie die Auslegung der Komponenten, die Leistung und Effizienz verbessert werden können und wie die Regelstrategie den Energiebedarf beeinflusst
- Um den Betrieb an Wochentagen und Wochenenden und während des Betriebsurlaubs zu verstehen oder den Unterschied im Energieverbrauch zwischen erster und zweiter Produktionsschicht und der Schicht zur Reinigung innerhalb eines Lebensmittelbetriebs
- Für Druckluftsysteme während des Betriebsstillstands zur Festlegung der Leckagenrate
- Um Lastverläufe sichtbar zu machen, falls Begrenzungen des elektrischen Leistungsbedarfs zu signifikanten Vorteilen für ein Unternehmen führen könnten.

4.2.7. Außeneinsatz

Der Außeneinsatz ermöglicht dem Energieauditor, den Energieeinsatz in Bezug auf das festgelegte Ziel und den Anwendungsbereich mit den vereinbarten Methoden zu bestimmen.

In dieser Phase generiert der Energieauditor Ideen und Möglichkeiten zur Verbesserung der Energieeffizienz z.B. durch technologische Änderungen oder durch eine andere Betriebsweise der Anlagen.

Während der Begehung beobachtet der Energieauditor die Anwendung von Energie innerhalb des Unternehmens und vergleicht diese mit den Informationen aus der Phase *Datensammlung*. Sehr oft ist nicht die gesamte Information verfügbar oder ist diese dem Unternehmensverantwortlichen nicht bekannt. Speziell Bereiche, für die ungenügende Informationen vorliegen, sollten vor Ort überprüft werden. Prozesse, für die zusätzliche Informationen erforderlich sind, sollten aufgelistet werden. Der Auditor sollte sich vergewissern, dass Messungen und Daten aus der Vergangenheit repräsentativ für die normalen Betriebsbedingungen sind. Informationen zum Betrieb und Nutzerverhalten können ebenfalls während der Begehung gesammelt werden.

Während der Begehung soll das Mess- und Monitoringequipment installiert und Zugang zu allen relevanten Dokumenten gewährt werden (ISO 50002, 2014, Kapitel 5.6.2., 5.6.3).

Während der Begehung sollte der Energieauditor Kriterien für Motorsysteme, die näher analysiert werden sollten, überprüfen und die Datenerhebungsblätter für die jeweiligen Systeme ausfüllen. Falls die Analyse der allgemeinen Daten bereits zeigte, dass Druckluftkompressoren relevant sind, sollte das Druckluftsystem jedenfalls analysiert werden.

Tabelle 4-6: Indikatoren für Einsparpotenzial, die während der Begehung überprüft werden sollten (UNIDO, 2012, ISO 14144, 2016)

Motor	Pumpen	Ventilatoren
• Motor mit hohem Energieverbrauch • Alte Motoren • Motor mit hohem Wartungsaufwand • Systeme mit variabler Last aber fixer Drehzahl • Betrieb in Unterspannung oder Spannungsasymmetrie im Betriebsnetz • Betriebsmittelanlagen • Möglichkeiten, zur Reproduktion der vorgeschlagenen Maßnahme • Ineffiziente Antriebsysteme (Schneckengetriebe u.ä.)	• Pumpen, die unabhängig der Prozessanforderungen laufen • Pumpen, bei denen eine signifikante Drosselung erfolgt • Pumpsysteme, die die Zirkulation des Förderstroms als Regelungssystem nutzen • Pumpsysteme mit großer Veränderung in Bezug auf Förderstrom und -druck • Mehrpumpensysteme, bei denen die Anzahl der betriebenen Pumpen nicht an sich ändernde Bedingungen angepasst wird • Systeme, die mehrere Endverbraucher versorgen, und der Verbraucher mit den geringsten Anforderungen die Druckanforderung festlegt • Kavitierende Anlagen • Pumpen, Motoren oder Rohrleitungen mit erheblicher Vibration • Geräte mit hohem Wartungsaufwand • Systeme, bei denen sich die funktionstechnischen Anforderungen mit der Zeit geändert haben, die Pumpen jedoch nicht (Pumpe ist nicht mehr an Systemanforderung angepasst) • Abgenutzte, korrodierte oder zerbrochene Laufräder • System mit niedrigem Effizienzindikator (manche Systeme haben aufgrund des geförderten Mediums niedrige Effizienz) • Verstopfte Rohrleitungen oder Pumpen • Festsitzende Ventile oder undichte Rückführventile • Dichtungssysteme, die bei hoher Temperatur Kühlung erfordern	• Betrieb ohne Bedarf • Variabler Bedarf (Regelstrategie, z.B. CO₂-Monitoring möglich?) • Wesentliche Änderung am System seit Installation (Änderung des Durchflusses über 20 %) • Konstante Drosselung • Abgenutzte, korrodierte oder gebrochene Ventilatorblätter • Druckverlust über Filter zu hoch • Luft wird von gesamter Halle abgezogen (anstatt betreffender Anlage) • Wartungsplan

4.2.8. Analyse

Die Evaluierung der energetischen Leistung eines bestehenden Systems erfordert umfangreiche Berechnungen. Um Techniker und Energieauditoren bei der Beurteilung dieser Systeme zu unterstützen, sind im Leitfaden die wichtigsten Einsparmaßnahmen für Motorsysteme angeführt (siehe Tabelle 4-7).

Tabelle 4-7: Wichtigste Einsparmaßnahmen für einzelne Technologien

Elektrisches Motorsystem	Wichtigste Einsparmaßnahmen
Motoren	Abschalten Installation eines Frequenzumrichters Ersatz des Motors (korrekte Dimensionierung, angepasst an die Last) Ersatz des Getriebes (Antriebs)
Pumpen	Reduktion der Laufzeit Optimierte Regelung von Pumpen Motor-/Pumpenersatz Reduktion der statischen Förderhöhe Reduktion der dynamischen Förderhöhe (Verbesserung des Verteilnetzes) Reduktion des Förderstroms
Ventilatoren	Reduktion der Laufzeit von Ventilatoren Anpassung des Förderstroms Installation eines Frequenzumrichters Ersatz von Motoren und Ventilatoren Ersatz des Transmissionssystems Wärmerückgewinnung Wartung, Reduktion von Druckverlust
Druckluft	Reduktion von Leckagen Optimierung des Systemdrucks Änderung der Steuerstrategie/Reduktion der Leerlaufzeit Abschalten des Kompressors Wärmerückgewinnung Alternativen für unpassende Endanwendung

Für jede der erwähnten Verbesserungsmöglichkeiten sind im Anhang Beschreibungen, Indikatoren für die Anwendbarkeit, Berechnungsformeln und Vorschläge für zu messende Parameter für die Verifizierung der Einsparmaßnahme angeführt. Als Beispiel enthält

Tabelle 4-8 Indikatoren für zwei Energieeinsparmaßnahmen von Pumpensystemen.

Tabelle 4-8: Beispiele für Indikatoren für die wichtigsten Einsparmaßnahmen für einzelne Technologien

Art der Einsparmaßnahme	Indikatoren für Einsparmaßnahmen
Abschalten von Pumpen	- Pumpen laufen ohne Bedarf während Urlaubszeiten, Wochenenden, Nacht, zu lange vor und nach dem Schichtbetrieb, während Pausen - Kontinuierlicher Betrieb bei Verbrauchern mit unregelmäßigem Bedarf (Batchbetrieb; Versorgung von mehreren Maschinen, die zeitweise abgestellt werden) - Mehrpumpensysteme, bei denen die Anzahl der betriebenen Pumpen nicht an sich ändernde Bedingungen angepasst wird
Ersatz von Pumpen	- Große Pumpen mit langer Laufzeit - Derzeitiger Förderstrom weicht um mehr als 30 % vom nominellen Durchfluss ab - Derzeitige Förderhöhe weicht um 20 % von nomineller Förderhöhe ab - Geringe Effizienz (unter 60 %) - Kavitierende Pumpen, hohe Wartungsanforderung, laute Pumpen oder Rohre - Konstante Drosselung - Abgenutzte, korrodierte oder zerbrochene Laufräder

Die Evaluierung der Verbesserungsmöglichkeiten sollte die Berechnung der Kosteneinsparung der wichtigsten Einsparmaßnahme für jede Technologie umfassen. Der Leitfaden enthält im Anhang Formeln für die wesentlichen Einsparmaßnahmen. Tabelle 4-9 gibt ein Beispiel.

Tabelle 4-9: Beispiel für die Berechnung von Energiekosteneinsparungen

Titel	Verringerung der Laufzeit von Pumpen
Beschreibung	Die erste Maßnahme in Pumpensystemen ist das Abschalten von Pumpen, die nicht erforderlich sind. Außerdem sollte die Betriebszeit aller Pumpen an die tatsächlich erforderliche Betriebszeit angepasst werden. Z.B. Zeit-, Temperatur-, Druck-, und Füllstandskontrolle sind einfache Steuerungsmechanismen, um die Betriebszeit für Pumpen an den Prozess anzupassen.
Formel	$\Delta C = P_{el} \cdot (t_{vor\ Maßn.} - t_{nach\ Maßn.}) \cdot c(E)_{el}$
Parameter zur Messung und Verifizierung der Energieeinsparung	Messung der Laufzeit und/oder der aufgenommenen Leistung

*Formelzeichen-Beschreibung:

ΔC Energiekosten aufgrund der Reduktion der Betriebszeiten von Pumpensystemen [€/a]

P_{el} Elektrische Leistungsaufnahme des Pumpensystems [kW]

$t_{vor\ Maßn.}$ Derzeitige Laufzeit des Pumpensystems [h/a]

$t_{nach\ Maßn.}$ Laufzeiten nach Optimierung [h/a]

$c(E)_{el}$ Spezifische Stromkosten (el) [€/kWh]

4.3. Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren

Die AEA erarbeitete bereits in den Vorprojekten einen Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren, der die Themen optimale Systemintegration, Lebenszykluskosten, Anwendung von Drehzahlreglern und Wartung umfasst. Der Leitfaden stellt insbesondere die im Rahmen des Annexes diskutierten und für Endanwender relevanten Neuigkeiten (Technik, Normen, Methoden) übersichtlich zusammen und wurde nun aktualisiert.

Die AEA prüfte den bestehenden Inhalt und führte folgende Aktualisierungen des Energieeffizienz-Leitfadens durch:

- Die Tabellen mit Mindestwirkungsgraden nach IEC 60034-30-1 wurden aktualisiert und eine Tabelle für die Mindestwirkungsgrade für IE4 Motoren eingefügt.
- Ein Absatz zum Thema Drehzahlerhöhung durch den Einsatz hocheffizienter Motoren in unterschiedlichen Anwendungsgebieten wurde ergänzt.
- Ein Absatz zur Erhöhung des Energieverbrauchs durch Entfernung von Drosseln wurde erstellt.
- Die bereits beschriebenen neuen Motortechnologien wurden in Absprache mit Herstellern ergänzt.
- Synchron-Reluktanzmotoren wurden als neue Motortechnologie aufgenommen.
- Das Kapitel über Frequenzumrichter wurde um die neuen Vorgaben für Energieeffizienzklassen der EN 50598 ergänzt.

Nachfolgend sind ausgewählte Absätze des Energieeffizienz-Leitfadens dargestellt, die während der Projektlaufzeit aktualisiert wurden.

4.3.1. Synchron-Reluktanzmotor

Derzeit finden Synchron-Reluktanzmotoren aufgrund ihrer Effizienz, die der höheren Effizienzklasse (IE4) entspricht, vor allem in Pumpen-, Ventilator- und Kompressorenmaschinen Anwendung.

Ein Synchron-Reluktanzmotor hat einen Rotor (Läufer), der als Blechpaket aus Elektroblechen ausgeführt ist. Diese Bleche weisen eine besondere Schnittgeometrie (Flusssperrenschnitt) auf, um eine möglichst stark ausgeprägte magnetische Achsigkeit zu erreichen. Der Stator ist wie bei anderen Drehfeldmaschinen aufgebaut, und die drei Strangwicklungen werden von drei um 120° elektrisch versetzte Wechselspannungen angespeist.

Der Reluktanzmotor in der üblichen Ausführung - ohne Anlaufkäfig im Rotor - kann nicht asynchron anlaufen und ist daher für den Betrieb am normalen Stromnetz nicht geeignet. Er muss mittels Frequenzumrichter betrieben werden.

Vorteile

- Höherer Wirkungsgrad, keine Verluste im Läufer
- Geringe Lagertemperaturen, daher höhere Standzeiten
- Hohe Dynamik, da kleines Schwungmoment

Nachteile

- Betriebsweise nur mit Frequenzumrichter

(Quelle: Siemens, persönliche Kommunikation, Dezember 2017)

4.3.2. Permanentmagnet-Motor

Permanentmagnet-Motoren (PM-Motor) haben im Gegensatz zum Asynchronmotor einen magnetisierten Rotor, es muss also kein dem Stator-Magnetfeld entgegengesetztes Feld im Rotor induziert werden. Das heißt, dass die im Asynchronmotor durch Ummagnetisierung des Eisens im Rotor entstehenden Induktionsverluste beim PM-Motor entfallen und der Rotor sich synchron mit dem Statorfeld dreht. Auf Grund der fehlenden Ummagnetisierungsverluste reduziert sich die Stromaufnahmen des Motors, was wiederum zur Verringerung der Stromwärmeverlusten in der Statorwicklung führt. Der PM-Motor hat dadurch eine höhere Effizienz und kann auf Grund der geringeren Verluste und der höheren Energiedichte kompakter gebaut werden als ein in der Leistung vergleichbarer Asynchronmotor. Die Verwendung eines Permanentmagnet-Motors erfordert allerdings den Betrieb mit einer elektronischen Steuerung(Frequenzumrichter).

Einsatzgebiete von Permanentmagnet-Motoren

- Überall, wo hohe Einschaltzeiten zu erwarten sind und der Motor nicht direkt am Netz betrieben wird.
- Pumpen, Ventilatoren, Extruder, usw.

Permanent-Motoren sind nicht einzusetzen

- Bei direktem Netzanschluss (ohne FU), also bei konstantem Nennlastbetrieb ist ein Asynchronmotor besser geeignet.

Vorteile der Permanent-Motoren

- Kosteneffizienz - insbesondere bei hoher Einschaltdauer und im Teillastbereich, wie z.B. bei Pumpen, Lüftern, Förderanlagen geht man von einer Amortisation der höheren Anschaffungskosten innerhalb von 1,5 Jahren (je nach Anwendungsfall) aus.
- Kompakte Bauform – bei gleicher Leistung ca. eine Motor-Baugröße kleiner und damit auch leichter als ein Asynchrhonorotor, was zu geringeren Montage- und Transportkosten führt.
- Es gibt auch PM-Motoren für den Ex-Bereich.

(Quelle: Yaskawa, persöliche Kommunikation, Jänner 2018)

4.3.3. Höhere Drehzahl bei effizienteren Motoren

Effizientere Motoren (z.B. IE3 Motoren) haben einen geringeren Schlupf als ineffiziente Motoren (IE1 oder IE2) und damit eine höhere Drehzahl um 1 bis 5 %. Das kann den unerwünschten Effekt haben, dass bei Ersatz des Motors ein höherer Förderstrom bzw. Volumenstrom gefördert wird und sich die Strömungsgeschwindigkeit erhöht. Bei Anwendungen mit quadratischem Verlauf des Drehmoments (Pumpen, Ventilatoren) führt dies zu einer Erhöhung der Leistungsaufnahme mit der 3. Potenz des Volumenstroms. Ohne Kompensation dieses Effektes geht der Effizienzgewinn des neuen Motors wieder verloren. Durch eine bessere Auswahl des Ersatzventilators oder der Ersatzpumpe oder durch

Anpassung der Transmissionsübersetzung (oder Einsatz eines Frequenzumrichters) lässt sich dieser Effekt vermeiden (Merkblatt 24 Luftförderung topmotors).

4.3.4. Beseitigung von Klappen in Pumpensystemen

Die Beseitigung von Klappen/Drosseln in Verteilsystemen, die mit Kreispumpen versorgt werden, ist grundsätzlich eine Einsparmaßnahme, da dadurch unnötiger Druckverlust und damit Förderhöhe vermieden werden.

Allerdings ist zu beachten, dass Drosseln in Pumpensystem eingesetzt werden, um den Förderstrom z.B. auf 70 % des Nennförderstroms zu verringern. Die erforderliche Leistungsaufnahme als Produkt aus Förderstrom und Förderhöhe ist dadurch für eine bestimmte Pumpenkennlinie z.B. um 23 % geringer als diese bei 100 % des Nennförderstroms wäre.

Werden einfach nur Klappen/Drosseln oder andere hydraulische Komponenten entfernt und die Förderhöhe nimmt ab, verschiebt sich der Betriebspunkt entlang der Pumpenkennlinie und führt bei Kreispumpen zu einer Erhöhung des Förderstroms. Die Leistungsaufnahme nimmt daher zu.

Bei Einsatz einer Drehzahlregelung zur Steuerung der Fördermenge kann dieser Effekt vermieden werden und führt (Annahme: Anteil statische Förderhöhe 20 %) bei einer Fördermenge von 70 % des Nennförderstroms zu einer Reduktion der Leistungsaufnahme um fast 60 %.

4.3.5. Geringere Saugdruckverluste

Eine Saugleitung eines Kältekompressors soll einen geringen Druckverlust haben. Eine dadurch mögliche Erhöhung des Saugdrucks (bzw. höhere Verdampfungstemperatur) erhöht die Effizienz des Kältekompressors. Bei einem Beispiel mit einer Verdampfungstemperatur von 2°C und einer Verflüssigungstemperatur von 40°C erhöht sich bei Erhöhung der Verdampfungstemperatur um 1°K der Coefficient of Performence (COP) um 3,5 %. Die damit steigende Kühlleistung führt ohne Regelung aber zu einer höheren Leistungsaufnahme des Kompressormotors (kleiner als 1 %). Gegebenenfalls sind Spannungsbegrenzer einzusetzen bzw. die Motorleistung zu prüfen.

<https://www.swep.net/refrigerant-handbook/3.-compressors/3.4-compressor-performance/>

4.4. Weitere Veröffentlichungen

Im Rahmen des *Annex Electric Motor Systems* wurden während des Projektzeitraums folgende Dokumente unter österreichischer Leitung oder Beteiligung veröffentlicht:

Tabelle 4-10: Veröffentlichungen im Rahmen des *Annex Electric Motor Systems* während des Projektzeitraums unter österreichischer Leitung oder Beteiligung

Art/Titel	Synopsis	Quellenangabe
Bericht <i>Energy Audits for Motor Driven Systems, Part 1 Overview of Programmes, Tools, Guides and Analysis for Standards</i>	Dieses Arbeitsdokument stellt Auditprogramme und Qualifikationsanforderungen an Auditoren in den teilnehmenden Ländern dar und analysiert relevante Normen zu Energieaudits und zum Nach-	https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramm/4e/iea-4e-annex-ems.php

Art/Titel	Synopsis	Quellenangabe
<i>and Protocols for Motor Systems Audits, Working Document</i> Konstantin Kulterer, AEA	weis von Energieeinsparungen.	
Leitfaden <i>Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren</i> Konstantin Kulterer, AEA	Dieser Leitfaden enthält Vorschläge zur Umsetzung einer „Motorpolitik“ auf Unternehmensebene mit prinzipiellen Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei Motorsystemen und Tipps zur Umsetzung in der Praxis.	https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramm/4e/iea-4e-annex-emsa.php
<i>EMSA Policy Guidelines for Electric Motor Systems</i> EEMODS Konferenz 2015 in Helsinki Konstantin Kulterer, AEA; Rita Werle, Impact Energy	Dieser wissenschaftliche Beitrag für die EEMODS Konferenz 2015 (Energy Efficiency in Electric Motor Systems) beinhaltet die wichtigste Information der <i>EMSA Policy Guidelines</i> in komprimierter Form. Als ein Beispiel wird Österreich mit dem <i>Motor Policy Toolkit</i> analysiert.	https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramm/4e/iea-4e-annex-emsa.php
<i>Politische Maßnahmen zur Optimierung von Motorsystemen und Vorgaben für Energieaudits</i> Internationale Energiewirtschaftstagung 2017 in Wien Konstantin Kulterer, AEA	Dieser wissenschaftliche Beitrag behandelt folgende Fragestellungen: Welche politischen Instrumente zur Steigerung der Effizienz von Motorsystemen wurden bereits international und national umgesetzt, welche Empfehlungen zur optimalen Umsetzung sind für politische Entscheidungsträger relevant? Welche normativen Vorgaben zur Analyse von Motorsystemen bestehen bereits, um die in der EU-Energieeffizienz-Richtlinie geforderten Energieaudits für große Unternehmen optimal durchführen zu können?	https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramm/4e/iea-4e-annex-emsa.php
Audit Methodology for Motor Driven Systems with Reference to International Standards EEMODS Konferenz 2017 in Rom Konstantin Kulterer, AEA	Dieser wissenschaftliche Beitrag gibt einen Überblick über bestehende Auditprogramme in ausgewählten Ländern, bestehende Normen in Bezug zu Energieaudits und eine Kurzdarstellung der im EMSA entwickelten Auditmethode für Motorsysteme.	https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramm/4e/iea-4e-annex-emsa.php
Newsletter Internationaler Newsletter	Dieser Newsletter wird weltweit an 5.375 Kontakte in 85 Ländern ver-	http://www.motorsystems.org/newsletter

Art/Titel	Synopsis	Quellenangabe
(Schweiz)	sendet und erscheint auf Deutsch, Englisch, Chinesisch, Japanisch, Spanisch.	
Nationaler Newsletter	Dieser Newsletter wird von der AEA verfasst, teilweise basierend auf dem internationalen Newsletter, und um weitere nationale und internationale Aspekte ergänzt.	Wird an die Zielgruppe versandt.

Im Annex wurden außerdem folgende wesentlichen Ergebnisse erzielt.

4.4.1. 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>

4.4.2. Leitfaden: Policy Guidelines for Motor Driven Units (MDUs) Part 1

Dieser Leitfaden analysiert Mindeststandards für Motoren, Pumpen, Ventilatoren und Druckluftkompressoren in den Regionen USA, Europa und China. Verglichen werden Anwendungsbereiche, Effizienzkennwerte und die Methodologie der Erstellung der Mindeststandards.

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

Quelle: https://www.motorsystems.org/files/otherfiles/0000/0190/PGmdu_oct2016.pdf

4.4.3. Geplante Veröffentlichungen

Folgende Veröffentlichungen sind außerdem geplant:

Leitfaden: Policy Guidelines for Motor Driven Units, Part 2: Recommendations for aligning standards and regulations for pumps, fans and compressors, Dec. 2017 (Verfasser: Maarten van Erkhofen, Rita Werle, Conrad U. Brunner)

Derzeit (Dezember 2017) wird die Strategie für den Annex Electric Motor Systems ab 2019 diskutiert. Hier besteht die Überlegung, den Auditleitfaden als Webapplikation zu veröffentlichen.

5. Vernetzung und Ergebnistransfer

5.1. Darstellung der österreichischen Zielgruppe, für die die Projektergebnisse relevant sind

5.1.1. Politische Entscheidungsträger, Programm-Manager

Politische Entscheidungsträger (bmvit, BMWFW, FEEI, WIFI) und Programm-Manager wurden über Newsletter und die Elektromotoren-Fachtagung *Internationale Rahmenbedingungen und Entwicklungen für mehr Energieeffizienz* 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 im Rahmen von Mindeststandards. Diese Stakeholder können daher bei der Entwicklung von Politiken für Österreich weltweite Erfahrungen berücksichtigen. bmvit und FEEI wurden auch direkt in die Veranstaltung der Fachtagung als Referenten eingebunden.

Die Leiterin des Programms **klimaaktiv energieeffiziente betriebe**, des nationalen Programms zur Markttransformation von effizienten Technologien in Betrieben, ist in das laufende Projekt eingebunden, nahm an einem Projektmeeting teil und präsentierte die im Vorprojekt erstellten Policy Guidelines bei der EEMODS Konferenz 2015 in Helsinki.

Weiters wurden die Policy-Guidelines und der Energieaudit-Leitfaden des aktuellen Projekts bei der EEMODS Konferenz 2017, der IEWT 2017 und der Fachtagung in Österreich einem nationalen und internationalen Publikum präsentiert. Bei den beiden EEMODS-Konferenzen nahmen die wichtigsten Stakeholder zur Motoreneffizienz aus China, Japan, Indien, USA, Australien, Brasilien und europäischen Ländern teil.

Der Projektleiter unterstützt die Monitoringstelle zur Umsetzung der Energieeffizienzrichtlinie bei der Entwicklung von Methoden zur Einsparbewertung. Im Projektzeitraum konnten zu mehreren motorrelevanten Vorschlägen Inputs gegeben werden.

5.1.2. Technologie- und Komponentenanbieter

Der Bereich *Entwicklung und Produktion von Motorsystemen* ist in Österreich hochrelevant. Insbesondere zu nennen 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 Wattdrive Antriebstechnik (WEG) in Markt Piesting, Niederösterreich; die Produktion von leistungsstarken Elektromotoren in Weiz durch ELIN EBG; 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. Darüber hinaus sind in Österreich größere Vertriebsfirmen für Motorsystemkomponenten beheimatet (z.B. Kaeser Kompressoren, Atlas Copco, WILO, 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.

Diese Firmen wurden über den Newsletter und die Fachtagung zu neuen Entwicklungen im Bereich Standards (z.B. Bestimmung der Energieeffizienz von neuen Motortechnologien, Motoren mit neuen Regelsystemen) und Mindeststandards weltweit informiert und können dies in der Produktentwicklung und für den entsprechenden Vertrieb ihrer Produkte berücksichtigen. Darüberhinaus wurden einige der erwähnten Firmen auch direkt in die Organisation der Fachtagung eingebunden und unterstützten bei der Aktualisierung des Energieeffizienzleitfadens.

5.1.3. 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.

5.1.4. Energieberater, Endkunden bzw. Techniker in Betrieben

Die AEA steht in laufendem Kontakt zu nahezu sämtlichen Energieauditorinnen und zahlreichen Energiemanagern in Österreich sowohl über den Newsletter des klimaaktiv Programms als auch über die regelmäßig stattfindenden Workshops für Energieauditorinnen gemäß Energieeffizienzgesetz. Hier können über den klimaaktiv Newsletter, die Aktualisierung der klimaaktiv Leitfäden (z.B. Druckluft-, Kälte-, Pumpen- und Ventilator-Leitfaden) 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 Fachtagung 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.

Der Energieeffizienz-Leitfaden für Elektromotoren wurde im Zeitraum 2015 bis 2017 bei fünf klimaaktiv Schulungen für Energieberater (Grundschulungen) an 77 Teilnehmer verbreitet.

5.2. Weitere Verbreitungstätigkeiten

Dieses Kapitel enthält weitere Verbreitungsaktivitäten innerhalb des Annexes: über die Fachtagung, den Vortrag und die versendeten Newsletter.

5.2.1. Fachtagung Effiziente Elektromotoren

Im Anschluss an das Meeting des *Annex Electric Motor Systems* in Wien organisierte die Österreichische Energieagentur (AEA) am 26. April 2017 die Elektromotoren-Fachtagung *Internationale Rahmenbedingungen und Entwicklungen für mehr Energieeffizienz* im bmvit.

Das Programm umfasste nach Begrüßungsreferaten von Mag. Sabine Mitter (bmvit), Geschäftsführer DI Peter Traupmann (AEA), Dr. Klaus Bernhard (FEEL) u.a. folgende Referate:

- Conrad U. Brunner, Impact Energy: Internationale Trends in Motorsystemen
- Sandie Nielsen, DTI: Market Surveillance and Motor Systems Tool
- Jeremy Dommu, US DOE: New Developments in Energy Efficiency Regulation
- Konstantin Kulterer, AEA: Überblick zu politischen Maßnahmen in Österreich, Energieauditwerkzeuge national und international
- Hermann Agis, Siemens: Aufbau, Anwendung und Auswirkung der EN 50598, Energieeffizienzklassifizierung von Antriebssystemen
- Gustavo Gorski, WEG: On the way to IE5 Motors – Techniques to improve efficiency of electric motors
- Peter Sattler, sattler energie consulting: Energieaudits steigern die Effizienz des Gesamtsystems, Erfahrungen und Fallbeispiele aus 20 Jahren
- DI Herbert Pairitsch, Infineon GmbH: Elektroantriebe für Industrie 4.0.

Die Anzahl der angemeldeten Teilnehmer inkl. Referenten betrug 85, tatsächlich waren 57 Teilnehmer vor Ort.

Angemeldete bzw. teilnehmende Firmen waren u.a.:

- Energieberater: Allplan, Sattler energie consulting, ECE Erlach Consulting, UNIDO, energieagentur.at, Leisch Unternehmensberatung, Efficiency Consulting, Ingenieurbüro Schallert, Andreas WurZRainer Energieberatung, TPA Advisors.
- Energieversorger: EVN, Umweltdienst Burgenland, Energie Burgenland.
- Industriebetriebe: ÖBB Infrastruktur, Porr, Opel Wien, Mayer & Co Beschlüge, UBD Abfallservice, Siemens Gebäudemanagement, Schloss Schönbrunn, Maschinenfabrik Liezen und Gießerei, TÜV Austria Service.
- Motor Anbieter: Siemens, Moll-Motor Mechatronische Antriebstechnik, Danfoss GmbH, Control Techniques, Watt Drive.
- Forschungsinstitutionen: Energieinstitut Linz, Montanuniversität Leoben, FH Joanneum.

5.2.2. Vortrag Marktbeobachtungsrunde

Der Projektleiter hielt am 19. September 2016 im Anschluss an die Marktbeobachtungsrunde für Asynchronmotoren des Fachverbands der Elektro- und Elektronikindustrie (FEEI) mit erweitertem Teilnehmerkreis ein Referat zum Thema Beschaffungsvorgaben für Elektromotoren und Frequenzrichter. Weiters wurde das Projekt *Annex Electric Motor Systems* vorgestellt und die Fachtagung am 26. April 2017 angekündigt.

5.2.3. Newsletter

Innerhalb des *Annex Electric Motor Systems* werden sowohl national als auch international Newsletter erstellt. Der Newsletter erwies sich als besonders erfolgreich und zog regelmäßig Reaktionen bzw. Anfragen nach sich. National wurden während der Projektlaufzeit sechs Newsletter über die

neuesten Entwicklungen im Bereich Standardisierung, Normenentwicklung, Veranstaltungen usw. im Bereich effiziente Motorsysteme an ca. 180 ausgewählte Adressaten erstellt. Derzeit befinden sich neben den wichtigen Stakeholdern alle großen Motoren-, Frequenzumrichterhersteller und -vertriebsfirmen im Verteiler.

5.3. Aufgebaute Kompetenzen

Die AEA konnte Wissen in Bezug auf die weltweite Einführung von Mindeststandards und Normen im Bereich Energieeffizienzklassen für Elektromotoren und Testnormen aufbauen. Die aktuelle Normenentwicklung in diesem Bereich wird in den Newslettern des *Annex Electric Motor Systems* beschrieben und an die relevante Zielgruppe in Österreich versandt. Damit können relevante Stakeholder neue Entwicklungen wie die Energieeffizienz von Frequenzumrichtern und Ausweitung des Anwendungsgebiets der Mindeststandards auf weitere Motorengruppen und Leistungsklassen besser antizipieren. Für österreichische Hersteller sind dabei auch Informationen zu Mindeststandards in anderen Wirtschaftsregionen (Brasilien, China, USA) relevant.

Der wichtigste Punkt war der Überblick über bestehende Normen zur Durchführung von Energieaudits und unterstützende Programme in den Mitgliedsländern des Annexes. Die Ergebnisse dieser Analyse konnten in die Entwicklung des Energieaudit-Leitfadens für Motorsysteme aufgenommen werden.

Die dabei gewonnenen Erfahrungen können in einer Vielzahl von Projekten verwendet werden: beispielsweise bei beratenden Aktivitäten der AEA für das BMFW bei der Umsetzung der Energieeffizienzrichtlinie als Monitoringstelle (Entwicklung von Methoden, Überprüfung der Audits), bei der Umsetzung des klimaaktiv Programms energieeffiziente Betriebe und bei internationalen Energieeffizienzprojekten im Rahmen des UNIDO-Energieeffizienzprogramms für die Industrie (z.B. bei der Abhaltung von motorspezifischen Trainings).

5.4. Nutzen für den Technologiebereich in Österreich, Mehrwert und Nutzen der IEA-Beteiligung generell

Innerhalb des Annex Electric Motor Systems erfolgt im Rahmen der Annex Meetings ein Austausch zu Mindeststandards und Normen im Bereich energieeffizienter Motorsysteme. Dieser Austausch umfasst - auch 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, MotorSummit) 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 im Rahmen der Fachtagung und in Form von Newslettern an die Zielgruppen Technologieanbieter und Energieauditoren weiterverbreitet, die dieses Wissen dann in ihrer Arbeit anwenden können.

Innerhalb des *Annex Electric Motor Systems* wurden auch Informationen zu Normen und zur Implementierung von Energieauditprogrammen in unterschiedlichen Ländern wie USA, Schweiz, Österreich, Niederlande, Dänemark und Japan erhoben.

Bei der Erstellung des Energieaudit-Leitfadens für Elektromotoren konnten insbesondere Erfahrungen aus den Auditprogrammen in der Schweiz (Rolf Tieben, Topmotors), den USA (Gilbert McCoy, Washington University) und den Niederlanden (Maarten Werkhoven, TPA Advisors) aufgenommen werden. Dieser internationale Blickwinkel könnte ohne die Beteiligung an diesem Annex nur schwer eingebracht werden.

6. Schlussfolgerungen, Ausblick und Empfehlungen

Die Wirkungsgrade der Elektromotoren bewegten sich in den letzten Jahren – auch aufgrund der Mindeststandards in Europa, die bereits IE3 fordern – rasch nach oben.

Derzeit werden bereits IE4-Asynchronmaschinen in vielen Leistungsklassen angeboten bzw. sind in Entwicklung; dabei spielen hochwertige Kupfer- und Stahlwerkstoffe eine große Rolle. Neue Motor-technologien (Permanentmagnet-Motoren und Synchron-Reluktanzmotoren) erreichen bereits IE5-Niveau und weisen als IE3- und IE4-Maschinen oft höhere Wirkungsgrade in den Teillasten auf als vergleichbare Asynchron-Motoren.

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 plant auch Mindeststandards für Frequenzumrichter in der kommenden Aktualisierung der Motorenverordnung zur Ökodesign-Richtlinie. Aufgrund von Entwicklungen durch neue Materialien in der Halbleiter-Technologie 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 von hocheffizienten Motoren (IE4 und darüber) unterstützt werden.
- Österreichische Frequenzumrichter-Entwickler und -Komponenten-Lieferanten sollten bei der Entwicklung von Frequenzumrichtern mit hohem Wirkungsgrad unterstützt werden (Wirkungsgrad IE2 und darüber). Dabei sind aber mögliche Wechselwirkungen der Erhöhung der Effizienz auf die Lebensdauer der geregelten Motoren zu beachten, z.B. Erwärmung der Isolation der Motorwicklungen aufgrund höherer Schalzhäufigkeit der Frequenzumrichter.

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

Bezüglich politischer und normativer Instrumente wurde bereits eine Vielzahl von energiepolitischen Maßnahmen im Bereich Motorsysteme entwickelt und umgesetzt. Viele Länder haben auch schon einen Mix aus Mindeststandards, Energieauditprogrammen, Bewusstseinsbildung und finanziellen Anreizsystemen gesetzt. Die Abstimmung dieser Programme bzw. das Erkennen des notwendigen Zusammenspiels wird durch die unterschiedlichen Zuständigkeiten allerdings erschwert.

Auch im Bereich des Normungswesens sind bereits alle Voraussetzungen für fundierte Energieaudits geschaffen, viele Länder erarbeiteten zusätzlich Informationsmaterial und Werkzeuge zu diesem Themenbereich.

Die Analyse zeigt, dass für die Durchführung von Energieaudits in Motorsystemen alle Anforderungen der ISO 50002, welche eine Vielzahl von allgemeinen Informationen enthält, relevant sind. Weiters berücksichtigen viele verschiedene Normen und Protokolle Motorsysteme bereits als große Energieverbraucher. Zwei Normen beschreiben bereits die Durchführung von Energieaudits in Druckluft- und Pumpensystemen.

Im Allgemeinen fehlen in den analysierten Energieaudit-Normen jedoch folgende Informationen:

- Parameter für die erste Bestimmung von Energiesparmaßnahmen (mit Ausnahme des Annexes der ISO 14414)
- Kriterien für die Umsetzung von Energieeinsparmaßnahmen
- Berechnungsformeln für die Beurteilung der Energieeinsparung durch die Umsetzung von bestimmten Energieeinsparmaßnahmen (mit Ausnahme des Annexes der ISO 14414).

Auch Protokolle und Leitfäden zur Bestimmung der energetischen Leistung beinhalten bereits Motorsysteme als Beispiel oder bieten bereits spezifische Vorgaben für Einsparmaßnahmen in diesem Bereich. Da die Messung von Energieeinsparungen bereits vor Umsetzung der Maßnahmen beginnen muss, sind dies wichtige Informationen für die Datenerhebung während des Energieaudits.

Es fehlte aber ein Überblick der einzelnen Forderungen aus den unterschiedlichen Normen und Leitfäden in einem konkreten Ablaufschema, die konkrete Nutzung der erwähnten Leitfäden und Normen bei den Audits vor Ort und das Interesse der Kunden, Audits in diesem Detaillierungsgrad durchführen zu lassen.

Die Länder- und Normenanalyse bildete daher die Basis für die Entwicklung eines Energieaudit-Leitfadens für Elektromotoren. Das Dokument ist anhand der Energieauditschritte gem. ISO 50002 strukturiert und beinhaltet organisatorische und technische Aufgaben, die während des Audits durchzuführen sind. Für jeden dieser Schritte wird auf die relevanten Normen, Leitfäden und Tools verwiesen und es wird beschrieben, wie diese im Auditablauf zu verwenden sind.

Darüberhinaus, beinhaltet es die folgenden Informationen:

- Technologiespezifische Indikatoren für die Bestimmung geeigneter Einsparmaßnahmen
- Einsparbewertungsmethoden.

Dieser Leitfaden könnte in Form eines Online-Tools weitere Verbreitung finden. Die Finanzierung dazu ist offen.

Aufbauend auf der intensiven Analyse mit den Auditnormen in Bezug auf Elektromotoren wurden Beschaffungsvorgaben und Lebenszyklus-Kostenrechner für Elektromotoren, Druckluftkompressoren und Pumpen im Rahmen des klima**aktiv** Programms energieeffiziente betriebe in Zusammenarbeit mit Herstellern und dem FEEI entwickelt. Diese wurden im Juni 2017 in einer Schulung mit 25 Teilnehmern vorgestellt.

Der Auditleitfaden, insbesondere in Kombination mit dem *EMSA Motor Systems Tool* stellt eine sehr gute Grundlage für die Entwicklung eines spezifischen Motortrainings für Berater und Energiemanager dar. Derzeit sind aber diesbezüglich noch keine konkreten Schritte geplant.

Darüberhinaus wären Vor-Ort Analyse mit diesen Tools zur weiteren Optimierung dieser Instrumente vorteilhaft.

Kenntnisse aus der Beschäftigung mit diesen Themen fließen in die laufende Arbeit im Rahmen von **klimaaktiv** (Auditleitfäden) und Monitoringstelle (Entwicklung von Methoden, Überprüfung von Auditberichten) ein. Darüberhinaus kann die Guideline in die Abhaltung des UNIDO-Motortrainings in Georgien (derzeit geplant für 2018) genutzt werden.

Die österreichische Beteiligung am *Annex Electric Motor Systems* im Zeitraum 2017 bis 2019 umfasst insbesondere die Leitung des Tasks *Monitoring and Assessing New Industrial Developments*. In diesem Task wird geprüft, ob neue Entwicklungen bei der Industrieautomatisierung Auswirkungen auf den Stromverbrauch in Industriebetrieben haben, und welche Auswirkungen auf den Motorenmarkt zu erwarten sind. Das Thema Audit soll in das Arbeitsprogramm des *Annex Electric Motor Systems* ab 2019 wieder aufgenommen werden.

7. Verzeichnisse

7.1. Literaturverzeichnis

IEA/OECD (2016): World Energy Outlook 2016, Paris

Kulterer, K. (2016): Working Document Energy Audits for Motor Driven Systems, Part 1

Kulterer, K., Presch, D. (2017): Energy Audit Guide for Motor Driven Systems, Recommended Steps and Tools

Statistik Austria (2017): Nutzenergieanalyse Österreich 2015, Wien, 2017

topmotors.ch (2012): Merkblatt 24: Ventilatoren, Luftförderung, Effizienz ist wichtig, Energie Schweiz

Topmotors (2015): Software Tool für effiziente Antriebe, SOTEA V2.1, Website: www.topmotors.ch

UNIDO (2012): Almeida, A., Fong, J., Falkner, H.: Energy Efficient Electric Motor Systems, Manual for a 2 day User Motor System Optimization Training, Version 1.1, 2012

Website der österreichischen Beteiligung am *Annex Electric Motor Systems*:

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/4e/iea-4e-annex-emsa.php>

Auflistung von Publikationen des Tasks (Link zu Downloads):

Sandie B. Nielsen (2017): Electric Motor Systems Tool

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

Maarten van Werkhoven, Rita Werle, Conrad U. Brunner: Policy Guidelines for Motor Driven Units (MDUs) Part 1 (2016)

https://www.motorsystems.org/files/otherfiles/0000/0190/PGmdu_oct2016.pdf

Kulterer, Konstantin (2016): Working Document Energy Audits for Motor Driven Systems, Part 1

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/4e/iea-4e-annex-emsa.php>

Kulterer, Konstantin, Presch, David (2017): Energy Audit Guide for Motor Driven Systems, Recommended Steps and Tools

<https://nachhaltigwirtschaften.at/de/iea/technologieprogramme/4e/iea-4e-annex-emsa.php>

7.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 4-1: Schritte der Energieauditmethode inkl. Unterstützungsmaterialien	20
Abbildung 4-2: Überblick über die zwei Schritte der Datensammlung	26

7.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Taskuntergliederung, -leitung und Ziele des Electric Motor Systems Annex (Periode 2014 - 2017)	13
Tabelle 4-1: Internationale Normen, Protokolle und Leitfäden zu Energieaudits und Messung und Verifizierung von Einsparungen und energetischer Bewertung	17
Tabelle 4-2: Anteil des Stromverbrauchs für elektrische Motorsysteme für Sektoren in Österreich (Statistik Austria, 2017)	23
Tabelle 4-3: Erforderliche Daten für das SOTEA Tool.....	24
Tabelle 4-4: Checkliste für die Auftakt-Besprechung (basierend auf EN ISO 50002, 2014, S. 7)	25



Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien
bmvit.gv.at