

# **IEA Energieeffiziente Endverbrauchsgeräte (4E): Elektrische Motor Systeme Task 3: Neue industrielle Entwicklungen und Digitalisierung**

Arbeitsperiode 2021 - 2024

K. Kulterer, D. Dimov

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

## **31/2024**

## **Impressum**

Medieninhaber, Verleger und Herausgeber:

Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie  
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:

Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien

Leiter: DI (FH) Volker Schaffler, MA, AKKM

Kontakt zu „IEA Forschungskoooperation“: Mag.a Sabine Mitter

Autoren: Mag. DI Konstantin Kulterer, DI Deyan Dimov (Österreichische Energieagentur)

Dieser Bericht gibt Einblick in die Ergebnisse eines Forschungsprojekts, das vom BMK gefördert wurde. Die inhaltliche Verantwortung für Vollständigkeit und Richtigkeit liegt bei den Autorinnen und Autoren.

Wien, 2024

# IEA Energieeffiziente Endverbrauchs- geräte (4E): Elektrische Motor Systeme Task 3: Neue industrielle Entwicklungen und Digitalisierung

Arbeitsperiode 2021 - 2024

Mag. DI Konstantin Kulterer, DI Deyan Dimov  
Österreichische Energieagentur

Wien, März 2024

Ein Projektbericht im Rahmen von





## Vorbemerkung

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse eines Projekts im Rahmen der IEA Forschungskoooperation. Es wurde vom Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie (BMK) initiiert, um österreichische Forschungsbeiträge zu den Kooperationsprojekten der Internationalen Energieagentur (IEA) zu unterstützen.

Die IEA Forschungskoooperationen umfassen eine breite Palette an Energiethemen mit dem Ziel Energiesysteme, Städte, Mobilitäts- und Industriesysteme fit für eine nachhaltige Zukunft bis 2050 zu machen. Auch Themen wie Gendergerechtigkeit oder Ressourcen- und Kreislaufwirtschaftsaspekte werden berücksichtigt.

Dank des überdurchschnittlichen Engagements der beteiligten Forschungseinrichtungen und Unternehmen ist Österreich erfolgreich in der IEA verankert. Durch die vielen IEA-Projekte entstanden bereits wertvolle Inputs für europäische und nationale Energieinnovationen und neue internationale Standards. Auch in der Marktumsetzung konnten richtungsweisende Ergebnisse erzielt werden.

Ein wichtiges Anliegen ist es, die Projektergebnisse einer interessierten Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Daher werden alle Berichte nach dem Open Access Prinzip in der Schriftenreihe des BMK über die Plattform [www.nachhaltigwirtschaften.at](http://www.nachhaltigwirtschaften.at) veröffentlicht.



# Inhalt

<b>Vorbemerkung</b> .....	<b>5</b>
<b>1 Kurzfassung</b> .....	<b>8</b>
<b>2 Abstract</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Ausgangslage</b> .....	<b>12</b>
3.1 Ausgangssituation .....	12
3.2 Motivation für das Projekt .....	12
3.3 Zielsetzung des Projektes.....	13
3.4 Stand des Wissens aus eigenen Vorarbeiten sowie nationalen und internationalen Projekten 14	
<b>4 Projektinhalt</b> .....	<b>17</b>
<b>5 Ergebnisse</b> .....	<b>20</b>
5.1 Fallbeispiele im Bereich Digitalisierung von Motorsystemen.....	20
5.1.1 Lüftungsanlage bei Cola-Cola HBC Österreich .....	20
5.1.2 Übergeordnete Kompressorensteuerung bei CAPiTA.....	22
5.2 Empfehlungen zur Digitalisierung von elektrischen Motorsystemen.....	24
5.2.1 Empfehlungen zur Digitalisierung von Pumpensystemen .....	24
5.2.2 Empfehlungen zur Digitalisierung von Druckluftsystemen .....	28
5.3 Möglichkeiten und Barrieren der Digitalisierung laut Anwender:innen und Anbieter:innen ...	34
5.3.1 Ziele im Zusammenhang mit Digitalisierung .....	35
5.3.2 Technische Barrieren.....	36
5.3.3 Organisatorische Barrieren .....	38
5.3.4 Ökonomische Barrieren .....	39
5.3.5 Empfehlungen .....	40
5.4 Analyse von Forschungs-, Investitions- und Ausbildungsprogrammen .....	41
5.5 Normung im Bereich Digitalisierung .....	44
5.6 Ergebnisse des internationalen Workshops zu Digitalisierung.....	48
<b>6 Schlussfolgerungen</b> .....	<b>51</b>
6.1 Erkenntnisse und weiteres Vorgehen .....	51
6.2 Relevante Zielgruppen .....	52
6.3 Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten .....	53
<b>7 Ausblick und Empfehlungen</b> .....	<b>55</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>57</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>58</b>
<b>Abkürzungen</b> .....	<b>61</b>

# 1 Kurzfassung

Elektrische Motorsysteme sind in Österreich für 67 % des Stromverbrauchs in der Industrie verantwortlich (Statistik Austria, 2023). Sie umfassen unter anderem Pumpen-, Ventilator-, Kälte- und Druckluftsysteme. Gleichzeitig können durch entsprechende Optimierungsmaßnahmen durchschnittlich 25 % des Stromverbrauchs eingespart werden (UNEP, 2017). Digitalisierung kann durch intelligente Steuerung der Motoren und durch Erfassung und Analyse wichtiger Daten innerhalb des Motorsystems zur Erzielung dieser Einsparungen beitragen.

Die Österreichische Energieagentur leitet seit 2017 den Task „New Industrial Developments and Digitalisation in Motor Systems“ des Electric-Motor-Systems-Annexes. Teilnehmende Staaten sind Niederlande, Schweden und die Schweiz. Langfristiges Ziel ist es, erforderliche politische Maßnahmen zur Stimulierung der Entwicklung und Umsetzung von digitalen Technologien in Richtung effizientere Motorsysteme zu identifizieren und mögliche negative Entwicklungen, zum Beispiel höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen, aufzuzeigen.

Innerhalb dieses Projektes war die Erstellung technischer und politischer Empfehlungen zur Nutzung von digitalen Technologien für erhöhte Energieeffizienz in elektrischen Motorsystemen geplant. Weiters sollten Ergebnisse aus den weiteren Tasks „International Standards“, „Motor Tests“ und „Motor Systems Tool“ in Österreich verbreitet werden. Dazu wurden Webrecherchen durchgeführt, wissenschaftliche Beiträge und Vorträge analysiert, zahlreiche Interviews geführt und zwei Workshops organisiert.

Aufbauend auf den Vorarbeiten (insbesondere dem Bericht zu Industrie 4.0 und Motorsystemen, der Kategorisierung von Digitalisierungstechnologien) wurde gezeigt, wie Digitalisierungslösungen zur Steigerung der Energieeffizienz konkret eingesetzt werden können. Dazu wurden zwei Anwendungsfälle von Industrie-4.0-Technologien im Bereich energieeffiziente Motorsysteme erhoben und technische Möglichkeiten der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz in den Bereichen Druckluft-, Pumpen- und Ventilatorsystemen beschrieben. Insbesondere wurden Stromverbrauch und Druck innerhalb dieser Systeme laufend erfasst und genau analysiert; ergänzend sollte auch die Erfassung und Auswertung des erzeugten Volumenstroms erfolgen, was aber noch nicht überall Stand der Technik ist.

Weiters wurde eine detaillierte Erhebung von Zielen und Barrieren der Nutzung von Digitalisierung bei Anwender:innen und Anbieter:innen durch Interviews durchgeführt. Auf die Frage nach den wesentlichen Zielen beim Einsatz von Digitalisierung wurden die Steigerung der Wirtschaftlichkeit und Qualität und die Schaffung von Transparenz im Produktionsprozess angegeben. In Bereich Nachhaltigkeit wurde insbesondere der Erfassung von Wasser- und Energieverbräuchen für CO<sub>2</sub>-

Berichte eine Rolle zugewiesen, aber auch dem effizienten Betrieb von Anlagen. Als wichtige organisatorische Barrieren nannten die Befragten unter anderem das fehlende Erkennen des Nutzens der Digitalisierung, die unzureichenden Kompetenzen im Bereich Digitalisierung bestehender Prozesse und Anlagen und die aufwendige Dateninterpretation. Die Vielzahl unterschiedlicher Systeme und Datenschnittstellen, das Fehlen aktueller Pläne bereits installierter Verteilsysteme und das Erfordernis unternehmensspezifischer Lösungen würden laut Erhebung bedeutende technische Barrieren darstellen. Die geringe Höhe der Energiepreise, die hohen Erwartungen an die Amortisationszeit und die schwer bewertbare Wirtschaftlichkeit für Digitalisierungsprojekte wurden als finanzielle Barrieren angeführt.

National wurden Best-Practice-Programme im Bereich Digitalisierung und Energieeffizienz elektrischer Motorsysteme erhoben und mit Stakeholdern diskutiert, um daraus politische Empfehlungen zu generieren. Es zeigte sich, dass innerhalb einiger Programme bereits Projekte in diesem Bereich laufen, dieses Thema also abgedeckt ist, es aber keine Förderung für Sensorik und Energiedatenerfassung für Großbetriebe gibt. Ergänzend wurden wichtige normative Vorhaben zusammengefasst, die bei der Vereinheitlichung der Vielzahl unterschiedlicher Kommunikationsschnittstellen innerhalb industrieller Betriebe eine Rolle spielen.

Folgende politische Empfehlungen zur Forcierung der Energieeffizienz von elektrischen Motorsystemen wurden unter anderem identifiziert: Die Politik sollte eindeutige, langfristige Einsparverpflichtungen für Unternehmen definieren und obligatorische Monitoringsysteme für die größten Energieverbraucher in Unternehmen, zum Beispiel Druckluftkompressoren, vorschreiben. Daten aus Leitsystemen sollten leicht auslesbar sein. Im Bereich der Forschung könnte ein Forschungsprojekt sinnvoll sein, das sich auf die Digitalisierung und Optimierung von elektrischen Motorsystemen in Betrieben fokussiert. Zur unabhängigen Informationsbereitstellung sollte eine Website oder Institution als Plattform dienen, die energetischen Vorteile der Digitalisierung von Anlagen bewerben, etwa über Fallbeispiele, und die wichtigsten Begriffe und Normen vorstellen. Der Aufbau eines Netzwerks für Energieeffizienz und Digitalisierung könnte ebenfalls sehr hilfreich sein. Allgemein sollten Trainings- und Ausbildungsmaßnahmen über bestehende Initiativen in diesem Bereich verstärkt werden.

Die Ergebnisse wurden mittels Berichten, auf Konferenzen, in nationalen und internationalen Fachworkshops und über Newsletter verbreitet. Die Industrieeinbindung erfolgte über Workshops und Direktkontakte in Form von Interviews.

Der Task 3 des Electric Motor Systems Annex wird sich ab der Periode 2024 auf Lastmanagement konzentrieren, jedoch weiterhin Digitalisierungslösungen in diesem Bereich beobachten. Die Use Cases sollen erweitert werden und die Ergebnisse, die vor allem Unternehmen betreffen, sollen für diese Zielgruppe spezifisch aufbereitet werden. Dazu gehören Digitalisierungsempfehlungen für elektrische Motorsysteme, organisatorische Empfehlungen zur Umsetzung von Digitalisierung, Use Cases und weitere Informationen.

## 2 Abstract

Electric motor systems are responsible for 67% of electricity consumption in industry in Austria (Statistik Austria, 2023). They include pump, fan, refrigeration, and compressed air systems. At the same time, an average of 25% of electricity consumption can be saved through appropriate optimisation measures (UNEP, 2017). Digitalisation can contribute to achieving these savings through intelligent motor control and by collecting and analysing important data within the motor system.

The Austrian Energy Agency has been leading the Task New Industrial Developments and Digitalisation in Motor Systems of the Electric Motor Systems Annex since 2017. Participating countries are the Netherlands, Sweden, and Switzerland. The long-term goal is to identify necessary political measures to stimulate the development and implementation of digital technologies towards more efficient motor systems and identify possible negative developments, e.g. higher CO<sub>2</sub> emissions.

Within this project, the development of technical and political recommendations for the use of digital technologies for increased energy efficiency in electric motor systems was planned. Furthermore, it was intended to disseminate results from the other tasks International Standards, Motor Tests, and Motor Systems Tool in Austria. To this end, web research was carried out, scientific articles and presentations were analysed, numerous interviews conducted, and two workshops organised.

Building on the preliminary work (in particular the report on Industry 4.0 and motor systems, the categorisation of digitalisation technologies), it was shown how users can specifically apply digitalisation solutions to increase energy efficiency. Two use cases of Industry 4.0 technologies in the field of energy-efficient motor systems were identified and technical possibilities of digitalisation to increase energy efficiency in the areas of compressed air, pumps, and fan systems were described. In particular, this included the continuous recording and precise analysis of power consumption and pressure within these systems, as well as the recording and evaluation of the generated volume flow, which is not yet state of the art everywhere.

Furthermore, a detailed survey of goals and barriers to the use of digitalisation among users and providers was conducted through interviews. When asked about the main objectives of using digitalisation, increasing efficiency and quality, and creating transparency in the production process were indicated. In the area of sustainability, particular emphasis was placed on the recording of water and energy consumption for CO<sub>2</sub> reports, as well as on the efficient operation of systems. Important organisational barriers identified by respondents included a lack of recognition of benefits of digitalisation, insufficient expertise in the area of digitalisation of existing processes and systems, and the complex interpretation of data. The large number of different systems and data interfaces, the absence of up-to-date plans for already installed distribution systems, and the need

for company-specific solutions represented significant technical barriers according to the survey. Low energy prices, high expectations regarding the amortisation period, and the difficulty of assessing the economic viability of digitalisation projects were cited as financial barriers.

National best practice programmes in the field of digitalisation and energy efficiency of electric motor systems were surveyed and discussed with stakeholders in order to generate policy recommendations. It turned out that projects in this area are already running within some programmes, thus covering this topic. However, there is no funding for sensor technology and energy data acquisition for large companies. In addition, crucial normative projects were summarised that play a role in standardising the multitude of different communication interfaces within industrial operations.

Policy recommendations for promoting the energy efficiency of electric motor systems were identified: policymakers should define clear, long-term savings obligations for companies and prescribe mandatory monitoring systems for the largest energy consumers in companies, e.g. air compressors. Data from control systems should be exportable. In the field of research, a research project focusing on the digitalisation and optimisation of electric motor systems in drives could be useful. A website or institution should serve as a platform for the independent provision of information, promote the energy benefits of the digitalisation of systems, for example via case studies, and present the most important terms and standards. The establishment of a network for energy efficiency and digitalisation could also be very helpful. In general, training and education measures on existing initiatives in this area should be strengthened.

The results were disseminated in reports, at conferences, in national and international expert workshops, and via newsletters. Industry involvement took place via workshops and direct contacts in the form of interviews.

Task 3 of the Electric Motor Systems Annex will focus on load management from 2024 onwards, but will continue to monitor digitalisation solutions in this area. The use cases will be expanded and the results, which primarily concern companies, will be prepared specifically for this target group. This includes digitalisation recommendations for electric motor systems, organisational recommendations for implementing digitalisation, relevant use cases, and other information.

# 3 Ausgangslage

Diese Kapitel beschreibt die Ausgangssituation und Motivation für das Projekt, die konkrete Zielsetzung und die bisherigen Kenntnisse auf diesem Gebiet.

## 3.1 Ausgangssituation

Motorsysteme waren 2022 in Österreich mit 18.584 GWh für 67 % des Stromverbrauchs in der Industrie verantwortlich und mit 27.711 GWh für 44 % des Gesamtstromverbrauchs Österreichs. Sie umfassen unter anderem Pumpen-, Ventilator-, Kälte- und Druckluftsysteme (Statistik Austria, 2023).

Geht man von einem Einsparpotenzial von 5–10 % (Viegand Maagøe et al., 2021) aus, das durch Digitalisierung im Bereich Motorsysteme zu erreichen ist, ergibt sich für Österreichs Sachgüterproduktion ein Potenzial von jährlich 1.000–2.000 GWh. Zum Vergleich: Die gesamte Photovoltaik-Erzeugung im Jahr 2022 in Österreich betrug 3.800 GWh. Das gesamte Einsparpotenzial im Bereich Motorsysteme wird international mit circa 20–30 % angegeben (UNEP, 2017). Das würde für Österreich 4.000–6.000 GWh bedeuten.

## 3.2 Motivation für das Projekt

Der *Electric Motor Systems Annex* (EMSA) ist ein Annex des *Technology Cooperation Programme Energy-Efficient End-Use Equipment* (TCP 4E). Kernthema dieses Programms ist die Energieeffizienz von energieverbrauchenden Geräten im Bereich der Endverbraucher:innen, die einen hohen Energieverbrauch und eine hohe Marktrelevanz aufweisen. TCP 4E dient als Koordinationsplattform und zum Informationsaustausch der teilnehmenden Länder und weiterer Stakeholder.

Der Electric Motor Systems Annex setzt international gezielt Aktivitäten im Bereich effiziente Motorsysteme; insbesondere dient er dem internationalen Austausch über Erfahrungen im Bereich der politischen Maßnahmen. Hier sind die Erfassung aller wesentlichen politischen Maßnahmen weltweit und die Ableitung von Handlungsempfehlungen zu nennen. 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.

Seit 2017 wurde innerhalb von EMSA diskutiert, wie und ob die Digitalisierung von Motorsystemen zur Energieeinsparung beitragen kann. Seitdem wurde in mehreren Berichten, einer Umfrage, einer Interviewserie, mehreren Workshops und vielen Gesprächen der Forschungsfrage nachgegangen, wie das konkret aussehen kann, welche Technologien eine Rolle spielen und wie dieser Trend von politischer Seite unterstützt werden kann. Ein wichtiger Punkt war dabei zu konkretisieren, welche Technologien bereits in diesem Bereich verfügbar sind und in welcher Form sie zum Energiesparen beitragen können. Hier zeigte sich, dass die Digitalisierung bestehender Anlagen mit dem Ziel, Energie zu sparen, aktuell (2023) eher die Ausnahme bilden.

### 3.3 Zielsetzung des Projektes

Die Österreichische Energieagentur leitet seit 2017 den Task *New Industrial Developments and Digitalisation in Motor Systems* (Teilnehmer sind Niederlande, Schweden und seit 2021 Schweiz). Langfristiges Ziel ist es, erforderliche politische Maßnahmen zur Stimulierung der Entwicklung und Umsetzung von digitalen Technologien in Richtung effizientere Motorsysteme zu identifizieren und mögliche negative Entwicklungen, zum Beispiel höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen, aufzuzeigen. Für die Teilphase, auf die sich dieser Bericht bezieht (November 2021 bis Feber 2024), war die Erstellung technischer und politischer Empfehlungen zur Nutzung von digitalen Technologien für erhöhte Energieeffizienz in elektrischen Motorsystemen geplant. Die Basis für beide Aktivitäten bildet die Kenntnis von Barrieren, die durch detaillierte Interviews mit Akteuren und Akteurinnen im industriellen Umfeld ermittelt werden. Konkret wurden folgende Tätigkeiten definiert:

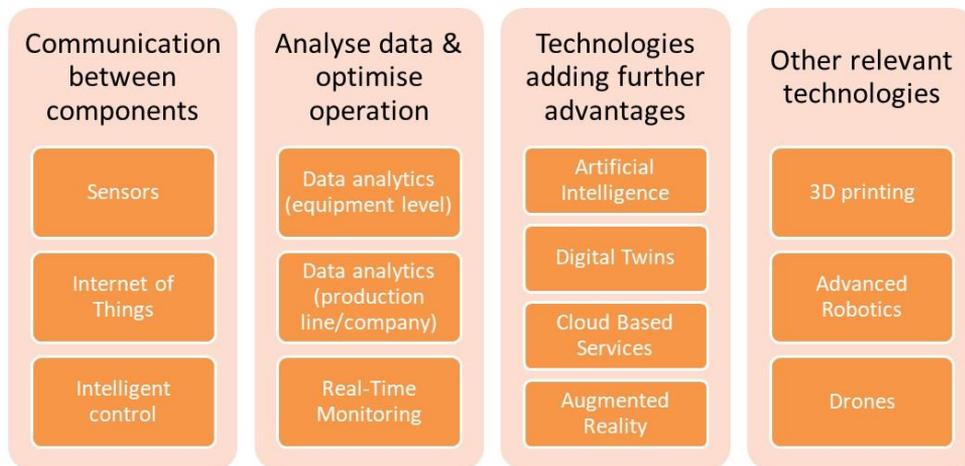
- Suche und Beschreibung von Anwendungsfällen von Industrie-4.0-Technologien im Bereich energieeffiziente Motorsysteme,
- Strukturierung der technischen Möglichkeiten der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz für Anwender:innen,
- Detaillierte Erhebung von Barrieren der Nutzung von Digitalisierung bei Anwender:innen und Anbieter:innen,
- Recherche bestehender Aktivitäten in den für die Barrieren relevanten Bereichen (Standardisierung, Ausbildung et cetera),
- Beschreibung nationaler und internationaler Best-Practice-Programme,
- Identifikation politischer Empfehlungen auf Basis dieser Programme.

### 3.4 Stand des Wissens aus eigenen Vorarbeiten sowie nationalen und internationalen Projekten

Elektrische Motorsysteme bieten ein weites Feld zur Anwendung von Technologien, die Industrie 4.0 zugeordnet werden, und sind als wichtigster Bestandteil in zahlreichen Automatisierungslösungen bereits integriert. Alle relevanten Hersteller bieten Produkte zur Datenerfassung von Motoren und Motorsystemen mittels Sensoren und Berechnungsmodellen an, um diese „intelligent“ und effizient zu machen.

Energieeffekte haben insbesondere die höhere Transparenz (Kenntnis der größten Energieverbraucher), die Erfassung des tatsächlichen Zustands (zum Beispiel Auslastung), die Möglichkeit der Auswertung einer Vielzahl weiterer Daten und die Ableitung der notwendigen Optimierungsmaßnahmen, wie etwa die optimierte Regelung. Untenstehende Abbildung zeigt die im Vorprojekt identifizierten digitalen Technologien, die zur Steigerung der Energieeffizienz in Motortechnologien beitragen können. Diese wurden im Bericht genauer beschrieben.

Abbildung 1: Analytierte digitale Technologien, die zur Steigerung der Energieeffizienz in Motortechnologien beitragen

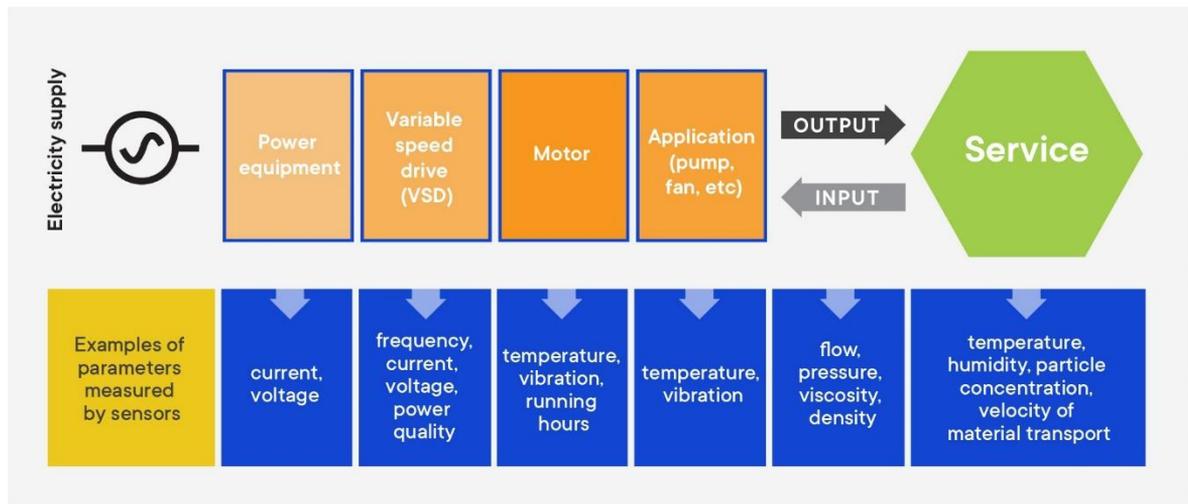


Quelle: Kulterer et al, 2022

Frequenzumrichter stellen in diesem Zusammenhang eine zentrale Schnittstelle zwischen Datenerfassung und Steuerung dar. Mittels Übertragung und Darstellung der Daten vor Ort oder in der Cloud können diese Daten hinsichtlich Auffälligkeiten und Optimierungsmöglichkeiten analysiert werden. Dies erfolgt manuell oder anhand von Algorithmen. Danach werden die Daten mit „Digital Twins“ der jeweiligen Anlage oder des jeweiligen Motors verglichen.

Untenstehende Abbildung zeigt die Möglichkeiten zum Einsatz von Sensorik bei elektrischen Motorsystemen, beginnend von der Stromversorgung bis zur Bereitstellung der eigentlichen „Leistung“, also zum Beispiel des Materialtransports oder einer bestimmten Luftqualität.

Abbildung 2: Überblick über mögliche Sensoren in elektrischen Motorsystemen



Quelle: Kulterer et al, 2022

In einer EMSA-Umfrage aus dem Jahr 2020 schätzen über 60 Experten und Expertinnen das Energieeinsparpotenzial des Einsatzes von Digitalisierungstechnologien auf rund 20 %. Für Anwender:innen wurden in dieser Umfrage aber insbesondere folgende Barrieren genannt: Mangel an qualifiziertem Personal, hohe Investitionskosten, Komplexität und Schwierigkeit bei der Integration in die vorhandenen Systeme sowie fehlende interne IT- und Supportinfrastruktur. Gute technische Lösungen für Cybersecurity, die Verfügbarkeit von Fachpersonal, Weiterbildung von Mitarbeitenden, standardisierte Datenübertragungsprotokolle und offene Schnittstellen zur Integration von Komponenten verschiedener Hersteller sind folglich die wichtigsten Voraussetzungen für Digitalisierungslösungen.

In Interviews zeigte sich auch Unsicherheit darüber, welche Technologien und Sensoren an welchen Stellen für welche Zwecke mit welchem Nutzen eingesetzt werden sollen. In diesem Projekt wurde daher aufbauend auf den Vorarbeiten (insbesondere dem Bericht zu Industrie 4.0 und Motorsystemen und der Kategorisierung von Digitalisierungstechnologien) die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der Digitalisierung zur Effizienzsteigerung in elektrischen Motorsystemen für Anwender:innen auf Motorsystemebene dargestellt.

Als weitere Barrieren werden derzeit Unklarheiten zu Datenaustausch und den Rechten der digitalen Produzenten genannt. Fragen wie jene, wem die Daten gehören oder wer Zugriffs- und Nutzungsrechte bekommen soll, sind zu klären. Es besteht daher ein Bedarf an Standardisierung des

Datenzugriffs und der Klärung des Eigentums der Daten. Außerdem besteht bei Cloud-Anwendungen das Problem der Sicherheit und Vertraulichkeit der Daten.

Dazu sollte auch für die Industrie eine Regulierung von Automationssteuerungssystemen erfolgen, ähnlich der unter LOT 38 (Ecodesign & Energy Labelling) gestarteten Initiative zu Gebäudeautomation. Denkbar wäre, über die Energieeffizienzrichtlinie Datenerfassungssysteme für Unternehmen verpflichtend vorzuschreiben. In weiterer Folge können dann Datenpunkte zur Übergabe einheitlicher Daten zu elektrischen Motorsysteme definiert werden.

# 4 Projektinhalt

In diesem Kapitel werden die je nach Teilbereich und Arbeitsschritt angewandten Methoden beschrieben und deren Erfolg bewertet.

Die Österreichische Energieagentur leitet seit 2017 den Task „New Industrial Developments and Digitalisation in Motor Systems“ des Electric-Motor-Systems-Annexes. Teilnehmer sind Niederlande, Schweden und seit 2021 Schweiz. Langfristiges Ziel ist es, erforderliche politische Maßnahmen zur Stimulierung der Entwicklung und Umsetzung von digitalen Technologien in Richtung effizientere Motorsysteme zu identifizieren und mögliche negative Entwicklungen, zum Beispiel höhere CO<sub>2</sub>-Emissionen, aufzuzeigen.

In diesem Projekt soll aufbauend auf den Vorarbeiten (insbesondere dem Bericht zu Industrie 4.0 und Motorsystemen und der Kategorisierung von Digitalisierungstechnologien) ein Bericht erstellt werden, der die verschiedenen Nutzungsmöglichkeiten der Digitalisierung zur Effizienzsteigerung in elektrischen Motorsystemen für Anwender:innen leichter fassbar macht. Dazu werden Anwendungsfälle von Industrie-4.0-Technologien im Bereich energieeffiziente Motorsysteme beschrieben und technische Möglichkeiten der Digitalisierung zur Steigerung der Energieeffizienz allgemein erhoben und strukturiert.

Weiters wurde eine detaillierte Erhebung von Barrieren der Nutzung von Digitalisierung bei Anwender:innen und Anbieter:innen durch Interviews durchgeführt und mögliche bestehende Programme in den für die Barrieren relevanten Bereichen (Standardisierung, Ausbildung et cetera) analysiert. National werden Best-Practice-Programme in diesem Bereich beschrieben und politische Empfehlungen identifiziert.

Die Ergebnisse wurden mittels Berichten, auf Konferenzen, in nationalen und internationalen Fachworkshops und über Newsletter verbreitet. Die Industrieeinbindung erfolgte über Workshops und Direktkontakte in Form von Interviews.

Für die Fallbeispiele im Bereich Digitalisierung und elektrische Motorsysteme wurde gemeinsam mit allen Partnern des Task 3 eine Vorlage erstellt. Generell gestaltete sich die Suche nach Use Cases sehr schwierig, Ähnliches galt auch für die Partnerländer Schweiz, Niederlande und Schweden. Bei allen Verbreitungsveranstaltungen, Gesprächen und Interviews wurde um die Zusendung von Use Cases geworben, leider nur mit begrenztem Erfolg. Mit vier Unternehmen aus dem **klimaaktiv** Partnernetzwerk in Österreich wurde detailliert über mögliche Use Cases diskutiert, leider war keines der Projekte passend (zu geringer oder kein Digitalisierungsaspekt, keine nachweisbare Einsparung durch Digitalisierungslösung oder nicht geeigneter Sektor).

Am Ende konnten aber zwei vollständige Use Cases auf Basis der Interviews erstellt werden. Ein weiterer Use Case zur intelligenten Regelung von Kältekompressoren wurde mit einer Firma im Bereich Digitalisierung erstellt und abgestimmt, allerdings nicht vom Anwender-Unternehmen freigegeben, da die Umsetzung in anderer Form erfolgte. Darüber hinaus wurden die beiden Use Cases aus dem Vorprojekt an die neu definierten Anforderungen angepasst.

Für das Aufzeigen technischer Möglichkeiten zur Nutzung von Digitalisierung wurden zunächst Leitfäden zur Digitalisierung in Unternehmen recherchiert. Ein erster Entwurf von Inhalten wurde mit der Schwedischen Energieagentur unter anderem am 21. November 2022 diskutiert. Hier zeigte sich, dass es wenige Digitalisierungsempfehlungen im Bereich Energieeffizienz und gar keine hinsichtlich Digitalisierung von elektrischen Motorsystemen gab. Die Österreichische Energieagentur erstellte für folgende Technologien Digitalisierungsempfehlungen: Druckluft, Ventilatoren und Pumpen. Dazu wurde eine Vielzahl von Quellen (siehe Kapitel 5 Ergebnisse) geprüft, weiters erfolgten Gespräche mit Fachpersonen aus folgenden Unternehmen:

- Siemens AG Österreich
- Coca-Cola HBC
- Luftmeister GmbH
- chriger automation
- e7 energy innovation & engineering
- Ziehl Abegg
- Danfoss
- CS-Instruments

Für die im Sommer 2022 durchgeführten Interviews zu Barrieren und konkreten Digitalisierungsprojekten in Unternehmen wurde der Interviewleitfaden von der Österreichischen und Schwedischen Energieagentur erstellt. Die Fragen wurden für die zwei Gruppen „Anbieter:innen“ und „Anwender:innen“ von Digitalisierungstechnologien spezifiziert. Sie umfassten den Prozess der Einführung von Digitalisierungslösungen, aufgetretene Problemen und Lösungen bei der Einführung und Vorschläge für politische Maßnahmen. Diese Methode eignete sich sehr gut, um Barrieren und Lösungen genauer zu besprechen. Viele der diskutierten Vorschläge bezogen sich eher auf allgemeine Rahmenbedingungen für Energieeffizienz und konkrete organisatorische Tipps innerhalb der Unternehmen und nicht auf explizite Anforderungen an die Digitalisierungstechnologien.

Für die Beschreibung politischer Maßnahmen wurde eine Vorlage gemeinsam mit der Schwedischen Energieagentur erstellt. Für Österreich wurden aufbauend auf dem Vorprojekt aus einer Liste von circa 100 analysierten Programmen und verschiedenen weiteren Quellen und Gesprächen rund zehn Programme ausgewählt und näher beschrieben. Außerdem wurde die Projektdatenbank der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) am 26.1.2023 mit den Stichworten Motoren und E-Motoren durchsucht und die circa 148 Projekte auf Relevanz für das Thema Digitalisierung und Energieeffizienz kontrolliert. Dabei wurde geprüft, welche Programme

Projekte in diesem Bereich finanzieren. Insgesamt konnten drei konkrete Projekte mit Fokus Digitalisierung und Energieeffizienz im Bereich Motorsysteme identifiziert werden (zusätzlich zum vorliegenden Projekt).

Mit Mitarbeitenden folgender Organisationen erfolgten bilaterale Gespräche zur Aktualisierung und Abstimmung der Informationen und zur Präsentation der Ergebnisse:

- Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG)
- Austria Wirtschaftsservice Gesellschaft (aws)
- Energieinstitut der Wirtschaft
- Klima- und Energiefonds
- Plattform Industrie 4.0

Mit den Partnerländern fanden einerseits halbjährliche Besprechungen im Rahmen der EMSA-Meetings statt. Innerhalb des Task 3 gab es andererseits nahezu monatliche Treffen über die gesamte Projektlaufzeit. Beim mit den Partnerländern organisierten internationalen Workshop wurde versucht, technische und politische Empfehlungen zu identifizieren.

# 5 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Projektergebnisse dargestellt. Zunächst werden zwei Fallbeispiele im Bereich Digitalisierung von Motorsystemen in Österreich beschrieben, die für dieses Projekt erhoben wurden. Im Anschluss werden die Ergebnisse der Interviewserie in Österreich diskutiert.

## 5.1 Fallbeispiele im Bereich Digitalisierung von Motorsystemen

Ein Ziel des Projektes war die Dokumentation weiterer industrieller Use Cases im Bereich Digitalisierung für effizientere Motorsysteme, die nachweislich zu Energieeinsparungen geführt haben. Im Projekt wurden zahlreiche umgesetzte Maßnahmen in Betrieben analysiert, jedoch am Ende lediglich folgende zwei Use Cases dokumentiert, die diesem Kriterium entsprachen.

### 5.1.1 Lüftungsanlage bei Cola-Cola HBC Österreich

Coca-Cola HBC Österreich ist eines der größten Unternehmen in Österreich im Segment der alkoholfreien Getränke und ein konzessionierter Abfüller der The Coca-Cola Company. Der überwiegende Teil der von Coca-Cola HBC Österreich verkauften Getränke wird lokal, im Produktions- und Logistikzentrum im burgenländischen Edelstal, produziert. Das Unternehmen beschäftigt rund 800 Mitarbeitende in Österreich – im Produktions- und Logistikzentrum beziehungsweise in regionalen Verkaufszentren und Auslieferungslagern. Nachhaltigkeit hat einen hohen Stellenwert im Unternehmen und versteht sich als wesentlicher Bestandteil der Unternehmensstrategie.

Abbildung 3: Lüftungsanlage bei Coca-Cola HBC Österreich



Quelle: Coca-Cola HBC

Bei dem Vorhaben, den Energiebedarf in produktionsfreien Zeiten zu senken, wurde der bedeutende Energiebedarf der Lüftungsanlagen während dieser Zeiten erkannt. Die größten 18 Lüftungsanlagen des Werks benötigen rund 10 % des Gesamtstrombedarfs (rund 3 GWh vor Optimierung). Sieben dieser Lüftungsanlagen sind im elektrischen Leistungsbereich von 9,5 kW bis 28 kW (gesamte installierte Leistung 155 kW) mit einem Luftvolumenstrom von 23.000 m<sup>3</sup>/h bis 43.000 m<sup>3</sup>/h. Sie versorgen Hallen mit Produktionslinien, Lagerräume und Wasserbehandlungsanlagen mit Frischluft. Diese waren aber bisher nicht bedarfsbedingt regelbar und hatten keinen Frequenzumrichter installiert. Sieben weitere Anlagen (darunter Anlagen mit 80.000 m<sup>3</sup>/h Luftvolumenstrom und installierter Leistung von 60 kW Zuluft; 30 kW Abluft pro Anlage) hatten bereits einen Frequenzumrichter (FU) installiert, liefen aber meist bei 50 Hz.

Auch an Nichtproduktionstagen liefen Lüftungsanlagen im Vollbetrieb beziehungsweise auf Volllast, um den aus Qualitätsgründen notwendigen Luftaustausch an Produktionstagen zu gewährleisten. Dies hatte zu einem erhöhten Luftaustausch und dadurch zu einem höheren Strombedarf geführt.

Zunächst wurde jene Anlagen, die noch nicht über Frequenzumrichter geregelt wurden, mit diesen Antrieben ausgestattet, um die bedarfsbasierte Luftwechselzahl zu ermöglichen. Anschließend wurden die kritischen Produktionsmaschinen (Abfüllanlagen) definiert, bei deren Betrieb die Lüftungsanlagen jedenfalls den vollen Luftvolumenstrom fördern müssen. Für den Fall, dass diese

Maschinen ausgeschaltet sind, wurde ein hygienischer Mindestvolumenstrom (von meist 50 %) definiert. Im Zuge dessen wurde der Mindestluftwechsel überprüft und die Anlagen auch für den Vollastfall neu eingestellt.

Für diese Volumenströme (gemessen durch mobile Messgeräte im Luftkanal) wurde für jede Lüftungsanlage der sich einstellende Druck ermittelt und dieser Wert als Sollwert für die Regelung verwendet. Der Ein-/Aus-Status der Produktionsanlagen löst nun die entsprechende Regelung der Lüftung (mit entweder halbem oder vollem Volumenstrom beziehungsweise ermitteltem Ziel-Druck) aus. Dazu wird das Signal der Produktionsmaschine direkt an die Regelung übermittelt.

Die Lüftungssteuerung regelt die Frequenzumrichter der Hauptantriebe, die Heizungs- und Kühlwasserpumpen und die Ventile für die Heiz- und Kühlregister basierend auf den Parametern der Druck- und Temperatursensoren. Im Zuge des Projektes war es auch notwendig, einige der Lüftungsregler zu tauschen, da die älteren nicht an die Leittechnik angeschlossen werden konnten. Als Kommunikationsprotokolle zwischen den Komponenten und dem Automatisierungssystem werden Ethernet und BACnet verwendet.

In der Gebäudeleittechnik (GLT) sind folgende Daten aufgeschaltet und in der Bedienoberfläche zentral visualisiert: die prozentuelle Regelung des Ventilators (in Abhängigkeit der Frequenz am Frequenzumformer), die aktuelle Druckerhöhung durch die Ventilatoren im Ab- und Zuluftstrang, die prozentuelle Stellung von Klappen, die prozentuelle Öffnung der Mischventile für Heiz- und Kühlregister sowie die Temperaturen im Zu- und Abluftstrang. Weiters werden Fehlermeldungen in der Anlage zentral dargestellt und deren Behebung kann dadurch zentral verfolgt werden. Zusätzlich wurde im Rahmen des Projektes die Steuerung der Umluftklappen in Abhängigkeit der Außentemperatur eingeführt, um die Halle über Außenluft zu temperieren. Erst wenn das nicht mehr möglich ist, werden Heiz- und Kühlregister zugeschaltet. Diese Maßnahme wird zusätzlich zu einer Reduktion des Wärme- und Kältebedarfs führen.

Sämtliche Lüftungsanlagen sind über die elektrischen Verteilschränke in das Energiemonitoringsystem eingebunden. Dadurch ist ersichtlich, dass sich der wöchentliche Energiebedarf bei Normalbetrieb um rund 15 % reduzierte. Die Amortisationszeit dieses Projektes betrug unter drei Jahren.

### **5.1.2 Übergeordnete Kompressorensteuerung bei CAPiTA**

Das Unternehmen CAPiTA MFG GmbH in Feistritz an der Gail in Kärnten produziert mit 120 Mitarbeitenden mehr als 100.000 Snowboards jährlich. 95 % gehen in den Export, ein Großteil davon in die USA und nach Asien. Der Energiebedarf von circa 3.600 MWh und die steigenden Energiepreise führten dazu, sich genauer mit dem Energieverbrauch auseinanderzusetzen. Nachhaltigkeit ist seit der Gründung von CAPiTA ein Kernthema der Marke. Der Neubau im Jahr 2015 stand daher ganz in diesem Zeichen: Die neue Produktion wurde zur Gänze CO<sub>2</sub>-frei ausgeführt, es werden keine

fossilen Energieträger verwendet und der Strom wird aus nachhaltigen, zertifizierten Quellen bezogen. Neben dem Einsatz einer Wärmepumpe und der Installation einer großflächigen PV-Anlage auf dem gesamten Flachdach wurde auch in den Bereich Energieeffizienz investiert.

Abbildung 4: Firmengebäude von CAPiTA



Quelle: CAPiTA MFG GmbH

Für die Druckluftherzeugungsanlage am Dach, bestehend aus drei Schraubenkompressoren (zwei starre und ein drehzahl geregelter Kompressor mit inkludierten Kältetrocknern) mit einer gesamten elektrischen Leistung von 135 kW, wurden die Daten durch das Unternehmen Druckluftoptimierung – Ing. Christian Steinbrugger gemessen, ausgewertet und analysiert. Es zeigte sich, dass zu viele Kompressoren im Einsatz waren, die dabei sehr oft ein- und ausgeschaltet und mit zu hohen Leerlaufstundenanteilen bei schwankendem Druckverlauf betrieben wurden.

Insbesondere bei Mehrkompressoranlagen ohne oder mit inkorrekt eingestellter übergeordneter Steuerung kommt es oft vor, dass sich ein Kompressor oder sogar alle Kompressoren über längere Zeiträume im ungünstigen Leerlaufbetrieb befinden und dabei Energie vergeuden. Im Leerlaufzustand wird keine Druckluft produziert, aber der Elektromotor weiterhin betrieben. Dadurch werden zwischen 20 und ungefähr 50 % der elektrischen Leistung des Volllastfalls aufgenommen.

Schließlich installierte CAPiTA eine herstellerunabhängige übergeordnete Steuerung (Airleader Master) inklusive Leistungsmessung, Lagerschwingungsüberwachung mit Energiemonitoring und

Alarm sowie Servicemanagement. In die Kompressoren wurde dazu relativ einfach ein RS485-Airleader-Anschlussmodul eingebaut, verdrahtet und mit der Steuerung in Serie verbunden. Ein zweiter Drucksensor wurde am Drucklufttank im Erdgeschoß verbaut. Somit kann man nun die beiden Drücke am Airleader mitteln, was zu geringerer Schwankung im Druckverlauf führt. Weiters entschied man sich, am Drucklufttank einen Sensor zu verbauen, um den Drucktaupunkt dauerhaft zu überwachen und aufzuzeichnen. Abgerundet mit einem Raumtemperatursensor in der Druckluftzeugungsanlage werden nun alle relevanten Daten aufgezeichnet und überwacht. Sollte ein Wert die Alarmwertgrenzen über- oder unterschreiten, meldet dies das Onlinemonitoringsystem.

Die Laststundenanteile wurden durch die Maßnahmen von 75 % auf 99 % erhöht, die Leerlaufstundenanteile von 25 % auf 1 % reduziert. Weiters wurden die Motorstarts und Last-/Leerlaufzyklen verringert. Der Druck verläuft jetzt nahezu geradlinig, die Gesamtbetriebsstunden aller Kompressoren wurden verringert und die spezifische Druckluftkennzahl in kWh/m<sup>3</sup> optimiert.

Eine weitere wichtige Funktion ist das neu eingeführte Anlagenmonitoring. Dadurch kann auf Knopfdruck regelmäßig ein Bericht generiert werden, der je nach Bedarf pro Tag, Kalenderwoche oder Monat sämtliche wichtigen Informationen zur Druckluftstation ausgibt. Dazu gehören beispielsweise der Energieverbrauch, die Anzahl der Kompressormotorstarts, die Anzahl der Last-/Leerlaufzyklen, die spezifische Druckluftkennzahl pro Kompressor, der Anteil der Last-/Leerlaufzeiten aller Kompressoren und die Gesamtkosten in Euro. Die Energieeinsparung für die Druckluftstation betrug rund 30 %, die Amortisationszeit der gesamten Investition war dementsprechend sehr gering.

## **5.2 Empfehlungen zur Digitalisierung von elektrischen Motorsystemen**

Ein weiteres Ziel des Projektes war das Aufzeigen technischer Möglichkeiten zur Nutzung von Digitalisierung zur Erhöhung der Effizienz in diesem Bereich. Dazu gehört auch die Beschreibung je nach Motorsystem, welche Datenmesspunkte sinnvoll sind sowie wie die Datenübertragung und -auswertung erfolgen kann. Im Projekt wurde dies von der Österreichischen Energieagentur für drei Motorsysteme (Druckluft, Pumpen und Ventilatoren) beschrieben. Nachstehend sind die Empfehlungen für Pumpen- und Druckluftsysteme dargestellt.

### **5.2.1 Empfehlungen zur Digitalisierung von Pumpensystemen**

Je nach Nutzung und Bedarf der Anwender:innen sind im Pumpenbereich mehrere Digitalisierungsoptionen verfügbar. Die meisten Möglichkeiten wurden im Bereich der optimierten Wartung entwickelt. Da sich abzeichnende Schäden am gesamten Motorsystem von der Stromversorgung, über Motoren und Getriebe bis zur angetriebenen Maschine auch zu erhöhtem Energieverbrauch führen, werden diese ebenfalls hier beschrieben.

Durch die Messung der elektrischen Leistung (Strom und Spannung) des Antriebsmotors einer Pumpe können unabhängig von Spannungsschwankung und Auslastung (was bei reiner Strombeurteilung der Fall wäre) aus dem Verlauf der Wirkleistung Folgendes erreicht werden:

- Erkennen der Laufzeit der Maschine
- Erkennen der tatsächlichen aufgenommenen Leistung (im Verhältnis zu Nennleistung des installierten Motors und der Auslegung der Pumpe)
- Erkennen der Anzahl der Starts und Stopps (Schaltspiele)
- Erkennen des Normalbetriebs über den Zeitverlauf
- Permanentes Onlinemonitoring und Analyse der elektrischen Parameter, der Betriebsparameter und der Effizienz der Pumpe
- Vergleich des Betriebspunktes mit der Pumpenkennlinie des Herstellers
- Alarmierung, falls Ineffizienzen im Pumpenbetrieb auftreten
- Erkennen von Luftblasen durch konstant erhöhtem Lastbedarf
- Erkennen von Verschmutzung, Veränderung der Viskosität der Flüssigkeit oder Korrosion der Pumpe durch über die Zeit zunehmenden Lastbedarf
- Erkennen von Trockenlauf durch stark verminderten Lastverlauf
- Erkennen einer Blockade durch zuerst stark zunehmenden, dann abfallenden Lastverlauf
- Überwachung und Diagnose von Motoren auf Über- und Unterlast und Funktion
- Notabschaltung des Motors bei Über- oder Unterschreitung einer Schaltschwelle
- Erkennen von Spannungs- und Stromasymmetrie in der Stromversorgung
- Erkennen von harmonischer Verzerrung

Von Herstellern sind für diese Messungen bereits installationsfertige Schaltschranklösungen mit Touchpanel und Monitoringanzeige auf dem Markt (Phoenix, 2024; Samotics, 2024; Seepex, 2024; Netico, 2024).

Die Strom- und Spannungsmessungen müssen nicht nahe der eigentlichen Maschine, sondern bei der Stromversorgung installiert werden. Die erfasste Wirkleistung lässt sich über den gesamten Lastbereich linear aufnehmen und auswerten, während das bei reiner Strommessung (Amperemeter) im unteren Lastbereich ungenau ist.

Die Motordaten können in der Folge zum Beispiel über Modbus TCP (Transmission Control Protocol), Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA), Profinet oder Profibus an ein übergeordnetes Leitsystem, an eine Datenbank oder die Cloud übertragen werden. Auf den Endgeräten zur Visualisierung können dann Pumpeneffizienzreports nach Anwendervorgaben und Dashboards erstellt und angezeigt werden. Bei manchen Anbietern sind hier auch Einsparpotenzialberechnungen enthalten (Netico, 2024).

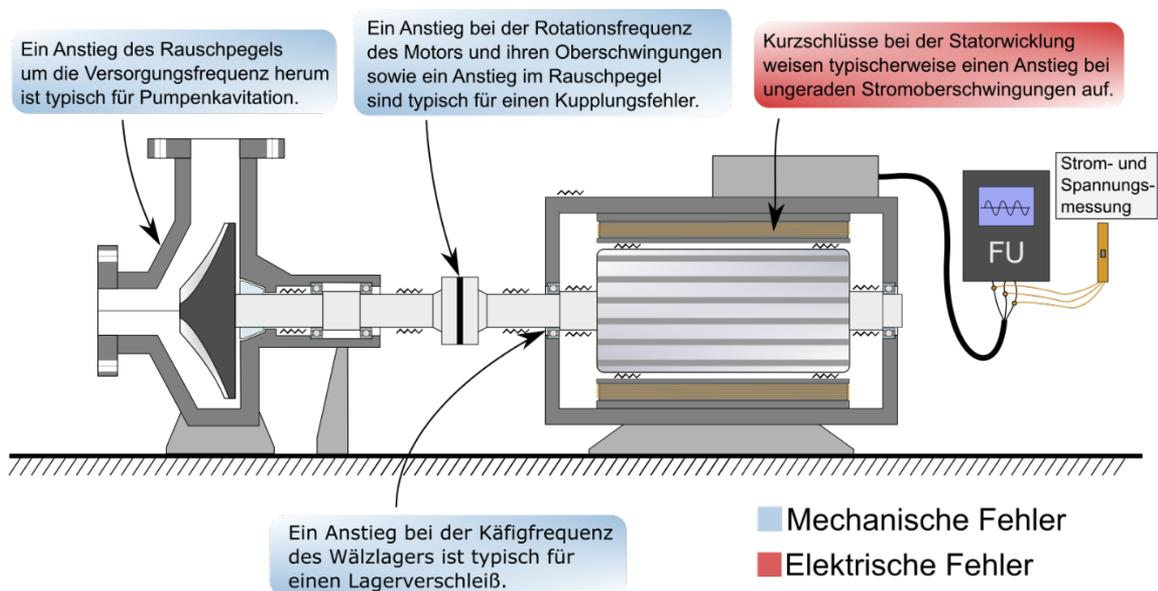
Spezielle Anbieter haben darüber hinaus Methoden entwickelt, die aus der Analyse von Spannung und Strom im Detail noch weitere Informationen gewinnen können. Kleine Änderungen im Betrieb von Pumpen wie ungewöhnliche Vibrationen haben auch Auswirkungen auf das magnetische Feld

des verbundenen Elektromotors, die wiederum die Versorgungsspannung und Strom beeinflussen. Durch Analyse von Strom und Spannung sowie Leistung und Motordrehzahl mittels verschiedener Methoden (Electrical Signal Analysis, zum Beispiel schnelle Fourier-Transformation, kurz FFT) können eine Vielzahl weiterer Störungen auf mechanischer wie elektrischer Seite und Abweichungen vom optimalen Betriebspunkt der Pumpe erkannt werden (Samotics, 2024):

- Pumpenkavitation
- Getriebeschaden
- Motorlagerschaden
- Motorstatorwicklungen
- Automatische Klassifizierung des Betriebspunktes

Manche Anbieter ermöglichen auch die Anlage eines digitalen Zwillings zur Verarbeitung aktueller Daten zu Betriebszustand, Leistung und Abweichungen; dabei können auch selbstlernende Alarmschwellen angelegt werden.

Abbildung 5: Möglichkeiten zum Erkennen von Störungen der Pumpen- und Motorfunktion durch Strom- und Spannungsanalyse



Quelle: Österreichische Energieagentur auf Basis von Samotics, 2024

### Vibrations- und Temperatursensoren

Pumpenanbieter bieten weitere günstigere Überwachungsmethoden der Pumpen an, die vor allem auf Ausfallsvermeidung und auf Condition Monitoring konzentriert sind. Dabei erfolgt die Überwachung über Beschleunigungs- und Temperatursensoren, die außen auf die Pumpe geklebt oder mit Magnet befestigt werden. Sie übertragen über Sendeeinheit, Gateway und Mobilfunknetz die stündlich aufgenommenen Daten in die Cloud, wo diese zum Beispiel mit Frequenzanalyse

analysiert und über Mobilgeräte abgerufen werden können. Die Daten der Pumpe müssen zunächst eingegeben werden. Vorteile dabei sind (KSB, 2024; Grundfos, 2024):

- Überwachung der Schwingungs- und Temperaturwerte der Pumpe
- Betriebsstunden
- Lastzustand (von unregelmäßig arbeitenden Pumpen)
- Frühzeitiges Erkennen von Schäden
- Fehlausrichtung von Pumpe und Motor

Bei den eben genannten Pumpenmonitoringsystemen können ebenfalls eigene Sensoren zur Erfassung der Lager- und Maschinenschwingungen aufgeschaltet werden, die diese Daten überwachen und auswerten und somit Kavitation und beginnenden Lagerverschleiß frühzeitig erkennen lassen.

Anbieter von Umwälzpumpen bieten auch eine Funktion zur Berechnung der übertragenen Wärmeenergie, dazu ist eine analoge Schnittstelle zu externen Sensoren für die Vorlauf- und Rücklauf-temperatur integriert. Der Durchfluss wird über die aufgenommene Leistung und die jeweilige Pumpenkurve berechnet. Die Berechnung der übertragenen Wärmeenergie erfolgt dann aus den erwähnten Daten.

### **Einsatz geeigneter Frequenzumrichter**

Frequenzumrichter können ebenfalls viele dieser Funktionen erfüllen und bieten zusätzlich intelligente Regelungsmöglichkeiten. Bei Nutzung von Frequenzumrichtern zur Pumpensteuerung wird die Drehzahl der Pumpe und damit der Volumenstrom über die Frequenz geregelt, beispielsweise um einen konstanten Systemdruck zu erhalten. Dies erfolgt über einen externen Drucksensor, durch Anpassung des Volumenstroms wird Energie gespart. Dabei können durch sanftes Hoch- und Herunterfahren der Pumpe Druckschläge vermieden werden.

Die Bedienung erfolgt über Bluetoothverbindung mit Smartphone oder Tablet. Über eine App können die Betriebsparameter der Pumpe überwacht werden und Statistiken zum Energieverbrauch abgerufen und der Alarmverlauf kontrolliert werden. Beispiele für weitere einstellbare Funktionen bei einigen Frequenzumrichtern für den Pumpenbetrieb sind (Ando Technik, 2024; Danfoss, 2024; Maddock, 2022):

- Nullmengenabschaltung führt zu Energieeinsparung durch Aktivierung des Schlafmodus, die Einschaltung der Pumpe erfolgt dann, sobald der Druck im System abfällt
- Trockenlaufschutz der Wasserpumpe durch Erkennung von Pumpenlauf ohne Gegendruck
- Einstellbare Über- und Unterdrucküberwachung, Erkennen des Defekts des Drucksensors
- Intelligente Regelung von Mehrpumpenanalagen
- Durch Messung der Drehzahl (über die Frequenz) und Leistung (Spannung, Strom) sowie unter Verwendung einer hinterlegten Pumpenkennlinie kann eine sogenannte sensorlose Pumpensteuerung ohne Durchfluss- und Drucksensor erfolgen, da die gemessenen Werte

der Förderhöhe und dem Fördervolumen auf der Pumpenkennlinie entsprechen. Beispielsweise wird der Heiz- und Kühlbedarf aus dem hydraulischen Systemwiderstand abgeleitet. Die Pumpendrehzahl wird dann zur Deckung des Bedarfs angepasst und es wird so Energie gespart.

## 5.2.2 Empfehlungen zur Digitalisierung von Druckluftsystemen

### Messung elektrischer Leistung

Die Überwachung der elektrischen Leistung von Druckluftanlagen hat folgende Vorteile:

- Kenntnis des tatsächlichen Stromverbrauchs in Abhängigkeit der Zeit; damit kann die Abhängigkeit des Strombedarfs für Druckluft von Betriebsparametern dargestellt und analysiert werden (zum Beispiel Anzahl der aktiven Arbeitsplätze, Wochentag, Tageszeit, Anzahl produzierter Stücke und so weiter)
- Kenntnis des Strombedarfs für Druckluft bei typischen Betriebsverhältnissen
- Kenntnis des spezifischen Strombedarfs zur Druckluftherzeugung in kWh/m<sup>3</sup> (berechnet)
- Rasches Erkennen von Situationen mit ungewöhnlichem, erhöhtem Strombedarf
- Erkennen von Störungen, zum Beispiel defektem Ansaugventil, was zu erhöhtem Strombedarf bei Vollast-Volumenstrom führt, oder defektem Antrieb zwischen Motor und Verdichterelement
- Erkennen weiterer Fehler über die Möglichkeit, Schwellen für den Amperewert für die jeweiligen Lastzustände zu definieren, zum Beispiel:
  - Minimaler Wert für Lastlauf, um Störungen wie Riemenbruch, Signalstörung oder defekten Ansaugregler zu erkennen
  - Maximaler Wert für Leerlauf, um nicht gewollten Lastlauf zu erkennen
  - Maximaler Wert für Stand-by, um falsche Verdrahtung zu erkennen

Grundsätzlich wird für eine stationäre, dauerhafte Messung eine dreiphasige Leistungsmessung für Kompressoren ab einer Leistung von circa 55 kW empfohlen, die Strom und Spannung misst. Auf Basis dieser Werte kann die Wirk-, Schein- und Blindleistung ( $\cos \phi$ ) bestimmt werden.

Bei der kostengünstigeren einphasigen Amperemessung wird die aufgenommene Leistung mit fix vorgegebenen Werten für die eventuell schwankende Spannung und mit dem je nach Motor und Belastung variablen Leistungsfaktor ( $\cos \phi$ ) berechnet. Diese Ungenauigkeit kann für kleinere Kompressoren in Kauf genommen werden und ist für eine reine Energiebewertung in vielen Fällen ausreichend. Bei niedriger Auslastung kann es aber zu sehr geringeren Leistungsfaktoren kommen und die Leistungsberechnung damit zu einem falschen Ergebnis führen (WF Steuerungstechnik, 2024).

Die Messung sollte am zentralen Schaltschrank der Kompressorstation installiert werden. Entweder wird dann der Stromverbrauch eines oder mehrerer Kompressoren gemessen oder der Strombedarf der gesamten Druckluftstation, also inklusive Trockner, Ventilatoren und gegebenenfalls vorhandener Kühlwasserpumpen. Insbesondere bei Stationen mit höherer Leistung und höheren Betriebsstunden sollte dieser Gesamtbedarf gemessen werden (chriger solutions, 2023).

Bereits über die Messung des Stromverbrauchs kann die spezifische Druckluftkennzahl in kWh/m<sup>3</sup> berechnet und zum Vergleich der unterschiedlichen Kompressoren und zur Bewertung der gesamten Kompressorstation herangezogen werden. Dabei wird allerdings über die aufgenommene elektrische Leistung des jeweiligen Kompressors die erzeugte Druckluftmenge berechnet und nicht gesondert gemessen.

### **Messung des Volumenstroms in Kompressorstation, in Verteilung und an Maschinen**

Die Messung des Volumenstroms kann helfen, den Betrieb von Druckluftanlagen zu optimieren.

Sie kann für folgende Anwendungen eingesetzt werden:

- Effizienzbewertung des Kompressors oder der Regelstrategie
- Zuordnung des Druckluftverbrauchs den Abteilungen, Linien, Verbrauchern, Maschinen oder Einzelprodukten
- Erkennen von erhöhtem Druckluftverbrauch (zum Beispiel defekten Düsen, falsch montierten Schläuchen)
- Leckagenerkennung
- Kostenzuteilung zu Kostenstellen

Zur Verbrauchsmessung ist eine für den Zweck geeignete Durchflussmessung notwendig. Je nach gewünschter Anwendung kann diese in der Druckluftstation, bei Verteilungen oder bei Einzelmaschinen eingesetzt werden. Im Normalfall wird nach der Druckluftaufbereitung ein thermischer Durchflusssensor installiert, der besonders für trockene, saubere und nicht zu heiße Druckluft geeignet ist. Viele Betriebe überwachen den geförderten Gesamtvolumenstrom der Druckluftstation, beispielsweise auch an betriebsfreien Tagen. An Einzelmaschinen kann die Messung helfen, Leckagen rasch zu finden. Hier kann die Überwachung auch zur optimierten Instandhaltung eingesetzt werden, da erhöhter Druckluftverbrauch auch auf weitere Probleme hinweisen kann.

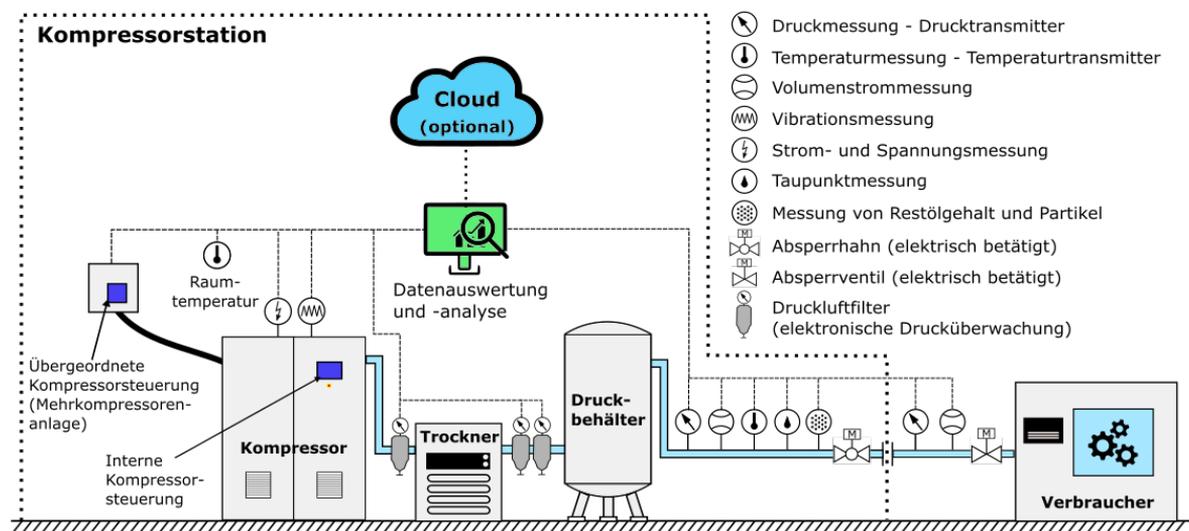
Insbesondere wenn ein Leistungsnachweis des Kompressors erforderlich ist, kann die Messung aber auch direkt nach dem Kompressor in der Hauptleitung (also noch vor der Drucklufttrocknung, aber nach dem Wasserabscheider) über einen Differenzdrucksensor erfolgen, der für nasse Druckluft und hohe Temperaturen geeignet ist. Dazu sollen auch Druck und Temperatur gemessen werden. Die Genauigkeit der Messung variiert je nach Messprinzip und tatsächlichem Messbereich, im unteren Bereich des maximalen Durchflusses nimmt die Genauigkeit ab. Der Druckluftverbrauch wird dann beispielsweise mittels eines Datenloggers vor Ort, in anderen Systemen oder direkt in der Cloud aufgezeichnet.

Durch die zeitgleiche Messung der Leistungsaufnahme und der Liefermenge des Kompressors ist es möglich, die spezifische Leistung des Kompressors in kWh/m<sup>3</sup> zu bestimmen und damit zu überwachen, wie viel Energie für die Erzeugung eines Kubikmeters Druckluft benötigt wird. Dieser Wert ist von der Effizienz des Kompressors im Lastpunkt, also vom gerade erzeugten Volumenstrom und Druck, abhängig. Werden mehrere Kompressoren gemessen, ist der Wert auch davon abhängig, welche Kompressoren gerade Druckluft produzieren und wie die Regelstrategie erfolgt (CS Instruments, 2024).

### Druckmessung an Kompressoren und im Netz

Druckmessungen ermöglichen die Überwachung des Drucks vom Kompressor bis zu den Anlagen und sind für den ordnungsgemäßen Betrieb der gesamten Anlage oft bereits an unterschiedlichen Stellen verbaut. Moderne Regelungen können bei der Druckregelung nicht nur den Kompressordruck als Regelgröße verwenden, sondern auch auf den Druck am Ende der Leitung beziehungsweise einen Mittelwert davon. Durch Druckmessung können aber auch vorgesehene Druckabfälle und damit erforderliche höhere Druckerfordernungen an den Kompressoren erkannt werden, beispielsweise können Filter automatisch durch Differenzdruckmessung überwacht werden. Durch die Drucküberwachung kann der Drucksollwert am Kompressor so gering wie möglich gehalten werden (WF Steuerungstechnik, 2024).

Abbildung 6: Überblick möglicher Messpunkte zur Digitalisierung von Druckluftanlagen



Quelle: Österreichische Energieagentur

### **Temperatursensoren im Raum und am Ausgang der Verdichterstufe**

Die Raumtemperatur des Kompressorraums soll überwacht werden, da zu hohe Temperaturen die Effizienz der Druckluftherzeugung verringern. Dies kann zum Beispiel aufgrund schlechter Belüftung oder ungenügender Kühlung verursacht werden (chriger, 2023).

Normalerweise wird ein Kompressor über die Temperatur am Ausgang der Verdichterstufe überwacht. Ein Zugriff zu dieser Temperatur ist aber herstellerspezifisch und direkt mit der internen Steuerung verbunden, die bei sehr hohen Temperaturen (zum Beispiel 120 °C) den Kompressor abschaltet.

Ein eigener Sensor ermöglicht optional, die Temperatur extern zu überwachen und eine laufende Erhöhung zu erkennen. Dies ist zum Beispiel wichtig, damit die Drucklufttemperatur nicht die maximale Trocknereingangstemperatur überschreitet. Ursachen für erhöhte Temperatur können sein: ungeeignete Kühlung aufgrund von schlechter Belüftung des Kompressorraums, verschmutzte Kühler und Filter oder defekte Lüfter. Alternativ kann bei ölfrei arbeitenden Kompressoren die Kühlwasseraustrittstemperatur überwacht werden (WF Steuerungstechnik, 2024).

### **Lagerüberwachung – Vibrationsanalyse**

Standzeiten von Schraubenkompressoren hängen stark von ihren Einsatzbedingungen ab, zum Beispiel ob sie als Spitzenlastkompressor oder Grundlastkompressor genutzt werden. Lagerschäden erhöhen die Schwingungsfrequenz, Schwingungssensoren am Lager des Verdichterelements ermöglichen das frühzeitige Erkennen von Lagerschäden über Onlineüberwachung der Schwingungsgeschwindigkeit. Der Betreiber wird dann bei Überschreitung der einstellbaren Warnschwelle informiert (WF Steuerungstechnik, 2024).

### **Taupunktmessung und Messung der Druckluftqualität**

Feuchtegehalt, Restölgehalt und Partikelmessungen werden zur Überwachung der Druckluftqualität in mehreren Branchen insbesondere bei nicht ölfrei verdichtenden Kompressoren verwendet. Mittels Alarmen können die Betreiber auf erforderliche Wartungsmaßnahmen an der Druckluftaufbereitung (Trockner und Filter) aufmerksam gemacht werden. Öl, Wasser und Partikel gelangen dann nicht ins Druckluftnetz, das Risiko der Kontamination von Endprodukten wird reduziert, die Prozesssicherheit und pneumatische Bauteile geschützt (CS Instruments, 2024).

### **Analoge und digitale Sensoren**

Analoge Sensoren (Druck, Durchfluss, Vibration, Temperatur, Strom-/Spannungsmessgeräte) geben ein analoges Messsignal aus, das heißt ein Strom- oder Spannungssignal proportional zur Messgröße (4 bis 20 mA). Sie haben also einen Strom-/Spannungsausgang. Solche Sensoren erfordern externe Komponenten wie einen ADC (Analog-Digital-Wandler), um das analoge Signal in ein digitales umzuwandeln. Digitale Sensoren mit einer digitalen Schnittstelle verwenden zum Beispiel einen seriellen oder parallelen Bus (Taupunkt, Feuchtigkeit, Temperatur in Klimaanlage).

## Übertragung der Daten

Daten werden je nach Sensoren kabelgebunden übertragen (analog: Stromkabel; digital: zum Beispiel Modbus TCP/IP-Adresse über Ethernet, Modbus RTU, Modbus ASCII oder RS485, Profibus und so weiter). RS485 ermöglicht Datenübertragung über sehr weite Strecken, zum Beispiel 1.500 m. Mittels LAN-Verbindung beziehungsweise Ethernet ist eine Datenübertragung über circa 100 m Entfernung möglich.

Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Daten über Wireless Local Area Network (WLAN), Bluetooth, Long Range Wide Area Network (LoRaWan) kabellos zu übertragen. Analogsensoren benötigen dazu jedenfalls ADCs. Als weitere Variante übertragen GSM-Transmitter direkt ins Netzwerk oder in die Cloud; dies wird dann umgesetzt, falls der Zugriff ins Netzwerk beschränkt ist.

Die Daten können somit direkt oder über unterschiedliche Schnittstellen an verschiedene Systeme übertragen werden:

- Interne Regelung
- Datenlogger (zum Beispiel auch als Zwischenspeicher)
- Industrieplattform
- Energiemanagementsoftware
- Gebäudeleittechnik
- Cloud

In der Folge sind für einige Systeme die möglichen Funktionen beschrieben.

## Interne Steuerung

Viele energierelevante Anlagen besitzen eine interne Steuerung, die zum Beispiel in Abhängigkeit des Drucks und/oder der Temperatur die Anlagen regeln. Diese sind nicht nachrüstbar. Beispielsweise werden bereits auf dieser Ebene Druckluftkompressoren intern so geregelt, dass der berechnete Energieverbrauch ein Optimum aus Schalt- und Regelverlusten darstellt und die Anlage in Abhängigkeit des Verbrauchverlaufs ein- und ausgeschaltet wird. Weitere Funktionen sind beispielsweise (Kaeser, 2024):

- Schaltuhr (Möglichkeit, Zeitprogramm zu programmieren)
- Vorgabe externer Sollwerte als Regelgröße (zum Beispiel Druck am Ende der Versorgungsleitung, Prozessgrößen)
- Drehzahlvorgabe (seriell, manuell, extern)
- Verschiedene Regelvarianten und Durchlaufsteuerung

Generell ist es möglich, aus den Steuerungen von Druckluftanlagen gemessene oder berechnete Daten automatisch auslesen zu lassen. Beispiele dafür sind gemessene Drücke und Temperaturen oder berechnete Volumenströme. Tatsächlich ist dies jedoch abhängig vom Hersteller, ob eine solche Schnittstelle möglich gemacht werden kann. Dabei ist auch zu beachten, dass sich diese Daten beziehungsweise Schnittstellen bei Software-Updates ändern können.

### **Übergeordnete Regelung vor Ort**

Je nach Hersteller und gewünschter Funktion können übergeordnete Regelungen von Druckluftkompressoren folgende Aufgaben erfüllen (WF Steuerungstechnik, 2024; Kaeser, 2024):

- Übergeordnete Regelung von zum Beispiel bis zu 16 Kompressoren (Auswahl der optimalen Kombination von Kompressoren) auf Basis von Trenderkennung
- Anpassung des Druckluftbedarfs der Gesamtstation aus mehreren Kompressoren an den Bedarf unter Berücksichtigung der Effizienz (zum Beispiel Regelverluste von FU-Kompressoren, Schaltverluste (Last-, Leerlauf) von starren Kompressoren und akzeptable Druckschwankungen)
- Anzeige und Speicherung der Messwerte (Druck, Leistungsaufnahme) je Kompressor
- Erstellen von Energie- und Druckluftbilanzen
- Betriebszustandsüberwachung, Alarmer
- Anzeige von Gesamtdiagrammen für wichtige Messwerte
- Anzeige und Protokollierung der Anzahl der Motorstarts und der Last-/Leerlaufschaltungen
- Überwachung vieler weiterer Daten (Vibration, Drucklufttemperatur, Kältetrockner und so weiter)
- Verschiedene Software- oder Hardwareschnittstellen zu Gebäudeleittechnik-/Energiemanagement-Software, zum Beispiel OPC UA, Unified Serial Bus (USB)
- Verknüpfung zu Cloud-Services (zum Beispiel Predictive Maintenance, Fernwartung)

### **Funktion der Datenlogger vor Ort**

- Anschluss mehrerer Sensoren (zum Beispiel bis zu 12) über unterschiedliche Eingänge (RTU, analog et cetera)
- Darstellung der Messwerte und Trends auf Bildschirm
- Überwachung durch Einstellung von Alarmen
- Berechnung von Kennzahlen (EUR/m<sup>3</sup>, kWh/m<sup>3</sup>, Summenverbräuche einzelner Stränge et cetera)
- Verbindung zu Web

### **Funktion der Energiemanagementsoftware**

- Erzeugte Druckluft in m<sup>3</sup>/h über die Zeit
- Aktueller Betriebsdruck und über die Zeit
- Aufgenommene Leistung der Druckluftanlage über die Zeit
- Spezifischer Energieverbrauch über die Zeit [kW/m<sup>3</sup>/h]
- Überblick aller Energieverbraucher (zum Beispiel Anlagen, Linien, Kostenstellen) über Zeiträume (Schichten, Kalendertage, Stunden)
- Anteil zum Beispiel von Druckluft an Gesamtstrombedarf gesamt, an Stromverbrauch in betriebsfreier Zeit
- Gesamtverbrauch der Druckluftmenge [m<sup>3</sup>] pro Kalenderwoche, Leistungsaufnahme pro Kalenderwoche [kWh]
- Leckagenermittlung

- Verknüpfung von Energieverbrauch mit Umgebungs- und Betriebsbedingungen (Umgebungstemperatur und -feuchte, produzierte Stücke)
- Analysen von spezifischen Verbräuchen (zum Beispiel Gesamtstromverbrauch pro Stück pro Woche)
- Genutzte Wärme – Wärmerückgewinnung

#### **Funktion der Cloud**

- Datenübertragung an Externe (oder Firmeninterne etwa bei globalen Unternehmen)
- Analyse dieser Daten (historische Daten, Trendentwicklung, prädiktive Fehlererkennung)
- Fernwartung
- Energiemanagement über Cloud

### **5.3 Möglichkeiten und Barrieren der Digitalisierung laut Anwender:innen und Anbieter:innen**

In Task 3 des Annexes Electric Motor Systems „Neue industrielle Entwicklungen und Digitalisierung“ werden auch technische und politische Empfehlungen zur Nutzung von digitalen Technologien für erhöhte Energieeffizienz in elektrischen Motorsystemen erstellt. Im Frühjahr/Sommer 2022 wurden in Österreich sieben Interviews und in Schweden zehn Interviews mit Expertinnen und Experten zu Barrieren in der Digitalisierung und weiteren Themen geführt.

Befragt wurden in Österreich sieben Expertinnen und Experten aus folgenden Branchen:

- Getränkeherstellung
- Gasmotorenherstellung
- Energiemanagement
- Vertrieb von Druckluftsteuerungen
- Digitalisierung
- Energieberatung und Planung im Bereich Energieeffizienz
- Energieberatung im Bereich Druckluft und Messung

Die wichtigsten Fragenstellungen waren:

- Welche konkreten Digitalisierungslösungen bieten Sie an oder haben Sie eingesetzt?
- Was waren die wichtigsten Beweggründe für die Einführung der Digitalisierung?
- Welches waren die Hauptprobleme bei der Umsetzung der Lösung, wie haben Sie sie gelöst?
- Welche allgemeinen Hindernisse und Herausforderungen sehen Sie bei der Umsetzung der Digitalisierung?

- Gibt es etwas, das Ihnen die Arbeit erleichtert hätte? Zum Beispiel politische Instrumente, Standardisierung, besser zugängliche Informationen.

Nachstehend sind die wichtigsten Ergebnisse der Interviews in Österreich zusammengefasst.

### 5.3.1 Ziele im Zusammenhang mit Digitalisierung

Viele Unternehmen haben in den letzten Jahren eine eigene Nachhaltigkeitsabteilung aufgebaut. Themen, die in solchen Abteilungen bearbeitet werden, wie die Circular Economy und Sustainable Supply Chain, sind auch als Rahmen für die Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen wichtig.

Die Vorgabe zum Berichten und Erreichen von Zielen zu Wasser-, Energie- und CO<sub>2</sub>-Verbräuchen sind für Unternehmen oft der Auslöser, um in die Digitalisierung beziehungsweise elektronische Datenerfassung von elektrischer Energie und weiterer Medien wie Dampf, Heißwasser oder Druckluft zu investieren. Beispielsweise gehört dazu die Erfassung des CO<sub>2</sub>-Footprint von Getränkeverpackungen für nachgelagerte Getränkehersteller.

Für das Nachhaltigkeitsmanagement und das Berichten in der Supply Chain sind Kennzahlen wichtig, die den Energieverbrauch, also den Verbrauch von Gas und Strom, sowie Wasser auf die produzierte Menge des Produkts in Kilogramm oder Liter beziehen und auf Unternehmensebene erstellt werden. Ziel der Unternehmen ist es in weiterer Folge, Kennzahlen auf Linienebene und schließlich auf Produktebene zu erstellen. Derzeit ist hier das Berücksichtigen sogenannter Scope-3-Emissionen in Entwicklung. Dazu müssen alle Medien zugeordnet werden können. Für die Erhebung und Dokumentation von energieverbrauchenden Anlagen sollen beispielsweise in einer zentralen Leittechnik alle Kälteanlagen, Druckluftkompressoren und Lüftungsanlagen aufgenommen werden. Das Berichten und die Visualisierung solcher Kennzahlen führt bei den Mitarbeitenden zu Bewusstseinsbildung und damit umsichtigen Umgang mit Energie.

Ein spezielles Ziel kann sein, Lastmanagement zu ermöglichen und die Betriebs- und Energieerzeugungsanlagen in Abhängigkeit der Energiepreise und/oder der Wetterprognosen zu betreiben. Mit diesen Werten können dann weitere Ziele verfolgt werden:

- Senkung des Stromverbrauchs in Nichtproduktionszeiten; Wochenendabschaltung
- Einführung von Grenzparametern, Nachweis des Mehrverbrauchs durch Energiemanager:innen zum Beispiel bei Einstellung der Kühlung auf 12 °C statt auf 16 °C
- Energieschwellenwerte für Kompressoren

Weitere Ziele im Zusammenhang mit der Investition in Digitalisierungslösungen an Produktionsstandorten sind:

- Gewährleistung gleichbleibender Qualität im Produktionsprozess
- Schaffung von Transparenz im Produktionsprozess
- Einsparung von Energie und Senkung der Energiekosten
- Automatisierte Leckagensuche
- Ausschalten bestimmter Anlagen/Kompressoren oder Druckabsenkung am Wochenende
- Präventive Wartung von Maschinen (Erkennen von Druckschwankung von Pumpen, Verschleißüberwachung bei Motoren)
- Condition Monitoring durch Vibrationsanalyse
- Produktdesign inklusive Simulation von Materialverbrauch
- Simulation von Anlagen, bevor sie real installiert werden (zum Beispiel Simulation des Energiebedarfs der Druckluftstation bei Installation eines effizienteren Kompressors)
- Effizienter Betrieb der Anlage (durch Energiedatenmanagement oder Manufacturing Execution Systems (MES) et cetera)
- Nachweis des Erfüllens von gesetzlichen Vorgaben
- Qualitätssicherung durch Erkennen und Reduktion von Ausschuss beziehungsweise fehlerhaften Produkten durch visuelle Analyse und Einführen automatisierter Arbeitsschritte
- Automatisierung, um Personalmangel auszugleichen
- Erleichterung des Ausprobierens unterschiedlicher Parameter

Detailziele können sein:

- Erhöhung der Laststunden beziehungsweise Vermeidung von Leerlaufstunden von Druckluftkompressoren
- Verringerung der Abhängigkeit von einzelner Hersteller
- Intelligente Anlagensteuerung für Förderschnecken, um mechanische Belastung von Getrieben und Motoren zu verringern

Im Folgenden sind die in den Interviews genannten Barrieren angeführt, getrennt in technische, organisatorische und ökonomische Barrieren.

### **5.3.2 Technische Barrieren**

Durch das Fehlen aktualisierter Schemata der Druckluft- und Lüftungsnetze ist es schwierig, geeignete Messstellen zu finden und diese dann korrekt auszuwerten, da nicht bekannt ist, welche Anlagen aktuell angeschlossen sind.

Es sind viele Systeme im Einsatz, die alle Daten sammeln, kein System fasst aber diese Daten sinnvoll zusammen und interpretiert sie. Beispielsweise wurde in einem Unternehmen Energie auch im

Produktionsdatenmanagement erfasst, hatte dort aber einen geringen Stellenwert und die Erfassung funktionierte nicht wie gewünscht. Die Auswertung von Monatswerten dauerte zu lange und es konnten keine Zähler selbst hinzugefügt werden.

Jedes Unternehmen hat verschiedene Leitsysteme, diese sind nicht dafür gedacht, dass Daten herausgezogen werden. Zur Datenauslese für Energieberatungen ist es notwendig, mit der Installations- und Einrichtungsfirma zu telefonieren. Teilweise bekommt man die Daten aus dem Leitsysteme über Text-File und SQL-Daten. Für bestimmte Hersteller muss aber ein spezifisches Programm gekauft werden, um Daten in ein Format zu bringen, das von der eigenen Software verarbeitet kann.

Ein Holzplattenerzeuger wollte Energieeffizienzdaten in ein Produktions- und Maschinendatensystem einpflegen. Dort werden binäre Daten zum Regeln und Steuern benötigt, die Datenübertragung bei Druckluftvolumenstrommessung erfolgt jedoch über analoge Signale.

Ein weiteres Hindernis beim Aufbau eines Energiemonitorings ist zum Beispiel das Fehlen zentraler Schaltschränke für einzelne Linien, was das Messen des Gesamtstromverbrauchs dieser Linien erschwert, oder der Ausfall von Zählern, was einen Vergleich über Zeiträume und Trenderkennung schwierig macht.

Abfüllanlagen haben gewisse Standards im Performance-, aber nicht im Energiebereich; hier wäre eine weitere Standardisierung erforderlich. In der Industrie gibt es sehr viele unterschiedliche Kommunikationssysteme zur Datenübertragung, beispielsweise Profibus oder Meter-Bus (M-Bus). Außerdem sind Konvertierungspunkte zwischen den einzelnen Systemen erforderlich. Daher sind für Datenerfassungssysteme eine Vielzahl von Komponenten erforderlich.

Mittlerweile etabliert sich für die Datenübertragung Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA) als Standard. Dies ist allerdings nicht immer der Fall; es wäre daher sinnvoll, einheitliche Schnittstellen vorzuschreiben. Die Datenübertragung kann aber auch über das Netzwerkprotokoll Modbus und Netzwerkabel erfolgen. Modbus-Standards werden jedoch teilweise nicht ganz befolgt.

Generell führt die Vielzahl vorhandener Systeme zum Erfordernis unternehmensspezifischer Lösungen. Daten müssen für bestimmte Anwendungen nicht nur am USB-Stick abrufbar, sondern live übertragbar sein. Für Werkzeugmaschinen ist es teilweise nicht ausreichend, die Schärfe des Messers im USB abgespeichert zu haben. Diese Maschinen müssten für den laufenden Datentransfer nachgerüstet werden.

Die Digitalisierung einzelner Maschinen führt auch dazu, dass die Fehlersuche nicht mehr durch die Mitarbeiter:innen vor Ort, sondern zum Beispiel durch externe Fachleute über Fernwartung erfolgen muss. Dies bedingt, dass höhere Cybersecurity-Anforderungen an den Maschinenpark gestellt werden, um keine Angriffsfläche für die gesamte Fabrik zu bieten. Dies kann beispielsweise durch eine Vielzahl von Firewalls gelöst werden.

Zur Nutzung von Künstlicher Intelligenz ist eine Datenbereitstellung beziehungsweise -erfassung über alle verschiedenen Anlagenzustände über einen großen Zeitraum notwendig, was zu einer langen Einführungsphase führt. Bei einigen Betrieben ist die Visualisierung von Daten auf allen Endgeräten und Anzeigen schwierig.

Die automatische Abschaltung von Maschinen am Wochenende, um Energie zu sparen, ist bei einem der befragten Unternehmen schwierig, da die Maschinen nicht mit fixen Laufzeiten hinterlegt werden können. Sie werden produktionsabhängig auch am Wochenende betrieben, deswegen bleiben Mitarbeiter:innen weiterhin dafür verantwortlich.

### **5.3.3 Organisatorische Barrieren**

Mitarbeitenden ist oft nicht bewusst, wie viel Energie für Druckluft, Kälte oder Beleuchtung verwendet wird. Sie gehen damit um, als wäre die Energie kostenfrei, und verwenden Druckluft zum Kühlen. Es sollte daher regelmäßige Besprechungen geben, wo deutlich kommuniziert wird, welche Kosten dahinterstehen.

Für Mitarbeiter:innen ist es bequemer, eine Maschine übers Wochenende laufen zu lassen, anstatt sie abzuschalten. Sie ersparen sich nämlich am darauffolgenden Werktag, in der Früh zehn Minuten warten zu müssen, bis die Maschine wieder betriebsbereit ist.

In Unternehmen sind die Personalressourcen für Automatisierungstechnik die größte Hürde. Meist gibt es nur eine Fachkraft im Unternehmen, die die geeigneten Programmierkenntnisse hat, um zum Beispiel einen Zähler einbauen und in das Erfassungssystem integrieren zu können. Jedoch ist auch Wissen aus anderen Bereichen zum Beispiel über Förderungen relevant, um Einsparmaßnahmen in Betrieben umzusetzen.

In vielen Unternehmen ist der Umgang mit den Daten nicht geregelt. Es ist zu erfassen, ob bereits Daten für den jeweiligen Zweck vorhanden sind, ob sie technisch zugänglich sind, wer das Recht hat, darauf zuzugreifen, wer dafür zuständig ist und wann diese gelöscht werden. Beispiel ist eine Steuerung, in der die Produktionsdaten verfügbar sind.

Für die Installation von neuen Zählern ist das Problem die Installationszeit (beziehungsweise die Ressourcen dazu). Ein Beispiel ist ein Wärmemengenzähler für eine Hauptversorgungsleitung: Hier musste zwei Jahre auf den Einbau gewartet werden, da sie immer in Betrieb war.

Auch bei bereits installierten Zählern ist es mit Aufwand verbunden, herauszufinden, was sie messen und wie man diese Daten automatisiert weiterverarbeiten kann. Zur Bestimmung der vom Zähler erfassten Daten ist die Rücksprache mit Verantwortlichen erforderlich, damit man sie zu-

ordnen kann. Aus dem Rohrleistungs- und Instrumentierungsfließbild (R&I-Schema) sind Datenpunkte zu bestimmen und es ist dann herauszufinden, welche Bezeichnung diese Datenpunkte im Leitsystem haben.

In vielen Fällen sind noch nicht alle Zähler automatisiert ablesbar. Dann ist es erforderlich, bestimmte Zähler manuell abzulesen, um das gesamte Unternehmen in der Energiedatenerfassung abzubilden.

Für die Energieanalyse sind auch weitere Daten von Anlagen erforderlich, insbesondere deren Betriebsparameter. Diese werden aber nur zum Regeln verwendet und nicht gespeichert. Normalerweise werden nur prozessrelevante Daten gespeichert, zum Beispiel Temperaturen in der Lebensmittelindustrie. Diese werden dann aber alle ein bis zwei Jahre gelöscht.

Die Dateninterpretation und -plausibilisierung ist in vielen Fällen sehr aufwendig. Bei übernommenen Daten aus der Gebäudeleittechnik ist nach dem Bereinigen der Daten (Data Cleansing) teilweise die Hälfte unbrauchbar. Eine weitere Herausforderung besteht in der Bearbeitung der Unmenge an Daten. Künstliche Intelligenz kann dabei helfen, sie ist aber eine Technik für Experten und Expertinnen. Für die Anwender:innen müssen die Daten dann erst aufbereitet werden.

### **5.3.4 Ökonomische Barrieren**

Neue Projekte müssen laut den Interviewten statische Amortisationszeiten (Return on Investment – ROI) von 2,5 bis unter 3 Jahren erfüllen; aufgrund der damaligen (bis 2022) niedrigen Energiepreise wird das für Energieprojekte als schwierig angesehen. Allerdings werden bei Photovoltaikprojekten auch viel längere ROIs akzeptiert. Eines der befragten Unternehmen berücksichtigt daher bei der Beurteilung neben der Senkung der Energiekosten auch weitere Vorteile, etwa durch präventive Wartung und durch längere Standzeiten der Komponenten.

Generell wird angemerkt, dass ROI kein guter Indikator zur Wirtschaftlichkeitsbewertung ist, da beispielsweise nach zwei Jahren eine Effizienzsteigerung beziehungsweise Energieeinsparung zu 100 % in die Reduktion der Energiekosten eingeht. Intelligente Steuerungen rechnen sich bereits zwischen 0,5 und 2 Jahren.

Mehrere Interviewte gaben an, dass sich der ROI von Digitalisierungsprojekten zwar nicht oder nur schwierig rechnen lässt, aber Digitalisierung einfach eine Notwendigkeit sei, um weiterhin erfolgreich wirtschaften zu können.

In mehreren Unternehmen werden die Energiekosten generell der Infrastruktur zugerechnet, aber dann pauschal nach bestimmten Schlüssel verteilt. Besser wäre es, wenn die Produktion für die Energiekosten verantwortlich wäre.

### 5.3.5 Empfehlungen

Eines der befragten Unternehmen betont, dass es bei Digitalisierungsprojekten wichtig sei, zunächst zu überlegen, was man überhaupt machen will. Dazu gehört auch zu prüfen, ob Korrekturmaßnahmen auf Basis der gewonnenen Informationen überhaupt möglich sind. Dies wird über Workshops gelöst, um verschiedene Interessen von unterschiedlichen Stakeholdern abzufragen.

Bei der Diskussion von Digitalisierungsprojekten kommt man auch auf Themen, die durch Digitalisierung verbessert oder ermöglicht werden können, etwa wie Performance des Prozesses (also Output pro Zeit), Fertigungsfeinplanung, Ressourceneffizienz, Flexibilisierung von Lasten oder Einbindung von PV.

Mehrere Interviewte betonen, dass Digitalisierung beziehungsweise die Umsetzung einer „Data-driven Company“ eine Managementfrage ist und zur Unternehmenskultur werden muss. Dazu müssen auch Mitarbeiter:innen, die Angst um ihren Arbeitsplatz haben, ins Boot geholt werden.

Mit der Bestellung einer für Nachhaltigkeit oder Energiemanagement verantwortlichen Person bekommt das Thema Energieeffizienz und Energieeinsparung einen höheren Stellenwert. Das Thema der Berechnung des „Corporate Carbon Footprint“ ist ebenfalls wichtig.

Unterschiedliche Funktionsbereiche in Unternehmen haben auch unterschiedliches Interesse an einer Datenerhebung: Die Controllingabteilung will wissen, welche Kostenstelle wie viel Energie benötigt. Der Einkaufsabteilung hilft eine Vorhersage des Energiebedarfs für eine günstigere Energiebeschaffung. Die Energiemanagementabteilung interessiert sich für eine genaue Energiemessung der Verbraucher und der Wartungsabteilung helfen Daten, die eine vorausschauende Instandsetzung ermöglichen. Wichtig ist es daher, abteilungsübergreifend festzulegen, welche Daten beziehungsweise Kennzahlen benötigt werden. Die Akzeptanz zum Datensammeln und -auswerten steigt dadurch und die Daten werden nach Umsetzung des Projektes auch ausgewertet. Dazu ist festzulegen, was für Ziele zu erreichen sind: CO<sub>2</sub>-Neutralität oder 15 bis 20 % Energiesparen.

Für die zu erfassenden Anlagen sind nicht nur Strom, sondern auch Dampf, Druckluft, Wasser, vollentsalztes Wasser und technische Gase zu betrachten. Dann ist festzulegen, welche Daten davon die wichtigsten sind sowie welche Kennzahlen erfasst und welche Messstruktur gewählt werden sollen. Im Anschluss sind die Ist-Werte zu erheben.

Für die Auswertung der Daten ist der Kontext wichtig: Ein niedrigerer Energiebedarf kann auch mit einer niedrigeren Produktionszahl oder anderen Faktoren zusammenhängen. Um relevante Abweichungen festzustellen, ist die Kommunikation mit vielen verantwortlichen Personen notwendig. Generell ist es daher wichtig, den Produktionsstatus der Maschine zu erfassen, also ob tatsächlich produziert wird. Als Bezug reichen bei Gebäuden die Heizgradtage, in der Industrie können aber mehrere Parameter wichtig sein. Dazu sind Regressionsanalysen und teilweise digitale Zwillinge

erforderlich, die auch das Erkennen von Ineffizienzen ermöglichen, da der Ist-Wert mit den Model-  
lergebnissen und nicht einem statischen Wert verglichen wird.

Unternehmen sollen ein monatliches, teilweise sogar wöchentliches Reporting des Energiever-  
brauchs erstellen. Die Visualisierung von Kennzahlen führt zur Bewusstseinsbildung der Mitarbei-  
ter:innen. Durch Anzeige des Energieverbrauchs für die jeweilige Anlage beziehungsweise Linie  
werden Produktionsleitende nicht nur für den Output, sondern auch für die dazu benötigte Ener-  
giemenge verantwortlich. Dies führt längerfristig zu effizienteren Prozessen, denn die Anzeige  
schafft Transparenz darüber, welche die effizienteste Linie ist und was die Gründe dafür sind.

Für die Energiedatenanalyse sind leicht exportierbare Daten aus dem Leitsystem sehr hilfreich.  
Leitsystemhersteller sollen daher verpflichtet werden, die Daten nicht nur exportierbar, sondern  
auch in leicht bearbeitbarer Form (zum Beispiel TXT-File oder SQL-Daten) zur Verfügung zu stellen.  
Im Handbuch ist zu beschreiben, wie Daten aus dem Leitsystem übertragen werden können.

Generell sollten Unternehmen für die Hauptenergieverbraucher ein Monitoring aufbauen. Ab ei-  
ner bestimmter kW-Leistung eines Druckluftkompressors sollte ein verpflichtendes Monitoringsys-  
tem installiert sein und eine übergeordnete Steuerung erfolgen.

Bei der Beschaffung von Maschinen ist eine über OPC-UA-Protokoll auslesbare elektrische Energie-  
messung und Luftmengenmessung einzufordern. Allgemein sollten einheitliche Schnittstellen (zum  
Beispiel OPC UA) vorgeschrieben und Standards für Messungen im Energiebereich für Produktions-  
anlagen erstellt werden.

Die Politik sollte klare, an Industriebetriebe gerichtete Einsparziele definieren. Oft sind die tatsäch-  
lichen Potenziale vor einer genaueren Analyse jedoch nicht bekannt. Daher würde die Verpflich-  
tung zur Einsparung bewirken, dass mehr Unternehmen detaillierte Analyse durchführen lassen.

## **5.4 Analyse von Forschungs-, Investitions- und Ausbildungspro- grammen**

Ziel des Projektes war es auch, aktuelle Forschungs- und Investitionsprogramme im Bereich Digita-  
lisierung und Energieeffizienz in der Industrie zu identifizieren, die Projekte im Bereich elektrische  
Motorsysteme fördern oder den Förderbedingungen entsprechend fördern könnten. Zusätzlich  
wurden ausgewählte Ausbildungsprogramme in diesem Bereich recherchiert. Nachfolgende Pro-  
gramme werden für EMSA näher beschrieben, da sie insbesondere den Schwerpunkt Digitalisie-  
rung und Energieeffizienz in der Industrie abdecken. Aus dieser Liste werden in diesem Bericht drei  
Programme angeführt, die tatsächlich aktuelle Projekte fördern. Generell gibt es in Österreich im  
Forschungsbereich mehrere Programme, die Digitalisierung und Energieeffizienz in der Industrie  
zum Schwerpunkt haben beziehungsweise gut abdecken können.

Tabelle: Wichtige Programme mit Fokus Energieeffizienz und Digitalisierung in Österreich

Programmname	Förderinstitution
COMET – Competence Centers for Excellent Technologies	FFG
COIN (Cooperation & Innovation)	FFG
aws Energie & Klima	aws
aws Investitionsprämie	aws
aws Digitalisierung	aws
Smart and Digital Services	FFG
Informations- und Kommunikationstechnologie (IKT) der Zukunft	FFG
Produktion der Zukunft	FFG
Energieforschung	Klima- und Energiefonds

### Forschungs- und Investitionsprogramme

Das Förderprogramm **COIN (Cooperation & Innovation)** zielt darauf ab, Forschungs- und Innovationsaktivitäten von kleinen und mittleren Unternehmen (KMU) zu stimulieren, indem neue Technologien auf dem Markt oder im Unternehmen eingeführt werden (FFG, COIN, 2024). Ein weiteres Ziel ist es, die Vernetzung zwischen Forschungseinrichtungen, Hochschulen und Unternehmen zu stärken. Diese Ziele sind in zwei Module unterteilt: „Forschung für die Wirtschaft“ und „KMU-Innovationsnetzwerke“. Seit 2014 können Hochschulen ihre Projektvorschläge in der Kategorie Forschung für die Wirtschaft einreichen und erhalten Förderquoten von bis zu 70 % beziehungsweise zwischen 0,3 und 1,3 Millionen Euro. Die Förderung deckt Personalkosten, Sachkosten und sonstige Ausgaben ab. Im Modul KMU-Innovationsnetzwerke können Kooperations- und Netzwerkprojekte zwischen KMU und Forschungseinrichtungen gefördert werden, in denen durch Technologietransfer neue Produkte, Verfahren oder Dienstleistungen entwickelt werden. Die Fördersumme liegt zwischen 0,1 und 0,2 Millionen Euro.

Das Projekt Data-driven Analytics for HVAC Systems (datalytics4HVAC) wird im Rahmen des Moduls Forschung für die Wirtschaft gefördert (FFG, datalytics4HVAC, 2024). Ziel des Projektes ist die Entwicklung modularer und skalierbarer Inspektions- und Diagnoseverfahren zur automatisierten Betriebsleistungs- und Fehlererkennungsanalyse von gebäudetechnischen Anlagen und Systemen (HLK-Anlagen). Dabei sollen Methoden wie modellbasierte Analysen und maschinelles Lernen eingesetzt werden. Um die Analysemethoden zu validieren, werden zwei bestehende Bürogebäude sowie zwei Wohngebäude getestet.

Ziel des Förderprogramms **aws Energie & Klima** ist es, kleine und mittlere Unternehmen dabei zu unterstützen, einen an ihre Bedürfnisse angepassten Einstieg in das Energiemanagement zu finden (aws, 2024). Das Programm übernimmt 30 % der Investitionskosten (bis zu 50.000 Euro) für das Energiemanagementsystem, einschließlich der entsprechenden Software, der Messtechnik (Strom, Spannung, elektrische Leistung, Volumenstrom, Druckluftmenge) und der externen Schulungskosten für die Einführung des Systems.

Die Tiefkühlkostproduktion Meisterfrost hat ein Energiemanagementsystem eingeführt. Das System wurde Anfang 2020 mithilfe der Förderung für die beiden Standorte in Sinnersdorf und den dritten in Rohrbach an der Lafnitz eingerichtet (Energieinstitut der Wirtschaft, 2021). Es ist nun möglich, detailliert zu verfolgen, wann, wo und wie viel Energie verbraucht und erzeugt wird. Mit dem System kann das Unternehmen systematisch Energie-Know-how in seinen Betrieben aufbauen und detaillierte Einblicke darüber gewinnen, wann und wie viel Energie verbraucht und erzeugt wird. Das System umfasst auch Energieüberwachung und Automatisierung, um eine effiziente Nutzung der selbst erzeugten Ökoenergie sicherzustellen. Der Strom stammt hauptsächlich aus sechs Photovoltaikanlagen und einem kleinen Wasserkraftwerk mit einer Gesamtleistung von 600 kW. Zwei größere Photovoltaikanlagen speisen derzeit Strom in das öffentliche Netz ein, mit dem Ziel, eine klimaneutrale Kühlung aller Produkte zu erreichen.

Das vom Klima- und Energiefonds unterstützte Programm **Energieforschung** dient als Initiative zur Finanzierung von Energieinnovationen in Österreich (FFG, Energieforschung, 2024). Mit einem Schwerpunkt auf neuen Trends wie der Digitalisierung zielt das Programm darauf ab, innovative Entwicklungen im Bereich der sauberen Energietechnologien in ganz Österreich zu unterstützen. Vorrangig ist dabei, Österreichs internationale Position als Energie-Innovationsland zu stärken und die Exportchancen zu erhöhen. Das Programm fördert die Forschung und Entwicklung von Energielösungen entlang der gesamten Wertschöpfungskette, von der Idee bis zur vollen Funktionalität. Beispiele sind Datengenerierung, -bereitstellung und -analyse, Digitalisierung von integrierten regionalen Energiesystemen sowie Digitalisierung von industriellen Energiesystemen. Für das Programm gilt ein maximaler Finanzierungssatz je nach Instrument, eine Obergrenze gibt es nicht.

Das Projekt KI4HVACS wurde im Rahmen des Förderprogramms Energieforschung finanziert (FFG, KI4HVACS, 2024). Ziel ist die Entwicklung eines maschinellen Lernmodells für HVAC-Systeme (Heating, Ventilation, Air Conditioning), das verschiedene Betriebszustände analysieren kann, um die Leistung zu optimieren und eine vorausschauende Instandhaltung zu ermöglichen. Auf diese Weise zielt das Modell nicht nur darauf ab, Verschleiß vorzubeugen und Kosten zu senken, sondern auch die Auswirkungen der Abnutzung auf den geplanten Gesamtenergieverbrauch abzuschwächen. Zu den erwarteten Ergebnissen gehören ein Energieeinsparungspotenzial von bis zu 30 % und eine Kostenreduzierung von etwa 40 % im Vergleich zu herkömmlichen Systemen. Die praktische Validierung des Modells wird an realen Anlagen getestet.

### **Ausbildungsprogramme**

Das Masterstudium **Elektrische Energietechnik und nachhaltige Energiesysteme** an der Technischen Universität Wien fokussiert auf die Entwicklung und Auslegung von Einzelkomponenten bis hin zu Gesamtlösungen für elektrische Energiesysteme (TU Wien, 2022). Es umfasst auch die Analyse und Modellierung der Transformation zu einem nachhaltigen CO<sub>2</sub>-neutralen Energiesystem. Der Schwerpunkt des Programms liegt auf der Entwicklung und Anwendung von Technologien zur Umwandlung erneuerbarer Energien und deren Integration in nachhaltige und digitale Energiesysteme unter Berücksichtigung technischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte.

Das Masterstudium **Embedded Systems** an der Technischen Universität Wien vermittelt den Studierenden die Grundlagen des analogen und digitalen Schaltungsentwurfs, der Mixed-Signal-Schaltungen und der System-on-Chips-Entwicklung (TU Wien, 2024). Die Studierenden können Fachwissen über den Entwurf anwendungsspezifischer Embedded Systems, den Umgang mit Systemanforderungen und die Gewährleistung von Sicherheitsaspekten durch Systemverifikation erwerben. Das Curriculum umfasst Schaltungstechnik, Systems Engineering, Requirements Engineering und Schaltungsentwurf und bietet eine theoretische und methodische Grundlage. Der Studiengang ermöglicht eine Spezialisierung in Bereichen wie Automatisierung, Robotik und Energienetze.

Der **Executive MBA in Green and Digital Transition** an der Technischen Universität Graz ist ein Programm, das Führungskräfte in Unternehmen unterstützt, den digitalen und „grünen“ Wandel zu mehr Nachhaltigkeit als ganzheitlichen und integrativen Prozess zu verstehen und umzusetzen (TU Graz, 2024). Das Programm ist auf 18 Monate (drei Semester) ausgelegt und wird in deutscher und englischer Sprache unterrichtet. Nach Abschluss des Programms erhalten die Teilnehmenden den Titel Executive Master of Business Administration in Green and Digital Transition (EMBA).

Das Masterprogramm umfasst mehrere Module. Der Kurs „Advanced Digital Technologies“ beispielsweise gibt einen Überblick über etablierte und aufkommende digitale Technologien, ihren Reifegrad und ihre Auswirkungen. Er behandelt Themen wie künstliche Intelligenz, Big Data, virtuelle Realität, Blockchain und Cybersicherheit. Ein weiterer Kurs („Energy & Green Production“) vermittelt einen Einblick in das österreichische Energiesystem, seinen technischen und regulatorischen Hintergrund sowie die Herausforderungen im Zusammenhang mit der Klimaneutralität. Außerdem werden Themen wie Energiesystemanalyse, Energieeffizienzmaßnahmen und Optimierung von Energiesystemen behandelt. Die Studiengebühren für diesen Masterstudiengang betragen 25.000 Euro für drei Semester.

## **5.5 Normung im Bereich Digitalisierung**

Eine große Herausforderung bei der Umsetzung von Digitalisierungslösungen sind zum einen die Kommunikationsfähigkeit zwischen den Maschinen und Anlagen und zum anderen die Vielzahl der auch innerhalb von Unternehmen verwendeten Systeme. Aus diesem Grund werden innerhalb

dieses Projektes die am weitesten verbreiteten Standards und Normen sowie deren Entwicklung untersucht und die Ergebnisse in diesem Kapitel dargestellt.

Die Geräte der Fabrikautomation sind über industrielle Kommunikationssysteme mit dem Leitsystem verbunden (Ellwein, 2019). Verschiedene Komponenten eines Systems, wie beispielsweise Verdichter, Ventilatoren im Verflüssiger und Verdampfer und Kälteregele in einem Kältekreis, werden über ein lokales Bussystem verbunden. Damit können die Daten lokal abgerufen werden. Arbeitsmaschinen werden über den lokalen Bus mit einem Regler, Frequenzumrichter oder Sensor verbunden.

Diese Kommunikationssysteme werden auch als Feldbusse bezeichnet (Plattform Industrie 4.0, 2021). Die Informationsmodelle der Geräte werden informell in sogenannten Feldbusprofilen beschrieben. Leider unterscheiden sich die Informationsmodelle von einem Feldbus zum anderen. Daher sind Automatisierungsgeräte mit unterschiedlichen Feldbussen auf der Ebene der Anwendungsdaten und Funktionen nicht interoperabel. Endanwender:innen wählen in ihren Anlagen eine Vielzahl von Feldbussen je nach Anforderungen und Präferenzen aus. Infolgedessen bieten die Gerätehersteller ein und dasselbe Gerät mit unterschiedlichen Feldbus-Kommunikationsschnittstellen an.

Als Kommunikationsprotokoll zum Datenaustausch wird dabei sehr häufig **Modbus** verwendet, das den Datenaustausch zwischen einem Master (Regler, Computer) und mehreren Slaves (Steuer- oder Messeinheit) ermöglicht (Ellwein, 2019; kvm concepts GmbH, 2024). Das offene Protokoll ist Industriestandard für die Verbindung von Computern mit Mess- und Regelsystemen. Die Version Modbus TCP ist Teil der Norm IEC 61158.

Der Master initiiert die Kommunikation, der Slave antwortet entsprechend auf die Anfrage. Damit ermöglicht das Protokoll die Steuerung der angeschlossenen Geräte durch den Master und die Übermittlung der Messdaten von den Slaves an den Master. Als Übertragungssystem kann der serielle Anschluss oder Ethernet genutzt werden.

Man unterscheidet drei Betriebsarten:

1. Bei Modbus TCP werden die Daten in TCP/IP-Paketen in binärer Form mittels Ethernet als Datenübertragung versendet (Transmission Control Protocol, kurz TCP: Standard zum Aufbau von Netzwerkkonversation; IP bedeutet Internet Protocol und definiert, wie Computer Datenpakete versenden).
2. Bei Modbus RTU (Remote Terminal Unit) werden die Daten ebenfalls binär und normalerweise über RS-485 übertragen, einen Standard für eine physische Schnittstelle.
3. Bei Modbus ASCII wird ein ASCII Code (American Standard Code for Information Interchange) übermittelt, der für Menschen direkt lesbar ist. Die Nachricht beginnt mit einem Doppelpunkt, nach der Adresse folgt der auszuführende Befehl und die Daten.

Ein weiteres häufig in der Automatisierungstechnik eingesetztes Kommunikationsprotokoll ist **Profibus** (Heinen Elektronik GmbH, 2024). Es ist ein Multi-Master-System, das heißt, dass mehrere Komponenten als Master die Kommunikationsabläufe steuern können. Im Kern steht die speicherprogrammierbare Steuerung (SPS), die die Kommunikation zwischen den Einheiten koordiniert. Die RS-485-Schnittstelle ist dabei die am häufigsten verwendete Übertragungstechnik.

Der Technical Report (TR) der Internationalen Electrotechnical Commission (IEC) „TR 62390“ hat bereits 2005 ein gemeinsames Geräteinformationsmodell und einen Weg zur Harmonisierung von Feldbusprofilen vorgeschlagen (Plattform Industrie 4.0, 2021). Ein Technical Report hat rein informativen und nicht normativen Charakter. Infolgedessen und auch aufgrund von Feldbus-Altmodellen sowie der Politik der Feldbusorganisationen wird dieser Bericht derzeit nicht verwendet, sodass der potenzielle Nutzen für Anwender:innen und Hersteller verloren geht. Wie bereits beschrieben wird in den letzten Jahren sehr oft Modbus beziehungsweise OPC UA (siehe unten) eingesetzt.

**Open Platform Communications Unified Architecture (OPC UA)** ist ein Kommunikationsstandard in der Industrie, der den Zugriff auf Maschinen im industriellen Umfeld standardisiert und einen herstellerunabhängigen Datenaustausch ermöglicht (OPC Foundation, 2024; Inray Industrie Software GmbH 2024). Regelgrößen, Messwerte, Parameter und weitere Maschinendaten können damit maschinenlesbar semantisch beschrieben werden. Der Standard wurde entwickelt, um SPS-spezifische Protokolle wie Modbus oder Profibus zu einer standardisierten Schnittstelle zu abstrahieren, die es übergeordneten Systemen ermöglicht, generische SPS-Lese- und Schreibfragen in gerätespezifische Anfragen und umgekehrt umzuwandeln. Der Standard besteht aus einer Reihe von Spezifikationen, die die Schnittstelle zwischen Clients und Servern sowie Servern und Servern definieren, einschließlich der Überwachung von Alarmen sowie des Zugriffs auf Echtzeit- und historische Daten und Ähnliches.

Der OPC-Server ist die Basis der Kommunikation und stellt die genormte OPC-Schnittstelle nach außen bereit, während im Inneren das Steuerungsprotokoll des Herstellers umgesetzt ist. Der Hersteller der Hardware erlaubt damit einen standardisierten Zugriff, entweder als eigenständige Software oder eingebettet auf dem Gerät oder der Maschinensteuerung.

Der OPC-Server kann mit dem OPC-Client verbunden werden und die Daten vom Server auslesen. Jeder Client kann dabei auf jeden beliebigen Server zugreifen und Daten austauschen. OPC UA ist nicht auf Microsoft-Windows-Betriebssysteme beschränkt, sondern ist plattformunabhängig. Der Standard ist auf Grundlage der Basiskonzepte für den Datenaustausch, wie zum Beispiel TCP/IP aufgebaut, und wurde als IEC-Norm 62541 verabschiedet.

Die Verwaltungsschale (**Asset Administrative Shell, AAS**) ist die Umsetzung des digitalen Zwillings für Industrie 4.0 und ermöglicht herstellerübergreifende Interoperabilität und Interaktion (Plattform Industrie 4.0, 2019). In der Industrie-4.0-Welt wird ein Asset durch eine Verwaltungsschale digital repräsentiert. Sie enthält eine Beschreibung aller Informationen und Funktionalitäten, die

zur Realisierung neuer digitaler Geschäftsmodelle und Anwendungsfälle, die die Verwaltungsschalen unterstützen soll, erforderlich sind.

Die wichtigsten funktionalen Elemente der Verwaltungsschale sind die Teilmodelle. Teilmodelle sind die standardisierten Sätze von standardisierten Elementen, die Merkmale, Konfigurationsparameter, Zustände, Fähigkeiten und angebotene Dienste für das dargestellte Asset in einer maschineninterpretierbaren Form darstellen und beschreiben. Sie bilden die Grundlage für einen interoperablen, unternehmensübergreifenden Informationsaustausch (Plattform Industrie 4.0, 2021). Beispiele für Merkmale, die unter Teilmodellelemente fallen, sind: Produktmerkmale im Sinne von IEC 61360-1 oder ECLASS; Prozessvariablen und -parameter, Telemetriedaten; Operationen, die Aktionen durchführen; Events, um Merkmale et cetera zu beobachten, oder Referenzen zu externen Datenquellen, Dateien und anderen Verwaltungsschalen.

Bei einem Elektromotor beispielsweise sind die Informationen für das Teilmodell „Identifikation“ Hersteller, Produktbezeichnung und Seriennummer, für das Teilmodell „technische Daten“ maximale Drehzahl und maximales Drehmoment, für das Teilmodell „Betriebsdaten“ aktuelle Drehzahl und Drehmoment, für das Teilmodell „Dokumentation“ der Verweis auf das Benutzerhandbuch und so weiter.

Grundsätzlich können in einer Verwaltungsschale je nach Anwendung der gesamte Lebenszyklus von der Entwicklung, Herstellung, Inbetriebnahme, Betrieb bis zur Wartung abgebildet werden (Plattform Industrie 4.0, 2019). Für alle Teilmodelle und Teilmodellelementensammlungen ist es wichtig, dass ihre semantische Beschreibung klar definiert und für die Interaktionspartner zugänglich ist. Dazu sollten sogenannte Wörterbücher genutzt werden, die standardisierte Datenelemente enthalten, die semantischen Standards wie IEC 61360 folgen. Die Plattform Industrie 4.0 empfiehlt ECLASS als bevorzugtes Wörterbuch der semantischen Definitionen für die Elemente des AAS.

**ECLASS** ist ein Klassifizierungssystem zur Beschreibung von Produkten und Dienstleistungen; es ermöglicht eine globale Interaktion zwischen Handelspartnern, Unternehmen und Maschinen durch den Austausch standardisierter Stammdaten (Mittelstand-Digital Zentrum WertNetzWerke, 2024). Jedem Produkt und jeder Dienstleistung kann eine eindeutige Bezeichnung zugeordnet werden. Das Datenmodell des ECLASS-Standards basiert auf den Normen ISO 13584 und IEC 61360.

Die ISO 13584 beinhaltet eine Teilebibliothek für industrielle Automatisierungssysteme und Integration (VDE Verlag, 2024). Für den Bereich der Elektrotechnik sind in der IEC-61360-Datenbank zahlreiche Merkmale international genormt. Festgelegt ist hier nicht nur die eindeutige Bezeichnung und Definition des Merkmals, sondern auch die zur Rechnerinterpretierbarkeit notwendige Kodiervorgabe der zu übermittelnden Werte.

Keine Mitglieder aus dem EMSA-Annex nehmen aktuell an den Normungsgremien in diesen Bereichen teil. Daher wird eine Empfehlung zur Weiterentwicklung dieser Normen aus der Deutschen

Normungsroadmap angeführt, die im Zusammenhang mit dem optimierten Betrieb von elektrischen Motorsystemen besonders relevant erscheint:

„Die in der Informationswelt erforderlichen Datenformate sind der ISO 13585-1 bzw. der IEC 61360 entnommen. Auch die Merkmale von ECLASS sind auf dieser Basis kodiert. Verwaltungsschalen bzw. Submodelle erfordern jedoch für den operationalen Betrieb gegenüber den reinen beschreibenden Eigenschaften eines Assets weitere Merkmalstypen. Solche sind Zustände und Parameter der Assets sowie deren Mess- und Aktorwerte (dynamische Daten). Auch Kommandos und ganze Funktionen (oft auch fachliche Funktionen genannt) müssen mit denselben Konzepten beschrieben werden. Der Merkmalsbegriff in heutigen Standards ist um solche Semantik in den Datenmodellen zu erweitern, um dynamische Werte einwandfrei darstellen zu können. Beispielsweise kann dies mit entsprechenden neuen Attributen im Datenmodell der ISO 13584/IEC 61360 erfolgen. Modelle für Funktionen/Befehle sind zu entwickeln bzw. vorhandene in Normen festzuschreiben.“ (Standardization Council Industrie 4.0, 2023, Seite 21)

## 5.6 Ergebnisse des internationalen Workshops zu Digitalisierung

Am 19. September 2023 fand der internationale EMSA-Workshop „How can digitalisation in industrial electric motor-driven systems contribute to saving more energy?“ statt. Dieser wurde von der Österreichischen Energieagentur gemeinsam mit den EMSA-Mitgliedern aus den Niederlanden, der Schweiz und Schweden organisiert. Die Österreichische Energieagentur entwarf das Programm, stimmte die EMSA-Präsentationen ab und hielt zwei Vorträge während des Workshops. Außerdem erstellte sie das an alle Angemeldeten versendete Ergebnisprotokoll. Es waren insgesamt 76 Personen angemeldet, 38 davon nahmen tatsächlich teil.

Konstantin Kulterer (Österreichische Energieagentur) präsentierte die Ziele des EMSA-Tasks New Industrial Developments und gab einen Überblick über die im *EMSA Classification Report* kategorisierten digitalen Technologien, zeigte eine schematische Übersicht mit Beispielparametern, die von Sensoren für motorbetriebene Systeme gemessen werden, und die Ergebnisse einer Umfrage über das geschätzte Einsparungspotenzial.

Ronald Piers (Europäische Kommission) zitierte die neue Industriestrategie für Europa: „Die Digitalisierung wird zum europäischen Green Deal beitragen, sowohl als Quelle für saubere Technologielösungen als auch durch die Verringerung ihres eigenen Kohlenstoff-Fußabdrucks.“ Er zeigte anhand von drei Ökodesign-Verordnungen (Motoren und Frequenzumrichter, Ventilatoren sowie Pumpen), welche Rolle dabei das Thema Digitalisierung spielt.

Für Elektromotoren und Frequenzumrichter schreibt die Verordnung (EU) 2019/1781 vor, die Leistungsdaten bei acht verschiedenen Betriebspunkten (Last, Drehzahl) anzugeben, um eine optimierte Systemauslegung und einen optimierten Betrieb zu ermöglichen.

Für Ventilatoren wird die Verordnung (EU) 327/2011, die derzeit überarbeitet wird, eine Informationsanforderung im Teillastbetrieb enthalten. Es müssen mindestens drei Leistungskurven (bei Nenndrehzahl, bei niedrigerer Drehzahl und einer Drehzahl dazwischen) veröffentlicht werden. Außerdem gibt es einen Effizienzbonus für Ventilatoren mit Frequenzumrichter, um die Verluste bei Volllast zu kompensieren.

Für die Pumpenverordnung (EU) 547/2012, die momentan angepasst wird, wird der Energieeffizienz-Indikator (EEI) voraussichtlich so festgelegt, dass er ohne Frequenzumrichter nur schwer zu erfüllen sein wird.

Darüber hinaus prüft die Europäische Kommission Bestimmungen für die Selbstüberwachung von Raumheizgeräten (einschließlich Wärmepumpen), die die Aufzeichnung von Energieverbrauchsdaten ermöglichen würden. Damit könnten Endnutzer:innen den Energieverbrauch überwachen und Energieverbrauchsdaten im realen Betrieb leichter erfassen. Der Entwurf der überarbeiteten Öko-design-Verordnung (ESPR) enthält spezifische Bestimmungen, die eine solche Möglichkeit vorsehen.

Weiters erläuterte Ronald Piers ausgewählte Ergebnisse der JRC-Studie „ICT Task Force Study: Final Report“ (2023), in der ein „Sensortornado“ beschrieben und die Vorteile der Digitalisierung im Zusammenhang mit Energieeffizienz aufgezeigt wurden. Dazu gehören das Auffinden und Reduzieren von Energieverschwendungsquellen, die Verbesserung der energiebewussten Produktionsplanung, die Ermöglichung eines effizienten Wartungsmanagements und andere Aspekte wie die Beteiligung am Stromnachfragemanagement.

Die EMSA-Teilnehmenden präsentierten kurz einige Anwendungsfälle aus verschiedenen Ländern und Branchen, die derzeit ausgearbeitet werden. So stellte etwa Jeroen Röhner (Samotics) einen Anwendungsfall näher vor, bei dem ein Messgerät die Analyse und kontinuierliche Überwachung von Anlagen für die vorausschauende Wartung, die Warnung vor plötzlichen Ereignissen (Pumpenverstopfung) und Erkenntnisse über die Energieeffizienz ermöglicht. Die Lösung umfasst Sensoren zur Messung von Strom und Spannung in Motorschaltschränken. Im Rahmen eines Forschungsprojektes in den Niederlanden wurden 1.000 Motoren mit mehr als 600 Motoren davon im Leistungsbereich zwischen 25 und 1.000 kW, und zwar hauptsächlich zur Wasseraufbereitung und Wasserversorgung, mit Samotics-Hardware zur elektrischen Signalanalyse ausgestattet. Mithilfe eines Tools wurde ein wirtschaftliches Optimierungspotenzial für Energieeinsparungen im Antriebsstrang von 10 % ermittelt.

Konstantin Kulterer (Österreichische Energieagentur) präsentierte außerdem Ergebnisse zu den wichtigsten Voraussetzungen für Digitalisierung (zum Beispiel gute technische Lösung für Cybersicherheit und Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal). Als wichtigste Ziele nannte er unter anderem Steigerung der wirtschaftlichen Effizienz und Qualität, Schaffung von Transparenz, Erfassung des Wasser- und Energieverbrauchs, effizienten Betrieb und Lastmanagement. Er erläuterte zudem die in Umfragen und Interviewreihen genannten Barrieren, verschiedene Empfehlungen für

Anwender:innen und politische Entscheidungsträger:innen sowie ausgewählte politische Instrumente in Österreich und Schweden.

In der anschließenden Diskussion wurden folgende Aspekte thematisiert:

Der von der Europäischen Kommission genannte „Tsunami von Sensoren“ findet laut Erkenntnissen der Electrical Mechanical Authority (EASA) im Bereich Motorsysteme nicht statt; nur 20 % der Sensoren sind angeschlossen.

Die Digitalisierung wird für die zustandsabhängige Überwachung entwickelt, da geringere Wartungskosten und höhere Betriebszeiten das größte Interesse der Industrie wecken. Einige Unternehmen sind bereit, diese zu implementieren, andere, konservativere Unternehmen aber nicht.

Für Energieeffizienz werden detailliertere Daten mit einer ausführlicheren zeitlichen Erfassung des Stromverbrauchs benötigt, als es bei gewöhnlichen Stromzählern der Fall ist. Dabei kann Digitalisierung zum Beispiel durch Smart Meter helfen.

Energieeffizienz lässt sich nicht allein durch Digitalisierung erreichen, sondern es müssen auch die für die Wartung zuständigen Personen und die IT-Abteilungen einbezogen werden. Der Faktor Mensch, das heißt in dem Fall der Mangel an personellen Ressourcen und an Wissen, wird als Hauptlücke genannt, die Technologie wäre eigentlich einsatzbereit. Fachkenntnisse sind sowohl im EDV- und im Mechanikbereich als auch in der Leistungselektronik notwendig.

Andererseits wurden auch technische Herausforderungen genannt, die es noch zu bewältigen gibt. Beispielsweise wurde empfohlen, dass es keine Anwendung ohne Programmierschnittstelle (Application Programming Interface – API) geben sollte, um auch andere Softwareprogramme an solche Anlagen anbinden zu können. Trotz Standardisierungsinitiativen in diesem Bereich, wie zum Beispiel die E-Klasse-Normen, gibt es wenige praktische Beispiele dazu.

Für den Beginn der Beschäftigung mit Digitalisierung wurde erwähnt, dass am Beginn kleinere Projekte durchgeführt werden sollten, um den Nutzen von Digitalisierung anhand konkreter, rasch umsetzbarer Use Cases im Unternehmen darzustellen. Der zu schaffende Nutzen für das Unternehmen sollte von Anfang an klar sein. Es sollte auch deutlich gemacht werden, wie die Anwender:innen die Ergebnisse nutzen können.

Es sollten digitale Lösungen von behördlicher Seite verlangt und strenge Anforderungen an die Energieeffizienz definiert werden.

# 6 Schlussfolgerungen

Dieses Kapitel enthält einige der gewonnenen Erkenntnisse des Projektteams. Es zeigt, für welche Zielgruppen diese relevant sind, und beschreibt die durchgeführten Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten sowie mögliches Marktpotenzial.

## 6.1 Erkenntnisse und weiteres Vorgehen

Digitalisierungslösungen können zu relevanten Einsparungen im Bereich elektrischer Motorsysteme führen. Typischerweise können höhere Einsparungen erzielt werden, wenn das Motorsystem nicht von Anfang an optimiert ist und wenn Hardware-Upgrades vorgenommen werden. Hohe Einsparungen können auch dadurch erzielt werden, dass nur dann Energie verbraucht wird, wenn sie wirklich benötigt wird.

Bei der Recherche zu den Empfehlungen für Digitalisierungslösungen zeigte sich, dass viele unterschiedliche Anbieter Lösungen bereitstellen, von Sensoren bis zu eigenen Clouds. Dies ist für Unternehmen, die eine Vielzahl an Systemen unterschiedlicher Hersteller in ihrer Anlage verbaut haben, ein Problem, da sie mit parallelen Systemen arbeiten müssen. Diesbezüglich gibt es von Herstellerseite momentan keine Lösungsstrategie. Das bedeutet, die Daten müssten in einem nächsten Schritt an ein einheitliches System übergeben werden.

Die Interviews ergaben, dass die Forcierung von Digitalisierungslösungen aber nicht nur technische Hindernisse hat, die durch Normung in diesem Bereich gelöst werden können. Weitere Hemmnisse sind organisatorischer und finanzieller Natur. Außerdem ist das vorrangige Ziel der Digitalisierung nicht unbedingt Energieeinsparung, denn sie ermöglicht in Produktionsbetrieben viele weitere Vorteile.

Bei der Analyse politischer Instrumente in Österreich wurde sichtbar, dass besonders im Bereich Forschung und Entwicklung schon viele industriespezifische Programme vorhanden sind, die die Themen Digitalisierung und Energieeffizienz beinhalten. Elektrische Motorsysteme werden zwar nicht explizit angesprochen, aber sie können implizit Teil der Ausschreibungen sein. Weiters gibt es auch die Möglichkeit von Investitionsförderungen in diesem Bereich. Ein weiteres Ergebnis ist, dass es für große Unternehmen noch kein Programm gibt, das Sensorik und Energiedatenerfassung fördert.

Der Task 3 des Electric Motor Systems Annex wird sich ab der Periode 2024 auf Lastmanagement konzentrieren, jedoch weiterhin Digitalisierungslösungen in diesem Bereich beobachten. Die Use

Cases sollen diesbezüglich erweitert werden. Die Ergebnisse, die vor allem Unternehmen betreffen, sollen für diese Zielgruppe spezifisch aufbereitet werden. Dazu gehören Digitalisierungsempfehlungen für elektrische Motorsysteme, organisatorische Empfehlungen zur Umsetzung von Digitalisierung, relevante Use Cases und weitere Informationen.

## 6.2 Relevante Zielgruppen

Österreichische Forschungsinstitutionen, Endanwender:innen und vor allem Anbieter:innen von Motorsystemkomponenten wurden über fünf Ausgaben des nationalen IEA-EMSA-Newsletters zu neuen Entwicklungen weltweit informiert. Dies betraf vor allem die Bereiche Mindeststandards und Standards (zum Beispiel Bestimmung der Energieeffizienz von neuen Motortechnologien, Motoren mit neuen Regelsystemen et cetera).

Am 5. Dezember 2023 organisierte die Österreichische Energieagentur (in Kooperation mit FEEI, Plattform Industrie 4.0 und klimaaktiv Betriebe) den nationalen Workshop „Digitalisierung für effiziente elektrische Motorsysteme“. Von den 98 angemeldeten nahmen 59 Personen am Workshop teil. Das Programm umfasste Beiträge zu Neuigkeiten rund um Frequenzumrichter und zu Möglichkeiten, Hemmnissen und Instrumenten zur Digitalisierung von elektrischen Motorsystemen aus dem Electric Motor Systems Annex. Externe Vortragende berichteten über Entwicklungen zur Einführung des Digital Product Passport und einen konkreten Use Case im Bereich Energieeinsparung durch Condition Monitoring von Maschinen bei INNIO Jenbacher GmbH & Co. Bei diesem Workshop nahmen Mitarbeiter:innen unterschiedlicher Branchen teil (Energieversorgung, Metall-, Kunststoff-, Chemie-, Papier-, Baustoffindustrie, Digitalisierungsunternehmen, Hersteller von Motorsystemkomponenten). Diese Branchen können die Möglichkeiten zur Digitalisierung von Anlagen und die Fallbeispiele als Anreiz nehmen, um in ihren Unternehmen ähnliche Maßnahmen umzusetzen. 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.

Die Österreichische Energieagentur steht sowohl über den Newsletter des klimaaktiv Programms als auch über die regelmäßig stattfindenden Schulungen in laufendem Kontakt mit vielen Energieauditorinnen und -auditoren und zahlreichen Energiemanagerinnen und -managern in Österreich. Während der Schulungen zu Pumpen- und Lüftungssystemen wurde das EMSA-Motor-Systems-Tool vorgestellt, mit dem Einsparmaßnahmen bei diesen Systemen quantitativ bewertet werden können. Dieses Berechnungswerkzeug kann bei den Energieberatungen und -audits genutzt werden, um Einsparmaßnahmen nachvollziehbar zu berechnen. Darüber hinaus wurden bei diesen Schulungen und bei der ebenfalls durchgeführten Druckluftschulung Möglichkeiten zur Digitalisierung dieser Anlagen vorgestellt. Die Energieauditor:innen können dieses Wissen an ihre Kund:innen weitergeben.

Viele Energieberater:innen nahmen auch am vorher erwähnten nationalen Workshop teil, bei dem ebenfalls Digitalisierungslösungen im Bereich Motorsysteme vorgestellt wurden.

Die wichtigsten Erkenntnisse hinsichtlich der Analyse der politischen Programme in Österreich wurden mit der Plattform Industrie 4.0, dem Klimafonds und dem Austria Wirtschaftsservice (aws) präsentiert. Als Ergebnis kann festgehalten werden, dass hier Vorzeigebispiele wichtig sind und Leuchtturmprojekte identifiziert werden sollten. Im Rahmen des Stakeholderworkshops zur Energieeffizienz-Standardisierte-Kurzberichte-Verordnung zum Energieeffizienzgesetz wurde ein Vorschlag zur Aufnahme von Motorsystemen (Kälte, Druckluft) als wesentliche Energieverbrauchsprozesse gemacht.

### 6.3 Verwertungs- und Verbreitungsaktivitäten

Folgende Aktivitäten zur Verwertung und Verbreitung der Ergebnisse fanden innerhalb dieses Projektes unter Leitung oder Mitarbeit von Österreich statt:

- Erstellung von fünf nationalen Newslettern zwischen Dezember 2021 und Dezember 2023, Versand an 200 Kontakte in Österreich mit Bezug zu elektrischen Motorsystemen
- Paper und Präsentation „Energy and Other Effects of Digitalisation in Electric Motor-Driven Systems“ bei der Energy-Efficient Motor Driven Systems Konferenz in Stuttgart am 4. Mai 2022
- Policy Brief “Digital Technologies for Motor-Driven Systems”, September 2022
- Poster und Präsentation „Barrieren bei der Digitalisierung von Motorsystemen“ bei der Internationalen Energiewirtschaftstagung am 15. Feber 2023
- Checkfragen zu elektrischen Motorsystemen für den klima**aktiv** Energie-Check für Betriebe, Feber 2023
- Präsentation des EMSA-Motor-Systems-Tool bei den klima**aktiv** Pumpen- und Lüftungsschulungen am 3. November 2022 (online) und am 5. September 2023 (Präsenzveranstaltung) mit 45 beziehungsweise 29 Teilnehmenden
- Organisation und Durchführung des internationalen EMSA-Workshops „How can digitalisation in industrial electric motor-driven systems contribute to saving more energy?“ am 19. September 2023 mit 36 Teilnehmenden
- Beitrag zu den Innovationszielen in der Digitalisierung in Vorbereitung zum Umsetzungsplan zur Forschungsmission Energiewende im Nationalen Energie- und Klimaplan, Oktober 2023
- Vortrag zur EMSA-Auditguideline beim Webinar „Energy-Efficient Motor Driven Systems“ am 13. November 2023
- Organisation und Durchführung des nationalen Verbreitungsworkshops „Digitalisierung für veffiziente elektrische Motorsysteme“ am 5. Dezember 2023 mit 59 Teilnehmenden
- Beitrag „Electric Motors and Digitalisation: Quo Vadis?“ für das Magazin Electric Motor Engineering.

Das Marktpotenzial zur Digitalisierung von elektrischen Motorsystemen mit dem Ziel, Energie zu sparen, wird in Österreich als groß angesehen. Dies hängt damit zusammen, dass Digitalisierung insbesondere für Neuanlagen Stand der Technik ist. Bei bestehenden Anlagen, zum Beispiel Lüftungs- oder Druckluftanlagen, ist dies aber nicht unbedingt der Fall. Daher ist in diesem Bereich noch Aufholbedarf und die Notwendigkeit für unabhängige Informationsmaterialien, aber auch für weitere Fallbeispiele und Webinare ist groß. Ein weiteres Thema, in dem Digitalisierung von Motorsystemen eine große Rolle spielen kann, ist Lastmanagement, bei dem es darum geht, den Betrieb der Motoren an die Bedürfnisse im Netz anzupassen. Dies wird der Schwerpunkt des Folgeprojektes werden.

# 7 Ausblick und Empfehlungen

Diese Kapitel diskutiert Empfehlungen sowohl für politische Rahmenbedingungen als auch für zukünftige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten.

Die Politik sollte klare, an Industriebetriebe gerichtete Einsparziele definieren. Oft sind die tatsächlichen Potenziale vor einer genaueren Analyse jedoch nicht bekannt. Daraus folgt eine klare Vorgabe für Unternehmen, Energie zu sparen und die Einsparung nachzuweisen. Digitalisierungstechnologien können helfen, beide Ziele zu erreichen.

Generell sollten Unternehmen ein Monitoring für die Hauptenergieverbraucher aufbauen. Beispielsweise sollte ab einer bestimmten elektrischen Leistung eines Druckluftkompressors ein verpflichtendes Monitoringsystem installiert sein. Allgemein sollten einheitliche Schnittstellen (zum Beispiel OPC UA) vorgeschrieben werden und Standards für Messungen im Energiebereich für Produktionsanlagen erstellt werden. Leitsystemhersteller sollten daher verpflichtet werden, die Daten exportierbar in leicht bearbeitbare Form zu machen.

Eine unabhängige Website oder Institution sollte die energetischen Vorteile der Digitalisierung von Anlagen bewerben, beispielsweise über Fallbeispiele. Generell sollte Energieeffizienz durch Digitalisierung breiter, etwa über ein eigenes Netzwerk, gefördert werden. Dies könnte zum Beispiel über **klimaaktiv**, die Plattform Industrie 4.0, den Fachverband für Elektro- und Elektronikindustrie (FEEI) oder die Dienstleister Energieeffizienz und Contracting Austria (DECA) erfolgen. Eine Plattform sollte unabhängige Informationen über Anbieter, Richtlinien und Standards bieten und die wichtigsten Digitalisierungstechnologien beschreiben. Im ersten Schritt sollten nicht komplexe Lösungen für digitale Zwillinge und Deep Learning vorgestellt werden, sondern einfache, robuste Lösungen für die Datenerfassung und vorausschauende Wartung. Eine Vielzahl von Abkürzungen erschwert Laien den Einstieg in das Thema; daher sollten die wichtigsten Begriffe erklärt werden und Materialien leicht verständlich sein.

Für den Start der Umsetzung von Digitalisierungslösungen in Unternehmen könnten interne Ansprechpartner:innen etabliert werden. Generell sollten alle Informationsmaterialien zur Energieeffizienz in Unternehmen auch Digitalisierungslösungen, zum Beispiel zur Energiedatenerfassung, beinhalten.

Für kleinere, aber auch für größere Unternehmen stellt das Finden der richtigen Berater:innen, die auf dem Gebiet der Digitalisierung von spezifischen Prozessen und Anlagen in industriellen Anlagen spezialisiert sind, eine Herausforderung dar. Eine Kompetenzmatrix für alle Energieberater:innen auf der Website der E-Control könnte dafür eine Lösung sein.

Allgemein sollten Trainings- und Ausbildungsmaßnahmen in diesem Bereich verstärkt werden. Dies kann berufsbegleitend über kurze spezifische Webinare erfolgen, zum Beispiel im Rahmen von klima**aktiv** oder der Plattform Industrie 4.0. Mehrtägige Kurse zu diesem Thema könnten über Ausbildungsorganisationen wie WIFI laufen. Der Fokus wäre die Berücksichtigung energetischer Aspekte bei der Digitalisierung bestehender Prozesse und Maschine.

Im Bereich der Forschung könnte ein Projekt sinnvoll sein, das sich auf die Digitalisierung und Optimierung von elektrischen Motorsystemen in Betrieben fokussiert. Zielgruppe wären Klein- und Mittelbetriebe in unterschiedlichen Branchen. Hier wären typische Anlagen wie Druckluft-, Kälte-, Pumpen- oder Lüftungssysteme zu analysieren, die oft branchenunabhängig vorkommen. Begleitend sollten Leitfäden aufbauend auf den Erfahrungen erstellt werden, wie diese Anlagen analysiert und digitalisiert wurden, und zwar auf einem Detailniveau, das über die schon publizierten Auditleitfäden von EMSA und klima**aktiv** Betriebe hinausgeht. Teil des Projektes wäre neben der Umsetzung auch die Dokumentation der Einsparungen. Die Ergebnisse könnten dann über klima**aktiv** Betriebe oder andere Netzwerke verbreitet werden.

Weiters sind Forschungen und Entwicklungen im Bereich Digitalisierung und Datenanalyse von industriellen Anlagen und energetischen Prozessen zur Steigerung der Energieeffizienz wichtig. Ziel sollte es dabei sein, mittels Digitalisierung (Aktorik, Internet of Things, intelligente Steuerung) relevante Daten zu erfassen und/oder die Produktionsprozesse zu optimieren. Teilbereiche sind die Simulation und Optimierung von Anlagen, noch bevor sie gebaut werden, sowie das laufende Monitoring zur energetischen Optimierung. Ein weiterer Subbereich dazu ist die Analyse des Energieverbrauchs von Digitalisierungslösungen, die aktuell noch nicht weitverbreitet ist.

**Abbildungsverzeichnis**

Abbildung 1: Analysierte digitale Technologien, die zur Steigerung der Energieeffizienz in Motortechnologien beitragen..... 14

Abbildung 2: Überblick über mögliche Sensoren in elektrischen Motorsystemen..... 15

Abbildung 3: Lüftungsanlage bei Coca-Cola HBC Österreich ..... 21

Abbildung 4: Firmengebäude von CAPiTA..... 23

Abbildung 5: Möglichkeiten zum Erkennen von Störungen der Pumpen- und Motorfunktion durch Strom- und Spannungsanalyse..... 26

Abbildung 6: Überblick möglicher Messpunkte zur Digitalisierung von Druckluftanlagen..... 30

## Literaturverzeichnis

- Ando Technik: Pumpensteuerung VASCO E-Drive Frequenzumrichter mit APP Bedienung, [ando-technik.com/steuerungen/steuerungen-fuer-wasserpumpen/frequenzumrichter-vasco-e-drive.html](https://www.ando-technik.com/steuerungen/steuerungen-fuer-wasserpumpen/frequenzumrichter-vasco-e-drive.html), (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)
- Austria Wirtschaftsservice (aws): aws Energie & Klima, [aws.at/aws-energie-klima](https://aws.at/aws-energie-klima) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)
- chriger solutions e.U.: Experteninterview und E-Mail-Korrespondenz: Christian Gerl, chriger solutions, 28.11. 2023
- CS Instruments GmbH: Anwendungsgebiete, [cs-instruments.com/at/anwendungsgebiete](https://cs-instruments.com/at/anwendungsgebiete) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)
- Danfoss GmbH: Frequenzumrichter für Pumpen, [danfoss.com/de-de/markets/refrigeration-and-air-conditioning/dds/drives-for-pumps/](https://danfoss.com/de-de/markets/refrigeration-and-air-conditioning/dds/drives-for-pumps/) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)
- Ellnwein, Christian: Digitalisierung von Verdichtern, Pumpen und Ventilatoren, VDE Verlag, Berlin, 2019
- Energieinstitut der Wirtschaft GmbH: Erfahrungsbericht: Förderung für Energiemanagementsysteme in KMU, [energieinstitut.net/sites/default/files/enms\\_meisterfrost.pdf](https://energieinstitut.net/sites/default/files/enms_meisterfrost.pdf), Juli 2021, (abgerufen am 19.2.2024, 11:15)
- Grundfos Holding A/S: Grundfos Machine Health, [product-selection.grundfos.com/de/products/grundfos-machine-health](https://product-selection.grundfos.com/de/products/grundfos-machine-health), (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)
- Heinen Elektronik GmbH: Profibus, [heinen-elektronik.de/glossar/profibus/#:~:text=Profibus](https://heinen-elektronik.de/glossar/profibus/#:~:text=Profibus), (abgerufen am 30.1.2024, 11:15)
- Inray Industrie Software GmbH: Was ist OPC UA? Die wichtigsten Begriffe im Überblick, [opc-router.de/was-ist-opc-ua/](https://opc-router.de/was-ist-opc-ua/) (abgerufen am 13. Feber 2024, 11:27)
- Kaeser Kompressoren GmbH: Druckluftmanagement-System – SIGMA AIR MANAGER, 4.0, [at.kaeser.com/produkte/steuerung/druckluftmanagement-system/](https://at.kaeser.com/produkte/steuerung/druckluftmanagement-system/) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)
- Kulterer, K.: IEA Energieeffiziente Endverbrauchsgeräte (4E) Annex Elektrische Motorsysteme (EMSA), Arbeitsperiode 2019 – 2021, Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie, Wien, 2022
- Kulterer, K., Dawody, J., van Werkhoven, M., Widerström, G.: Classification of digitalisation technologies for electric motor driven systems, IEA 4E Electric Motor Systems Annex, 2022
- KSB SE & Co. KGaA: KSB Guard: [ksb.com/de-at/lc/ksb-guard/G01A](https://ksb.com/de-at/lc/ksb-guard/G01A) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)
- kvm concepts GmbH: Modbus, [kvm-concepts.de/wiki/m/modbus/](https://kvm-concepts.de/wiki/m/modbus/) (abgerufen am 30.1.2024, 13:09)

Maddock Industries, Inc.: How Sensorless Pump Technology Works, [maddockindustries.com/hydrionics-blog/how-sensorless-pump-technology-works/](https://maddockindustries.com/hydrionics-blog/how-sensorless-pump-technology-works/), Jänner 2022 (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)

Mittelstand-Digital Zentrum WertNetzWerke: Produktdatenstandard ECLASS, [estandards-mittelstand.de/estandards-wissen/standards-im-e-business/klassifikation/eclass/](https://estandards-mittelstand.de/estandards-wissen/standards-im-e-business/klassifikation/eclass/) (abgerufen am 13. Feber 2024; 11:38)

Netico GmbH: Revolutionary Solution for Pump System Monitoring, [netico-group.com/energy-management/pump-monitoring-system/](https://netico-group.com/energy-management/pump-monitoring-system/) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)

OPC Foundation: What is OPC?, [opcfoundation.org/about/what-is-opc/](https://opcfoundation.org/about/what-is-opc/) (abgerufen am 13. Feber 2024, 11:27)

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG): COIN Cooperation & Innovation – Übersicht, [ffg.at/programm/coin-cooperation-and-innovation](https://ffg.at/programm/coin-cooperation-and-innovation) (abgerufen am 19.2.2024, 11:15)

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG): Data driven analytics for HVAC systems, [projekte.ffg.at/projekt/3984447](https://projekte.ffg.at/projekt/3984447) (abgerufen am 19.2.2024, 11:15)

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG): Energieforschung – Das Programm, [ffg.at/energieforschung-das-programm](https://ffg.at/energieforschung-das-programm) (abgerufen am 19.2.2024, 11:15)

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG): KI4HVACS, <https://projekte.ffg.at/projekt/4174829/pdf>, (abgerufen am 19.2.2024, 11:15)

PHOENIX CONTACT GmbH: Die Lösung zur Pumpenüberwachung, [phoenixcontact.com/de-at/industrien/applikationen/pumpenueberwachung](https://phoenixcontact.com/de-at/industrien/applikationen/pumpenueberwachung) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)

Plattform Industrie 4.0: Die Verwaltungsschale im Detail, [plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/verwaltungsschale-im-detail-pr%C3%A4sentation.html](https://plattform-i40.de/IP/Redaktion/DE/Downloads/Publikation/verwaltungsschale-im-detail-pr%C3%A4sentation.html), 2019 (abgerufen am 31.1.2024, 10:29)

Plattform Industrie 4.0: Whitepaper, Modelling the Semantics of Data of an Asset Administration Shell with Elements of ECLASS, 2021

Samotics E-Book: The ESA explainer – Electrical signature analysis explained, [samotics.com/kb/the-esa-explainer/](https://samotics.com/kb/the-esa-explainer/) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)

SEEPEX GmbH: Pump and Monitoring Analytics, [seepex.com/en-gb/products/digital-solutions/pump-monitoring-and-analytics](https://seepex.com/en-gb/products/digital-solutions/pump-monitoring-and-analytics) (abgerufen am 10. Jänner 2024; 10:17)

Standardization Council Industrie 4.0: Deutsche Normungsroadmap Industrie 4.0, Version 5, Berlin, 2023

Statistik Austria: Nutzenergiekategorien Österreich 1993–2022, Detailinformationen, Wien, 2023

Technische Universität Graz (TU Graz): Masterstudium, Executive MBA in Green and Digital Transition, [tugraz.at/studium/studienangebot/universitaere-weiterbildung/berufsbegleitende-masterprogramme-und-universitaetslehrgaenge/executive-mba-in-green-and-digital-transition-1](https://tugraz.at/studium/studienangebot/universitaere-weiterbildung/berufsbegleitende-masterprogramme-und-universitaetslehrgaenge/executive-mba-in-green-and-digital-transition-1) (abgerufen am 19. Feber 2024; 11:27)

Technische Universität Wien (TU Wien): Studienplan für das Masterstudium Elektrische Energietechnik und nachhaltige Energiesysteme, 2022, [tuwien.at/fileadmin/Assets/dienstleister/studienabteilung/MSc\\_Studienplaene\\_2022/Masterstudium Elektrische Energietechnik und nachhaltige Energiesysteme 2022.pdf](https://tuwien.at/fileadmin/Assets/dienstleister/studienabteilung/MSc_Studienplaene_2022/Masterstudium_Elektrische_Energietechnik_und_nachhaltige_Energiesysteme_2022.pdf) (abgerufen am 19. Feber 2024; 11:25)

Technische Universität Wien (TU Wien): Masterstudium Embedded Systems, [tuwien.at/studium/studienangebot/masterstudien/elektrotechnik-und-informationstechnik/embedded-systems](https://tuwien.at/studium/studienangebot/masterstudien/elektrotechnik-und-informationstechnik/embedded-systems) (abgerufen am 19. Feber 2024; 11:25)

United Nations Environment Programme (UNEP): U4E Policy Guide Series, Accelerating the Global Adoption of Energy-efficient Electric Motors and Motor Systems, UN Environment – Global Environment Facility | United for Efficiency (U4E), 2017

VDE Verlag: IEC 61360 Datenbank für elektrische/elektronische Bauteile, [vde-verlag.de/iec-normen/iec-datenbanken/iec-61360-elektronische-bauteile.html](https://vde-verlag.de/iec-normen/iec-datenbanken/iec-61360-elektronische-bauteile.html) (abgerufen am 31. Jänner 2024; 10:53)

Viegand Maagøe, VHK and Oeko-institut: Preparatory Study for the Ecodesign and Energy Labelling Working Plan 2020–2024, April 2021

Weidmüller: [weidmueller.de/de/produkte/elektronik-und-automatisierung/mess--und-monitoringsysteme/energiemonitoring/neuigkeiten/ecoexplorer-4-0](https://weidmueller.de/de/produkte/elektronik-und-automatisierung/mess--und-monitoringsysteme/energiemonitoring/neuigkeiten/ecoexplorer-4-0) (abgerufen am 17. Dezember 2018; 10:17)

WF Steuerungstechnik GmbH: Die Strom-/Leistungsmessung am Kompressor, [airleader.de/zubeh%C3%B6r/kwa-messung-iso-500001](https://airleader.de/zubeh%C3%B6r/kwa-messung-iso-500001); Kompressordaten und Energieberechnung, [airleader.de/visualisierung/energie--und-datenbericht](https://airleader.de/visualisierung/energie--und-datenbericht) (abgerufen am 11. Jänner 2024; 10:17)

Wilo GmbH: Experteninterview und E-Mail-Korrespondenz, Gerhard Rauch, 15.10.2018

## Abkürzungen

<b>4E</b>	Energy Efficient End-Use Equipment (4E)
<b>AEA</b>	Austrian Energy Agency
<b>AIT</b>	Austrian Institute of Technology
<b>BFH</b>	Berner Fachhochschule
<b>BMDW</b>	Bundesministerium für Digitalisierung und Wirtschaftsstandort
<b>4E</b>	Energy Efficient End-Use Equipment
<b>AAS</b>	Asset Administrative Shell
<b>ADC</b>	Analog to Digital Converter
<b>API</b>	Application Programming Interface
<b>ASC</b>	Accredited Standards Committee
<b>ASCC</b>	American Standard Code for Information Interchange
<b>AWS</b>	Austria Wirtschaftsservice
<b>BAC</b>	Building Automation and Control
<b>BMK</b>	Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie
<b>BMNT</b>	Bundesministerium für Nachhaltigkeit und Tourismus
<b>COMET</b>	Competence Centers for Excellent Technologies
<b>COIN</b>	Cooperation and Innovation
<b>DECA</b>	Dienstleister Energieeffizienz und Contracting Austria
<b>DTI</b>	Danish Technological Institute
<b>EASA</b>	Electrical Mechanical Authority
<b>EEI</b>	Energieeffizienz Indikator
<b>EEMODS</b>	Energy Efficient Motor Driven Systems
<b>EMSA</b>	Electric Motor System Annex
<b>F&amp;E</b>	Forschung und Entwicklung
<b>FEEI</b>	Fachverband der Elektro- und Elektronikindustrie
<b>FFG</b>	Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft
<b>FH</b>	Fachhochschule
<b>FTI</b>	Forschung, Technologie, Innovation

<b>FTT</b>	Fourier-Transformation
<b>GLT</b>	Gebäudeleittechnik
<b>GSM</b>	Global System for Mobile Communication
<b>HVAC</b>	Heating, Ventilation and Air Conditioning
<b>IEA</b>	International Energy Agency
<b>IEC</b>	International Electrotechnical Commission
<b>IECEE</b>	IEC Conformity Assessment for Electrotechnical Equipment and Components
<b>IEWT</b>	Internationale Energiewirtschaftstagung
<b>JRC</b>	Join Research Centre
<b>ICT</b>	Information and Communications Technologies
<b>IKT</b>	Informations- und Kommunikationstechnologien
<b>IP</b>	Internet Protokoll
<b>IT</b>	Informationstechnologie
<b>ISO</b>	International Organisation for Standardisation
<b>KI</b>	Künstliche Intelligenz
<b>LoRaWAN</b>	Long Range Wide Area Network
<b>LOT</b>	Produktgruppe im Rahmen der Ecodesign-Initiative der EU
<b>MES</b>	Manufacturing Execution System
<b>OPC UA</b>	Open Platform Communication Unified Architecture
<b>ROI</b>	Return on Investment
<b>RTU</b>	Remote Terminal Unit
<b>SQL</b>	Structured Query Language
<b>TC</b>	Technical Committee
<b>TCP</b>	Technology Cooperation Programme
<b>TCP</b>	Transmission Control Protocol
<b>TR</b>	Technical Report
<b>TS</b>	Technical Standard
<b>TU</b>	Technische Universität
<b>UNEP</b>	United Nations Environment Programme
<b>USB</b>	Universal Serial Bus

<b>WG</b>	Working Group
<b>WIFI</b>	Wirtschaftsförderungsinstitut der Wirtschaftskammer Österreich
<b>WLAN</b>	Wireless Local Area Network
<b>WKO</b>	Wirtschaftskammer Österreich



**Bundesministerium für Klimaschutz, Umwelt, Energie, Mobilität, Innovation und Technologie**

Radetzkystraße 2, 1030 Wien

+43 800 21 53 59

[servicebuero@bmk.gv.at](mailto:servicebuero@bmk.gv.at)

[bmk.gv.at](http://bmk.gv.at)