



VDI ZRE Publikationen: Kurzanalyse Nr. 32

Technologien zur digitalen Erfassung von Ressourcenverbräuchen



VDI ZRE Kurzanalyse Nr. 32: Technologien zur digitalen Erfassung von Ressourcenverbräuchen

Autor und Autorin:

Tobias Frerichs, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
Dr. Katja Saulich, VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH

Wir danken Frau M.Sc. Helena Ebel, Oberingenieurin Fachgebiet Industrielle Informationstechnik am Institut für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF), Fakultät für Verkehrs- und Maschinensysteme der Technischen Universität Berlin, für ihre fachliche Unterstützung.

Die Kurzanalyse wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz erstellt.

Die Kurzanalysen des VDI ZRE geben einen Überblick über aktuelle Entwicklungen des Themas Ressourceneffizienz in Forschung und industrieller Praxis. Sie enthalten eine Zusammenstellung relevanter Forschungsergebnisse, neuer Technologien und Prozesse sowie Gute-Praxis-Beispiele. Damit verschaffen die Kurzanalysen einem breiten Publikum aus Wirtschaft, Forschung und Verwaltung einen Einstieg in ausgewählte Themenfelder der Ressourceneffizienz.

Redaktion:

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bülowsstraße 78
10783 Berlin
Tel. +49 30-27 59 506-0
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

Titelbild: © PantherMedia / Gorodenkoff (bearbeitet)

Gedruckt auf umweltfreundlichem Recyclingpapier.

VDI ZRE Publikationen:
Kurzanalyse Nr. 32

Technologien zur digitalen Erfassung von
Ressourcenverbräuchen

INHALTSVERZEICHNIS

ABBILDUNGSVERZEICHNIS	5
TABELLENVERZEICHNIS	6
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	7
1 EINLEITUNG	9
2 ERFASSUNG VON RESSOURCENVERBRÄUCHEN IN DER PRODUKTION	11
2.1 Steigerung der Ressourceneffizienz durch Kenntnis von Material- und Energieströmen	11
2.2 Effizienzpotenziale durch eine digitale Datenerfassung der Ressourcenverbräuche	16
3 MESSTECHNIK UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIEN	20
3.1 Wie können Ressourcenverbräuche gemessen werden?	20
3.1.1 Messgrößen	22
3.1.2 Messtechnik und Sensoren	23
3.2 Schnittstellen und Kommunikationstechnologien	27
4 DATENERFASSUNG UND -INTEGRATION IN DER FERTIGUNG	33
4.1 Zielbestimmung der sich ergebenden Daten	35
4.2 Auswahl und Aufbau einer Datenbasis	37
4.2.1 Qualitätskriterien zum Aufbau einer Datengrundlage	37
4.2.2 Auswahl aus bestehenden Datensätzen	40
4.2.3 Erzeugung neuer Datensätze	40
4.3 Erfassung und Aufbereitung von Datensätzen	41
4.4 Überprüfen und Anpassen von Datensätzen	43
4.4.1 Überprüfung der Datensätze	43
4.4.2 Anpassung von Datensätzen	44
4.5 Integration von Datensätzen	45
4.5.1 Datenintegration neuer und vorhandener Datensätze	45
4.5.2 Aspekte der Datenintegration	46

5	DIGITALE ERFASSUNG VON STOFF- UND ENERGISTRÖMEN	49
5.1	Auswertungsmöglichkeiten für Stoff- und Energieströme	49
5.2	Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz	53
5.2.1	Chancen und Herausforderungen	53
5.2.2	Praxisbeispiele	56
6	FAZIT	67
	LITERATURVERZEICHNIS	69
	ANHANG	76

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Kostenstruktur des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland (2017)	11
Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines Messsystems von der Erfassung bis zur Auswertung	28
Abbildung 3: Darstellung der Ebenen in der industriellen Kommunikation	32
Abbildung 4: Methode zur systematischen Erfassung, Aufbereitung und Integration von Daten	34
Abbildung 5: Übersicht über die Informationsqualitätsdimensionen	39
Abbildung 6: Modell eines Energiemanagementsystems	50
Abbildung 7: EMAS-Kreislauf zur Einführung eines Umweltmanagementsystems	51

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Messgrößen und korrespondierende Ressourcenart	23
Tabelle 2:	Sensortypen für ausgewählte Messgrößen der direkten oder indirekten Erfassung von Ressourcenverbräuchen	26
Tabelle 3:	Strukturierung der Datenqualität nach drei Hauptmerkmalen (nach Larry English)	39
Tabelle 4:	Interne und externe Datenquellen	40
Tabelle 5:	Übersicht möglicher Energieeffizienzkennzahlen	44
Tabelle 6:	Messgeräte und -sensoren für die direkte und indirekte Ressourcenerfassung	76
Tabelle 7:	Praxisrelevante Bus-Systeme	78
Tabelle 8:	Methoden zur systematischen Erfassung, Aufbereitung und Integration von Daten	78

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

BUS	Binary Unit System
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CRISP-DM	Cross Industry Data Standard Process for Data Mining
ERP	Enterprise Resource Planning
GSM	Global System for Mobile Communication
HMI	Human-Machine-Interface
I²C	Inter-Integrated Circuit
IoT	Internet of Things
KDD	Knowledge Discovery in Databases
KI	Künstliche Intelligenz
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
LIN-Bus	Local Interconnect Network - Binary Unit System
LON	Local Operating Network
MSG	Metallschutzgas
MOST-Bus	Media Oriented Systems Transport
PPS	Production Planning System
RFID	Radio Frequency Identification
SEMMA	Sample, Explore, Modify, Model, and Assess
SENT	Single Edge Nibble Transmission
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung

SQL	Structured Query Language
TDSP	Team Data Science Process
THG	Treibhausgas
UI	User Interface
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System
USB	Universal Serial Bus
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDI ZRE	VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH
WEKA	Waikato Environment for Knowledge Analysis
WPAN	Wireless Personal Area Network

1 EINLEITUNG

Digitalisierung und ökologisches Handeln zählen zu den aktuellen Megatrends in Unternehmen.¹ Insbesondere die Herausforderungen der letzten Jahre haben bei Unternehmen das Bewusstsein für einen sparsamen Umgang mit den verfügbaren Ressourcen verstärkt. Gleichzeitig darf jedoch die technologische Vorreiterrolle im internationalen Wettbewerb nicht vernachlässigt werden. Es wird unternehmensseitig zunehmend wichtiger, die Themen Digitalisierung einerseits und Ressourcenschonung und Klimaschutz andererseits gemeinsam zu denken, um daraus Synergieeffekte zu generieren.² Denn mithilfe einer Kombination beider Themen können sich wesentliche Kosteneinsparungen aufgrund von Material- und Energieverbrauchsreduktion für Unternehmen ergeben. Diese Einsparungen und die zunehmende Forderung der Kundinnen und Kunden nach umweltfreundlicheren und ressourcenschonenden Produkten können zudem dazu beitragen, die Wettbewerbsposition der Unternehmen zu verbessern.

Die Kenntnis an eingesetzten Material- und Energiemengen bei der Herstellung von Produkten kann dazu beitragen, Einsparpotenziale an Material und Energie zu erkennen. Denn nur bei bekannten Material- und Energieverbräuchen, können nicht geplante Verluste oder unnötig zu hohe Verbrauchsmengen identifiziert und Maßnahmen zur Ressourceneinsparung abgeleitet werden.

Die Erfassung von verwendeten Material- und Energiemengen in der Produktion erfolgt durch den Einsatz von Messtechnik. Digitale Messtechniken haben gegenüber analogen Messtechniken den Vorteil, dass eine hohe Datendichte mit hohem Informationsgehalt innerhalb kurzer Zeiträume automatisiert erzeugt und ausgewertet werden kann. Hierfür stehen zahlreiche digitale Technologien zur direkten oder indirekten Material- und Energiemengenerfassung zur Verfügung. Die vorliegende Kurzanalyse bietet einen Überblick, welche Ressourcen mithilfe welcher Messtechniken erfasst werden können und welche Möglichkeiten der Verarbeitung und Auswertung der ermittelten Ressourcendaten existieren.

¹ Vgl. Zukunftsinstitut GmbH (2020).

² Vgl. Öko-Institut e. V. (2022).

Kapitel 2 gibt zunächst eine Erläuterung grundlegender Begriffe und zeigt darüber hinaus das Zusammenwirken digitaler Technologien zur Ressourcenerfassung und Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz auf.

In Kapitel 3 wird auf relevante Messmethoden und -techniken eingegangen, die für eine digitale Erfassung der Ressourcenverbräuche notwendig sind. Hierbei wird der gesamte Prozess von der Erfassung bis zur Integration der Verbrauchsdaten berücksichtigt. Dies beinhaltet auch eine Übersicht von relevanten Ressourcen und die für ihre Erfassung erforderlichen Sensortypen.

Darauf aufbauend werden in Kapitel 4 die Erfassung, Speicherung und Integration von Ressourcenverbrauchsdaten detailliert beschrieben. Dabei werden diverse Data-Mining-Methoden wie CRISP-DM oder TDSP vorgestellt.

In Kapitel 5 werden Chancen und Hemmnisse der digitalen Erfassung der Ressourcenverbräuche vorgestellt. Zudem wird mithilfe von Praxisbeispielen beschrieben, wie andere Unternehmen die digitale Erfassung ihrer Ressourcenverbräuche umgesetzt haben und welche Vorteile daraus für sie resultieren.

2 ERFASSUNG VON RESSOURCENVERBRÄUCHEN IN DER PRODUKTION

2.1 Steigerung der Ressourceneffizienz durch Kenntnis von Material- und Energieströmen

Ressourceneffizienz ist nicht nur mit Blick auf die aktuellen globalen Herausforderungen ein wichtiges Thema. Vielmehr ist sie ein zentraler Bestandteil des ökonomischen und ökologischen Handelns. Das wird insbesondere bei der Betrachtung der Kostenstruktur des verarbeitenden Gewerbes deutlich: So entfielen im Jahr 2017 in Deutschland 41,4 % aller Kosten im verarbeitenden Gewerbe auf das Material und ca. 2 % auf Energie (vgl. Abbildung 1). Hieraus ergeben sich wesentliche Hebeleffekte im Falle möglicher Material- und Energieeinsparungen. Ressourceneffizienz kann hier als Indikator genutzt werden, um mögliche Einsparpotenziale aufzudecken. Sie wird nach VDI 4800 Blatt 1 aus dem Verhältnis eines bestimmten Nutzens (Produkt, Funktion, funktionelle Einheit) und dem Aufwand an natürlichen Ressourcen (z. B. eingesetzte Menge an Energie, Rohstoff oder Wasser) bestimmt.³

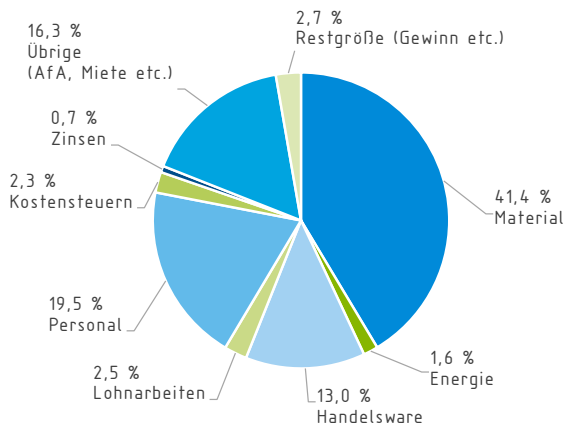


Abbildung 1: Kostenstruktur des verarbeitenden Gewerbes in Deutschland (2017)⁴

³ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02, S. 12.

⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (2019).

Unter natürlichen Ressourcen werden laut VDI 4800 Blatt 1 erneuerbare und nicht erneuerbare Primärrohstoffe, Energieressourcen, Wasser, Luft, Fläche und Ökosystemleistungen verstanden⁵, wobei die ersten drei genannten – bezogen auf das produzierende Gewerbe – die relevantesten Ressourcen sind. Allerdings werden in der Produktion von Gütern eher selten Primär- und Energierohstoffe direkt eingesetzt. In der Regel werden Primärrohstoffe in vorgeschalteten Umwandlungs- und Verarbeitungsverfahren in produktionsrelevante Materialien (z. B. Werkstoffe, Halbzeuge, Hilfsstoffe, Betriebsstoffe, Bauteile, Baugruppen) und Endenergie (z. B. Wärmeenergie, elektrische Energie, Druckluft) umgewandelt.

Damit der Ressourcenaufwand ermittelt werden kann, müssen zunächst Systemgrenzen definiert werden. Für Unternehmen bedeutet dies zu bestimmen, in welchem Bilanzraum die Ressourceneffizienz ermittelt werden soll: auf Unternehmens-, Abteilungs-, Anlagen- oder Prozessebene.

Nach Festlegung der Systemgrenzen muss der Nutzen definiert werden. In einem produzierenden Unternehmen kann dieser beispielsweise als Anzahl der hergestellten Produkte bestimmt werden. Die Ermittlung des Einsatzes natürlicher Ressourcen kann je nach Bilanzraum unterschiedlich aufwendig sein. Unternehmen müssen basierend auf den vorher definierten Systemgrenzen in der Lage sein, die notwendigen Informationen für den Einsatz natürlicher Ressourcen bereitzustellen.

Damit Unternehmen ihren Ressourceneinsatz ermitteln können, ist zunächst die Kenntnis über die eingesetzten Mengen an Rohstoffen, Energie und Wasser erforderlich. Hierbei treten bereits erste Herausforderungen für Unternehmen auf, und zwar geht es um⁶

- die unbekannte Menge eingesetzter Ressourcen,
- die intransparente Verteilung von Ressourcenkosten,

⁵ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02, S. 13 f.

⁶ Vgl. Hirzel, S.; Sonntag, B. und Rohde, C. (2011), S. 7 f.

- unterschiedliche Budgetverantwortlichkeiten für die Finanzierung von Investitionen,
- eine fehlende klare Regelung der personellen Zuständigkeiten (Ressourcenverantwortlichen).

Für die jeweiligen Herausforderungen bestehen zahlreiche Herangehensweisen. So können Energie- und Stoffströme zunächst auf Unternehmensebene erfasst und im Anschluss auf die entsprechenden Bereiche des Unternehmens verteilt werden. Für diese Vorgehensweise ist es wichtig zu dokumentieren, woher die Daten kommen und wie ihre Verteilung auf Abteilungen und Anlagen erfolgt. Es gilt u. a. zu klären, ob hierfür Datenblätter der Anlagen, konkrete Messwerte oder auch Verteilungsschlüssel genutzt werden. Erst dadurch kann für Transparenz bei der Erfassung der Ressourcenverbräuche gesorgt und spätere Anpassungen an die Berechnungsgrundlage ermöglicht werden, beispielsweise im Rahmen von Anlagentauschen oder Prozessanpassungen.

Im Zuge der ersten Erfassung der Ressourcenverbräuche empfiehlt es sich daher, Zuständigkeiten festzulegen. So wird eine organisatorische Basis für die spätere Erfassung der Ressourcenverbräuche aufgebaut. Insgesamt können die Maßnahmen zur Behebung der Herausforderungen in einem ganzheitlich und strategisch geplanten Ressourcenmanagement resultieren, das durch eine digitale Erfassung der Ressourcenverbräuche unterstützt wird.

Die Analyse von Rohstoff-, Energie- und Wasserverbräuchen in den jeweiligen Unternehmensbereichen ermöglicht das Identifizieren hoher Ressourcenverbräuche und -verluste. Die Quantifizierung von Ressourcenverbräuchen bildet die Voraussetzung, Maßnahmen zu entwickeln, um Verluste zu vermeiden und Ressourcen effizienter einzusetzen.

Energie- und Stoffströme in Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes

In Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes werden zahlreiche Energieformen sowie Vorprodukte bzw. Werk-, Hilfs- und Betriebsstoffen eingesetzt. Die Kenntnis hinsichtlich der Verbrauchsmengen einzelner Produktions-

schritte während der fertigungs- oder prozessorientierten⁷ Produktionsverfahren bietet die Grundlage für die Ermittlung hoher Verbräuche und Verluste. Basierend auf diesem Wissen können in der Folge Maßnahmen für einen effizienteren Einsatz sowie zur Reduktion von Ressourcen entwickelt werden.

In Unternehmen des verarbeitenden Gewerbes werden elektrische und thermische Energie in großen Mengen und vielfältig in fertigungs- und prozessorientierten Verfahren eingesetzt. Daher ist die Kenntnis der Einsatzmengen beider Energieformen in Bezug auf die Steigerung der Ressourceneffizienz relevant.⁸

Die in fertigungs- und prozessorientierten Produktherstellungsverfahren eingesetzten Materialien sind sehr vielfältig und unterscheiden sich im Werkstoff (z. B. Metall oder Kunststoff) sowie den physikalischen und chemischen Eigenschaften wie dem Aggregatzustand (fest, flüssig, gasförmig), der Geometrie, der Dichte, der Reaktionsfreudigkeit etc. Grundsätzlich können alle in der Produktion anfallenden Stoffströme betrachtet werden. Aus ökonomischer Sicht ist es zielführend, im ersten Schritt die Stoffströme mit den quantitativ höchsten Mengen- und/oder Kostenanteilen zu berücksichtigen.

Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz

Die Kenntnis von Ressourcenverbräuchen im Unternehmen unterstützt dahingehend, Verluste und hohe Verbräuche von Ressourcen zu erkennen und in der Folge Maßnahmen zu entwickeln, um den Ressourcenverbrauch zu senken. In den VDI-Richtlinien 4800 Blatt 1⁹ und 4801¹⁰ werden praxisrelevante Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz aufgeführt. Im Folgenden werden solche Ressourceneffizienzmaßnahmen vorgestellt, die ein hohes Ressourceneinsparpotenzial und von Relevanz für das verarbeitende Gewerbe sind.

⁷ Stoffumwandelnde Produktionsverfahren (z. B. chemische Verfahren)

⁸ Vgl. Umweltbundesamt, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2021), S. 31.

⁹ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02, S. 38 ff.

¹⁰ Vgl. VDI 4801:2018-03, S. 17 ff.

Maßnahmen zur Vermeidung von Verlusten

- **Nutzung von Abwärme:** In industriellen Produktionsverfahren entsteht aufgrund physikalischer oder chemischer Prozesse oftmals Abwärme. Werden der Entstehungsort identifiziert und die Menge der entstandenen Abwärme ermittelt, kann die Abwärme an einem anderen Ort inner- oder außerhalb der Produktion eingesetzt werden, an dem die Wärme benötigt wird. Dadurch werden Wärmeverluste vermieden.
- **Vermindern des einkalkulierten Verlustes, der Nacharbeit und des Ausschusses sowie Senkung von Fehlchargen und Lagerverlusten:** Die Gründe für Materialverluste in Fertigungs- und chemischen Verfahren sind vielfältig. Durch das Erfassen der Materialströme können Verlustmengen, beispielsweise verursacht durch einen eingeplanten Ausschuss, sowie Fehlchargen oder Lagerverluste vermieden werden. Wenn erkannt wird, wo und warum Materialverlust (z. B. durch eine Fehlcharge) entstanden ist, kann die Ursache behoben werden.
- **Kaskadennutzung und innerbetriebliche Kreislaufführung:** Entstehen im Produktionsprozess Stoffströme, die nicht in die Produktherstellung eingegangen sind und am Ende des Prozesses erst einmal keinen Einsatzzweck haben, so können diese Stoffströme wieder in den Produktionsprozess rückgeführt oder schrittweise im Rahmen einer Kaskadennutzung wiederverwendet werden. Voraussetzung hierfür ist neben der stofflichen Charakterisierung die Quantifizierung der während der Produktion angefallenen Stoffströme.

Maßnahmen zum effizienten Einsatz von Ressourcen

- **Vermindern des Energieverbrauchs:** Die Kenntnis der Verbrauchsmengen jeglicher im Produktionsverfahren eingesetzten Energiemengen (z. B. elektrische Energie oder Wärmeenergie) bildet die Voraussetzung zum Entwickeln von Maßnahmen, um die Energie effizienter zu nutzen, beispielsweise durch den Einsatz effizienter Pumpen oder eine verlustfreie Bereitstellung von Druckluft.¹¹

¹¹ Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02, S. 48.

- **Fertigungsprozessoptimierung:** Die Quantifizierung von Energie- und Materialverbräuchen in der Produktion ist Basis für die Optimierung von Fertigungs- und verfahrenstechnischen Prozessen. Prozesse mit hohen Ressourcenverbräuchen können auf diese Weise identifiziert werden. Im Anschluss sind Lösungen für eine Prozessverbesserung mit dem Ziel zu erarbeiten, die eingesetzten Energie- und Materialmengen zu reduzieren.
- **Effiziente Gebäudeinfrastruktur und -hülle:** Die Möglichkeiten zur Effizienzsteigerung der Gebäudeinfrastruktur und -hülle und hinsichtlich der damit verbundenen Energieeinsparmengen sind sehr umfangreich. Gängige Maßnahmen umfassen beispielsweise die bedarfsgerechte Bereitstellung von Licht, Wärme und Klimatisierung oder den Einsatz einer effektiven Gebäudedämmung.¹² Nur wenn der Energieverbrauch der Gebäudeinfrastruktur sowie die Wärmeverlustmengen über die Gebäudehülle bekannt sind, ist die effektive Entwicklung wirkungsvoller Maßnahmen möglich.

2.2 Effizienzpotenziale durch eine digitale Datenerfassung der Ressourcenverbräuche

Die digitale Erfassung von Ressourcenverbräuchen ermöglicht eine schnelle und genaue Identifikation von Ressourceneffizienzpotenzialen und legt somit die Grundlage für eine zielgerichtete Ausgestaltung und zeitnahe Umsetzung der im vorangegangenen Kapitel aufgezeigten Maßnahmen. Ein weiterer Vorteil der digitalen Verbrauchserfassung zeigt sich zudem in der Bereitstellung valider Daten für Energiemanagementsysteme in gewünschter Qualität. Auf diese Weise werden eine noch gezieltere Planung, Steuerung und Kontrolle der energiebezogenen Ziele sowie eine effizientere Gestaltung des Energiecontrollings möglich.¹³ Daneben bietet die digitale Erfassung der Ressourcenverbräuche noch weitere Potenziale.

Steigerung von auswertbaren Datenmengen

Die digitale Erfassung ermöglicht es, deutlich mehr Daten in kürzerer Zeit im Unternehmen zu erzeugen, und schafft so eine größere Datenbasis. Das

¹² Vgl. VDI 4800 Blatt 1:2016-02, S. 50.

¹³ Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 58.

ist insbesondere dann der Fall, wenn Sensoren in Bereichen eingesetzt werden, die für den Menschen nicht oder nur schwer zugänglich sind, und so ermöglichen, z. B. Temperaturen in festgelegten Zeitintervallen automatisiert zu erfassen und weiterzuleiten, ohne den eigentlichen Fertigungsprozess zu unterbrechen. Auf diese Weise können auch komplexere Analysen zu den innerbetrieblichen Ressourcenverbräuchen vorgenommen werden.¹⁴ Es empfiehlt sich daher für Unternehmen zu überprüfen, in welchen Bereichen Daten bisher manuell erfasst wurden und wie diese zukünftig digital erfasst werden können. Dies kann auch ein Retrofitting von Anlagen bedingen. In der Studie „Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands - Industrie-4.0-Retrofit-Maßnahmen an Werkzeugmaschinen“ des VDI ZRE wurde das Retrofitting einer Werkzeugmaschine exemplarisch beschrieben und analysiert.¹⁵

Datenvielfalt als Effizienzpotenzial

Aus der gesteigerten Datenmenge resultiert oftmals auch eine größere Datenvielfalt, da Daten häufig zu unterschiedlichen Zwecken erhoben werden. Wenn z. B. bereits Wareneingänge und -ausgänge von Materialien sowie fertiggestellte Produkte erfasst wurden, können diese Daten für eine Analyse der Stoffströme und Materialverbräuche genutzt werden. Der Aufwand der digitalen Erfassung der Verbrauchsdaten lässt sich durch die Nutzung bereits vorhandener digitaler Datenquellen reduzieren. Und aufgrund der digitalen Verarbeitung der Daten können Ressourceneffizienzpotenziale auch bereichsübergreifend ermittelt werden.¹⁶ Unternehmen sollten daher überprüfen, ob und in welchen Bereichen Daten zu Material- und Energieflüssen erfasst werden, auch wenn das nicht der Zweck der ursprünglichen Datenerhebung war.

Vernetzung von Anlagen und Ressourcenmanagementsystemen

Durch eine digitale Erfassung der Verbrauchsdaten ergibt sich ebenfalls die Option, mehr und komplexere Wirkzusammenhänge zwischen den Anlagen und Ressourcenverbräuchen zu ermitteln. Dieser Schritt ermöglicht es, dass Fertigungsanlagen automatisiert auf sich verändernde Verbräuche

¹⁴ Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 61.

¹⁵ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2022).

¹⁶ Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 62.

reagieren und so beispielsweise potenzielle Ausschüsse oder den Werkzeugverschleiß verringern.¹⁷ Zudem können Ressourcenbedarfe ganzheitlich geplant werden. So können mithilfe der digitalen Erfassung von Druckluftverbräuchen in verschiedenen Bereichen eines Unternehmens Einsparpotenziale – z. B. durch eine bedarfsgerechte Bereitstellung von Druckluft oder eine Konsolidierung der Druckluftsysteme – gewonnen werden.¹⁸

Mustererkennung

Es ist möglich, die digital erfassten Ressourcenverbräuche anhand einer Mustererkennung zu analysieren. Die so aufgedeckten Muster können anschließend genutzt werden, um geeignete Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz zu entwickeln.¹⁹ Die Mustererkennung kann im einfachsten Fall durch eine Excel-Tabelle erfolgen, die beispielsweise die Anlagen mit den höchsten Energieverbräuchen filtert oder markiert. Daneben kann eine Mustererkennung auch mittels Deep-Learning oder anderer KI-Algorithmen stattfinden, was insbesondere bei komplexeren Prozessen oder Wirkzusammenhängen zu empfehlen ist.

KI-Algorithmen

Eine größere Datenvielfalt kann auch zum Trainieren von KI-Algorithmen, wie z. B. Deep-Learning-Algorithmen, genutzt werden, um die Erkennung von Mustern in den Datensätzen zu ermöglichen, die für den Menschen nicht oder nur schwer ersichtlich wären. Darüber hinaus bilden diese Algorithmen die Basis für die Auswertung von Ressourcenverbräuchen in digitalisierten Ressourcenmanagementsystemen.²⁰ Eine Übersicht zu den in der Praxis angewandten Analysemethoden kann der Studie „Potenziale der schwachen künstlichen Intelligenz für die betriebliche Ressourceneffizienz“ des VDI ZRE entnommen werden.²¹

¹⁷ Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 60 f.

¹⁸ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2021), S. 132 ff.

¹⁹ Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 63.

²⁰ Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 61.

²¹ Vgl. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2021), S. 179 f.

Echtzeitanalyse

Die digitale Erfassung macht es erstmals möglich, Analysen in Echtzeit durchzuführen, wodurch zeitnah auf Veränderungen im Fertigungsablauf oder auf Änderungen der Umgebung reagiert werden kann.²² Das kann beispielsweise dann der Fall sein, wenn ein Hallentor geöffnet wird und der so eindringende Wind die Schutzgaskuppel beim MSG-Schweißen gefährdet. Mithilfe einer Echtzeitdatenanalyse kann eine solche Änderung der Umgebungsbedingungen ermittelt und die Schutzgaszufuhr entsprechend angepasst werden, wodurch der Ausschuss von Bauteilen durch fehlerhafte Schweißnähte verhindert wird. Die Echtzeitanalyse ermöglicht somit ein aktives und nicht mehr reaktives Verhalten und trägt dadurch maßgeblich zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz bei.

Entscheidungsunterstützung & Aufwandserleichterung für Entscheidungsbefugte

Insgesamt trägt die digitale Erfassung aufgrund ihrer größeren Datenmenge und -qualität dazu bei, die Prognosegüte zu erhöhen, und verbessert im Weiteren somit die Fertigungsplanung. Dieser Umstand unterstützt wiederum Entscheidungsträgerinnen und -träger dabei, gezielter und zeitlich effizienter auf Veränderungen im Betriebsablauf reagieren zu können, und verhindert zugleich, dass auf Änderungen in unangemessenem Umfang reagiert wird.²³

Die digitale Erfassung ermöglicht überdies eine effiziente digitale Auswertung sowie Visualisierung der erhobenen Daten und verringert letztlich auch den Analyse- und Entscheidungsaufwand Entscheidungsbefugter des Unternehmens.²⁴

Für eine effiziente Verringerung des Ressourceneinsatzes ist es daher von höchster Relevanz, dass die Erfassung der Ressourcenverbräuche vollständig, korrekt, zeitnah, kostengünstig und effizient erfolgt – und erfordert somit eine digitale Erfassung der Ressourcenverbräuche.

²² Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 62.

²³ Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 63f.

²⁴ Vgl. Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019), S. 64.

3 MESSTECHNIK UND KOMMUNIKATIONSTECHNOLOGIEN

Damit Ressourcenverbräuche digital erfasst werden können, sollten sich Unternehmen im Vorfeld der Erfassung zunächst mit den Möglichkeiten der Messung von Ressourcenverbräuchen und den zur Verfügung stehenden Messmethoden, -techniken und Sensorarten auseinandersetzen (siehe Kapitel 3.1). Dies versetzt Unternehmen in die Lage, bereits in der Planung der Ressourcenerfassung (z. B. Ressourcenverbräuche und -verluste, Ausschussmengen, Werkzeugverschleiß) alle Optionen und die damit verbundenen Fehlertoleranzen zu berücksichtigen. „Die Aufgabe der Messtechnik ist [dabei] die objektive, reproduzierbare und quantitative Erfassung einer physikalischen Größe. Dabei bedeutet:

- objektiv von den Sinnesorganen des Menschen unabhängig,
- reproduzierbar wiederholbar und kontrollierbar,
- quantitativ mit einer Zahl versehen.“²⁵

Um einen mittels Messgerät digital erzeugten Messwert weiter zu verarbeiten, muss dieser über eine Schnittstelle in andere Systeme kommuniziert werden. Es gibt zahlreiche Schnittstellensysteme, die in der industriellen Praxis zur Anwendung kommen (siehe hierzu Kapitel 3.2).

3.1 Wie können Ressourcenverbräuche gemessen werden?

Der Verbrauch an Ressourcen wie Material, Energie und Wasser in der industriellen Produktion des verarbeitenden Gewerbes kann über die Messung einer korrespondierenden Messgröße ermittelt werden. Es gibt über 100 Messgrößen, die mittels verfügbarer Messtechnik erfasst werden können. In Bock et al.²⁶ ist eine Übersicht der zurzeit erfassbaren Messgrößen zu finden. Die Wahl einer Messgröße bestimmt in der Folge die in Frage kommenden Messverfahren und Messeinrichtungen (Messgeräte und Zubehör). Mit den

²⁵ Mühl, T. (2022), S. 1.

²⁶ Vgl. Bock, K.; Dittich, P.-G.; Ettrich, K.; Graf, V.; Großer, V.; Fröhlich, T.; Hänschke, F.; Hartmann, H.-D.; Hoffmann, D.; Hoffmann, K.-P.; Ortlepp, T.; Schmidt, F.; Schütze, A.; Simmons, T.; Sinn, W.; Slatter, R.; Töpfer, H.; Tschulena, G.; Werthschützky, R.; Wilde, J. und Zieger, G. (2018), S. 12.

auf dem Markt verfügbaren Messgeräten sind überwiegend physikalische und chemische Messgrößen erfassbar.

Messen von Messgrößen

„Messen [...] ist das Ausführen von geplanten Tätigkeiten zum quantitativen Vergleich der Messgröße mit einer Maßeinheit.“²⁷

Die Messgröße ist dabei das Produkt aus Maßzahl und Maßeinheit. Die Maßzahl stellt den quantitativ gemessenen Wert dar, die Maßeinheit den formelmäßigen Zusammenhang mit anderen physikalischen Größen.²⁸

Die Maßeinheit kann je nach Betrachtungsebene der Ressourcenverbräuche (Unternehmens- vs. Maschinenebene) und Auswertungszweck variieren. Wichtig ist daher, dass eine einheitliche Datenbasis für die Ressourcenverbräuche verwendet wird, da ansonsten Ungenauigkeiten bei der Auswertung der Ressourcenverbräuche durch Rundungen bei der Messung der Ressourcenverbräuche entstehen, welche zu falschen Schlussfolgerungen führen können.

Bevor der Verbrauch einer Ressource für einen bestimmten Zweck gemessen wird, sollte zunächst die Notwendigkeit einer Messung geprüft werden. Abhängig vom Verwendungszweck der Ressourcendaten können bereits Datensätze in anderen Systemen des Unternehmens existieren, z. B. Datensätze zu Wareneingangsdaten aus dem unternehmensinternen Enterprise-Resource-Planning-(ERP-)System für eine globale Betrachtung von Ressourcenverbräuchen oder Datensätze von Maschinen der Fertigungstechnik. Liegen bereits Datensätze vor, die den Verwendungszweck erfüllen, sollte von einer erneuten Erfassung abgesehen werden, denn auch durch die Messung werden Ressourcen verbraucht. Ein unnötiger Ressourcenverbrauch ist zu vermeiden.

²⁷ Parthier, R. (2020), S. 1.

²⁸ Vgl. Parthier, R. (2020), S. 2.

3.1.1 Messgrößen

Doch welche Messgröße wählt man für eine bestimmte produktionsrelevante Ressource, deren Verbrauch für einen bestimmten Anwendungsfall festzustellen ist? Zunächst gilt es zu klären, was genau unter dem Begriff Ressourcenverbrauch zu verstehen ist.

Bei der Ermittlung des Ressourcenverbrauchs werden die Menge an Material, Energie und Wasser zu bestimmten Zeitpunkten erfasst und in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt. Dadurch ist die Ressourcenab- oder -zunahme in Abhängigkeit von der Zeit feststell- sowie deren Ursache im Anschluss analysierbar.

Die Darstellung der Ressourcenmenge ist abhängig von der Ressourcenart und dem Aggregatzustand. Die Mengenangaben von Materialien sowie Wasser erfolgen je Aggregatzustand durch Größen wie Stückzahl, Masse (z. B. kg), Stoffmenge (z. B. Mol), Volumen (z. B. m^3), Konzentration (z. B. kg/m^3) oder Massen-, Stoffmengen- und Volumenströme (z. B. kg/h , mol/min , m^3/h). Die Mengenangabe der Ressource Energie findet meist durch die Angabe der thermischen Energiemenge (z. B. kJ, kWh) oder elektrischen Leistung (z. B. kW) statt.

Es gibt Messgrößen, mit denen eine Ressourcenmenge direkt bestimmbar ist. Das bedeutet, anhand der Messwerte kann unmittelbar auf die Ressourcenmenge und damit auf den Ressourcenverbrauch geschlossen werden. Daneben finden sich Messgrößen, mit denen nicht direkt, sondern nur durch Umrechnung in einem oder mehreren Schritten auf die Ressourcenmenge bzw. den -verbrauch geschlossen werden kann. In Tabelle 1 findet sich eine Auswahl an Messgrößen aufgeführt, mit denen die Menge und der Verbrauch an produktionsrelevanten Ressourcen direkt oder indirekt gemessen werden können.

Tabelle 1: Messgrößen und korrespondierende Ressourcenart

Messgröße	Ressource	Ermittlung Ressourcenmenge	
		direkt	in-direkt
Mechanische Messgrößen an Festkörpern			
Masse	Material	X	
Massendurchfluss		X	
Mechanische Messgrößen an Flüssigkeiten und Gasen			
Durchfluss	Material	X	
Volumen		X	
Füllstand			X
Dichte			X
Druck			X
Thermische Messgrößen			
Temperatur	Energie		X
Wärmeleitung			X
Elektrische Messgrößen			
Strom	Energie		X
Spannung			X
Chemische Messgröße			
Konzentration	Material	X	

3.1.2 Messtechnik und Sensoren

Wurde eine geeignete Messgröße für das Erfassen der Zielgröße „Ressourcenmenge“ identifiziert, muss die Messaufgabe definiert werden. Ist geklärt, welche Anforderungen die Messung erfüllen soll, kann eine geeignete Messtechnik - Sensor, Messgerät, Messmethode und Signalübertragung - ausgewählt werden.

Im Rahmen der Definition der Messaufgabe werden genaue Details zur Messgröße und zulässige Fehlertoleranzen festgelegt. Zudem wird der Messort unter Berücksichtigung möglicher Randbedingungen (z. B. Temperaturgradient, Feuchtigkeit) exakt definiert. Darüber hinaus werden die Messbedingungen und die Art der Weiterverarbeitung des Messsignals identifiziert.²⁹ Neben der Wahl des Messprinzips und Sensors bestimmen die Messmethode sowie die Art der Signalübertragung die für die Messaufgabe

²⁹ Vgl. Helbig, W. (2021), S. 5 f.

geeignete Messtechnik. Aufgrund der Messmethode werden die Vorgehensweise bei der Messdurchführung und die Art der Signalverarbeitung festgelegt.³⁰ Hierbei wird zwischen analogen und digitalen Messmethoden unterschieden. Beide Messmethoden werden durch die DIN 1319-2 charakterisiert.³¹ Bei der analogen Messmethode erfolgt die Generierung des Messwerts durch eine stufenlose Verarbeitung des Messsignals. Bei der digitalen Messmethode wird die Messwertausgabe durch eine stufenweise Verarbeitung des Messsignals erzeugt. Die Messgröße wird dabei in fest vorgegebenen Schritten durch das Messsignal quantifiziert. Das so erzeugte Messsignal kann anschließend direkt für die digitale Weiterverarbeitung verwendet werden.

Insbesondere muss festgelegt werden, ob die Erfassung der Messgröße in größeren zeitlichen Abständen (diskontinuierlich) oder permanent in kleinen Zeitintervallen (kontinuierlich) erfolgen soll. Die Datenmenge bei Datensätzen von diskontinuierlichen Messungen ist im Vergleich zu Datensätzen aus kontinuierlichen Messungen deutlich kleiner. Vorteil von diskontinuierlich ermittelten Datensätzen kann sicherlich ein besseres Datenhandling und eine einfachere Auswertungsroutine sein. Nachteilig kann ein möglicher Informationsverlust aufgrund der geringeren Datendichte sein. Diesen Nachteil weisen kontinuierlich erfasste Daten nicht auf. Allerdings könnte hier die Auswertungsroutine aufgrund der hohen Datendichte komplexer ausfallen. Die Entscheidung über eine diskontinuierliche oder kontinuierliche Messung wird durch Faktoren wie Art der Messgröße, der Messaufgabe, des Messziels und die in Frage kommende Messtechnik bestimmt.

Sensoren

Sensoren setzen das Messprinzip um und erzeugen die Messwerte. Sie entsprechen daher dem zentralen Bestandteil eines Messgeräts. Aufgrund der zunehmenden Digitalisierung von Industrieprozessen kommen stetig mehr Sensoren zum Einsatz. Ihr jeweiliges Aufgabenfeld ist in der Regel hochspezifisch. Die mithilfe der Sensoren gemessenen Daten können für vielfältige Zwecke herangezogen werden. Neben dem Erfassen von Ressourcenmengen

³⁰ Vgl. Parthier, R. (2020), S. 45.

³¹ Vgl. DIN 1319-2:2005-10.

werden Sensoren ebenfalls zur Prozesskontrolle oder Qualitätssicherung genutzt.

Funktionsweise von Sensoren

Die grundsätzliche Aufgabe von Sensoren ist die Wandlung chemischer, physikalischer und biologischer Messgrößen in elektrische Signale. Die erzeugten Messwerte weisen in vielen Fällen einen linearen Zusammenhang mit den Messsignalen auf.³²


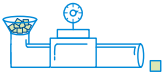
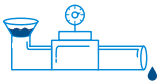




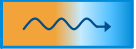



Bei passiven Sensoren wird das erzeugte elektrische Signal mittels eines Messumformers in ein normiertes Analogsignal gewandelt und direkt an einem Messgerät angezeigt. Für das Erzeugen digitaler Messwerte sind die Sensoren mit Mikrocontrollern ausgestattet. Die durch das Sensorelement erzeugten elektrischen Messsignale werden ebenfalls über Messumformer in analoge Messsignale umgewandelt, die wiederum durch Microcontroller in ein digitales Signalformat umgesetzt und weiterverarbeitet wird.³³

Je nach Art der direkt oder indirekt zu erfassenden Ressource können sich die benötigten Sensoren unterscheiden. In Tabelle 2 sind für einige gängige Messgrößen, mit denen Ressourcenverbräuche direkt oder indirekt ermittelt werden können (siehe Tabelle 1), korrespondierende Sensoren aufgeführt. Die hier angegebenen Messgrößen und Messsensoren stellen nur einen Ausschnitt der großen Auswahl möglicher Messgrößen und Sensorarten dar. Diese Übersicht kann aber als erste Orientierung dienen, um sich dem Themenkomplex der digitalen Erfassung von Ressourcenverbräuchen anzunähern.

³² Vgl. Tränkler, H.-R. und Reindl, Leonard M. (2014), S. 3.

³³ Vgl. Parthier, R. (2020), S. 177 f.

Tabelle 2: Sensortypen für ausgewählte Messgrößen der direkten oder indirekten Erfassung von Ressourcenverbräuchen³⁴

Messgröße	Sensortypen
Mechanische Messgrößen an Festkörpern	
Masse 	Elektrische Wäge-Zelle
Massen- durchfluss 	Bildsensor
Mechanische Messgrößen an Flüssigkeiten und Gasen	
Durchfluss 	Magnetisch-induktiver Durchflusssensor, Ultraschall-Durchflusssensor, Differenzdruckbestimmung, Flügelrad-Durchflusssensor, Wirbeldurchflussmesser, Massendurchflussmesser (Corolis-Prinzip), Thermischer Durchflussmesser
Füllstand 	Schwimmer, Ultraschallsensor, Radar/Mikrowelle, Optischer Sensor (z. B. Ultraschall), Leitfähigkeitsmesser, Hydrostatische Messung (Druck Wassersäule), Gravimetrische Messung (Behältergewicht), Kapazitiver Sensor
Dichte 	Biegeschwinger
Druck 	Induktiver Druckaufnehmer, Kapazitiver Druckaufnehmer, Piezoelektrische Druckaufnehmer, Kolbendruckwaage
Thermische Messgrößen	
Temperatur 	Widerstandsthermometer, Infrarot-Temperatursensoren, Thermoelement
Wärmeleitung 	Wärmeleitfähigkeitssensor, Wärmeflussensor
Elektrische Messgrößen	
Strom 	Wechselstromsensoren, Gleichstromsensoren
Spannung 	Spannungssensoren
Chemische Messgröße	
Konzentration 	Infrarot-Spektrometer, Massen-Spektrometer, UV/VIS-Spektrometer

³⁴ Vgl. Fleischer, J.; Klee, B.; Spohrer, A. und Merz, S. (2018), S. 11.

Je nach Art der zu erfassenden Ressource ändern sich auch die benötigten Sensoren. Während bei einer elektrischen Erfassung überwiegend auf Stromzähler und Widerstandsmesser zurückgegriffen wird, unterscheidet sich das im Falle von Stoffströmen je nach jeweiligem Aggregatzustand. So bietet sich bei fluiden Stoffen eine Durchflussmessung an, während sich bei festen Stoffen eine Mengenzählung durch Taster, Kamerasysteme oder per Gewichtsmessung eignen kann. Eine Übersicht zu Ressourcenarten, korrespondierenden Messgrößen und entsprechenden Sensortypen ist in Tabelle 6 im Anhang aufgeführt.

Sensoren für den Einsatz in der fertigungs- und prozessorientierten Produktherstellung sollten für eine gute Performance eine hohe Messsicherheit und Langzeitstabilität, einen umfangreichen Temperatureinsatzbereich, ein geringes Bauvolumen, eine direkte Prozesskopplungsfähigkeit, einen niedrigen Energiebedarf sowie standardisierte Prozess- und elektrische Schnittstellen (Sensoreingang und -ausgang) aufweisen.³⁵

3.2 Schnittstellen und Kommunikationstechnologien

Bei der Erfassung, Speicherung und Auswertung der Ressourcenverbräuche sind neben der Auswahl geeigneter Sensoren auch die Schnittstellen der Sensoren zu anderen Systemen und der Systeme untereinander sowie zwischen Menschen und Systemen zu beachten. Grund dafür ist, dass diese im Wesentlichen bestimmen, ob Daten übertragen werden können und in welchem Format die Übertragung erfolgt. Dadurch wird ebenso bestimmt, welcher Informationsgehalt übertragbar ist. So kann beispielsweise ein Sensor technisch in der Lage sein, hoch komplexe Daten zu erfassen, und auch ein System vorhanden sein, das diese Daten auswerten kann; liegt jedoch keine geeignete Schnittstelle zwischen Sensor und der Auswertungseinheit vor, so scheitert das Vorhaben der digitalen Erfassung der Ressourcenverbräuche. Entsprechend wichtig ist es daher zu überprüfen, für welche Schnittstellen die verwendeten Sensoren und Verarbeitungseinheiten geeignet sind.

³⁵ Vgl. Bock, K.; Dittrich, P.-G.; Ettrich, K.; Graf, V.; Großer, V.; Fröhlich, T.; Hänschke, F.; Hartmann, H.-D.; Hoffmann, D.; Hoffmann, K.-P.; Ortlepp, T.; Schmidt, F.; Schütze, A.; Simmons, T.; Sinn, W.; Slatter, R.; Töpfer, H.; Tschulena, G.; Werthschützky, R.; Wilde, J. und Zieger, G. (2018), S. 19.

Um zu verstehen, in welcher Weise Schnittstellen und Kommunikationstechnologien Einfluss auf die Möglichkeiten der Auswertung von Daten nehmen, ist der grundsätzliche Ablauf von der Messung bis zur Auswertung zu betrachten. In Abbildung 2 wird dieser Prozess exemplarisch anhand einer sensorischen Messung, eines Bus-Systems und einer Auswerteeinheit dargestellt und im Folgenden näher beschrieben.

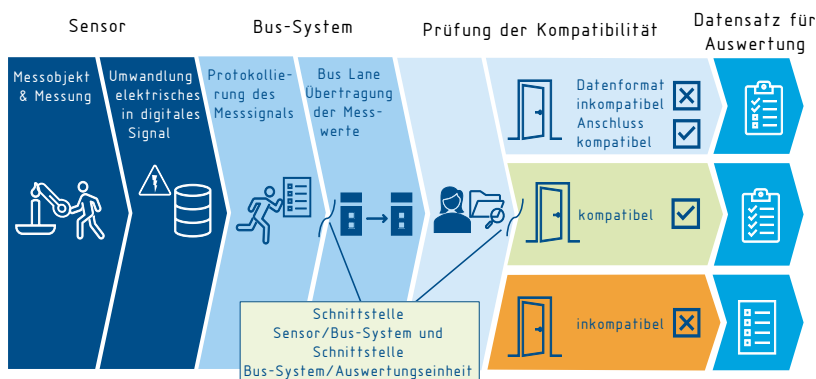


Abbildung 2: Schematischer Aufbau eines Messsystems von der Erfassung bis zur Auswertung³⁶

Sensoren erfassen physikalische Größen in Form elektrischer Signale und wandeln diese in digitale Signale um.³⁷ Bus-Systeme können hier genutzt werden, um diese Signale zu übertragen und an eine spätere Verarbeitungseinheit weiterzuleiten. Da unterschiedliche Sensoren die gleichen Leitungen (sog. Bus Lanes) nutzen, müssen Signale codiert werden, um rückverfolgbar zu sein. Hierfür werden Protokolle eingesetzt. Zwischen verschiedenen Erfassungs-, Speicher- und Verarbeitungseinheiten müssen die Daten umgewandelt werden, um übertragen werden zu können. Diese Umwandlung an den Schnittstellen kann zu Datenverlusten führen, wie in Abbildung 2 gezeigt wird. Um ungewollten Datenverlusten vorzubeugen, ist es daher empfehlenswert, sich zunächst mit den Schnittstellen und Übertragungsformaten auseinanderzusetzen und sich so eine Übersicht über mögliche

³⁶ Eigene Darstellung.

³⁷ Vgl. Marxer, M.; Bach, C. und Keferstein, C. P. (2021), S. 307.

Schnittstellenkonflikte zu verschaffen. Diese kann darüber hinaus als Ausgangsbasis für mögliche Schnittstellenanpassungen dienen. Zu den zahlreichen Formen von Schnittstellen gehören:³⁸

- **Hardwareschnittstellen**
 - Schnittstellen zwischen zwei physischen Komponenten, z. B. USB-Anschluss und USB-Stick.
- **Softwareschnittstellen**
 - Zugriff auf Systemroutinen
 - Kommunikation zwischen Prozessen
 - Verbindung zwischen einzelnen Komponenten eines Programms bzw. programmübergreifenden Schnittstellen.
- **Netzwerkschnittstellen**
 - Erlaubt Zugriff auf Rechnernetz, z. B. Ethernet-Anschluss am Computer.
- **Benutzerschnittstellen**
 - Bereiche, in denen eine Interaktion zwischen Menschen und Maschine stattfindet.

Schnittstellen nehmen so einen wesentlichen Einfluss auf die Datenqualität und -quantität. Damit Unternehmen die gewünschte Datenqualität und -quantität konstant erhalten können, muss das Mess- und Erfassungssystem als Ganzes betrachtet und im Einzelnen angepasst werden. Die Auswahl eines geeigneten Sensors, der verwendeten Übertragungstechnologie und Auswertungssysteme erfolgt auf Basis des angestrebten Datensatzes, da dieser den Dateninhalt definiert.

Das Auswertungssystem wird entsprechend danach gewählt, ob es Daten mit diesen Inhalten erhalten und auswerten kann. Das Auswertungssystem definiert das Datenformat, um den Dateninhalt zu erfassen und auswerten zu können. Die Anschlüsse des Auswertungssystems definieren wiederum, welche Bus-Systeme genutzt werden können, d. h. welche Form der

³⁸ Vgl. Hottinger Brüel & Kjaer GmbH (o.J.).

Datenübertragung erfolgt, z. B. über Ethernet, USB, RFID, UMTS etc. (vgl. hierzu Tabelle 7 im Anhang).

Die folgenden Bus-Systeme haben sich zwischenzeitlich in diversen Branchen etabliert:³⁹

- CAN (Fahrzeugtechnik, Antriebstechnik, Maschinensteuerung),
- INTERBUS (Antriebstechnik, Maschinensteuerung, Automobilbau in Europa),
- LON (Gebäudeautomatisierung),
- KNX (Gebäudeautomatisierung),
- PROFIBUS-DP (Maschinenbau, Fertigungstechnik),
- PROFIBUS-PA (chemische und mechanische Verfahrenstechnik).

Die Auswahl des Bus-Systems als Art der Datenübertragung hat mitunter wesentlichen Einfluss auf die Verarbeitungsgeschwindigkeit der Daten. So wird bei Bus-Systemen zwischen serieller und paralleler Übertragung unterschieden. Serielle Bus-Systeme sind am weitesten verbreitet, da diese recht kostengünstig sind. Bei seriellen Bus-Systemen gibt es nur eine Übertragungsleitung, die sich die angeschlossenen Sensoren teilen. Dieser Umstand wirkt sich negativ auf die Übertragungsgeschwindigkeit aus – vergleichbar mit einem Gebäude, in dem viele Personen auf das gleiche WLAN zugreifen. Die Geschwindigkeit für jede einzelne Person wird dadurch reduziert.

Anders verhält es sich bei parallelen Bus-Systemen, bei denen jeder Sensor seine eigene Übertragungsleitung hat. Allerdings ist diese Art der Bus-Systeme preisintensiv. Unternehmen müssen daher zwischen einer schnellen und kostspieligen oder einer günstigen, jedoch langsameren Datenübertragung abwägen.

Neben kabelbasierten Bus-Systemen können auch WPAN (Wireless Personal Area Network) zur Datenübertragung genutzt werden. WPAN dienen der drahtlosen Übertragung von Daten. Sie verfügen häufig nur über eine geringe Reichweite (bis zu 10 m) und finden insbesondere im Bereich IoT

³⁹ Vgl. Schiessle, E. und Schreier, J. (2018).

Anwendung. Das bekannteste WPAN-System ist Bluetooth.⁴⁰ WPAN können also immer dort eine geeignete Alternative zu kabelbasierten Bus-Systemen darstellen, wo eine drahtlose Übertragung notwendig oder basierend auf der Infrastruktur und dem Breitbandausbau zielführend erscheint.

Ist das übertragende System definiert, so kann nach einem geeigneten Sensor für die Messaufgabe und passenden Anschlüssen gesucht werden. Da die Auswahl des Sensors, des Auswertungs- und des Übertragungssystems oftmals mehrere Möglichkeiten zulässt, kann es sich auch um einen iterativen Vorgang handeln - insbesondere dann, wenn die Sensoren und Systeme ebenso für andere Auswertungen und Messungen, z. B. zur Steuerung der Produktion, eingesetzt werden sollen. Zu beachten ist gleichfalls, ob die Daten stationär gespeichert oder in eine Cloud ausgelagert werden, da davon die Auswahl der verwendeten Systeme beeinflusst wird.

Insgesamt gilt es, bei der Wahl der Systeme auch die Ebenen der industriellen Kommunikation (siehe Abbildung 3) zu beachten. Diese werden durch Applikationsfunktionen & Informationsmodelle, Kommunikationsdienste und Informationsmodelle, transportorientierte Protokolle sowie Datenmengen und Übertragungsgeschwindigkeit beschrieben. Der Umfang an zu transportierenden Datenmengen und die Höhe der Übertragungsgeschwindigkeit bestimmt dabei die Auswahl an transportorientierten Protokollen.

⁴⁰ Vgl. Grasreiner, S. (4. Februar 2022).

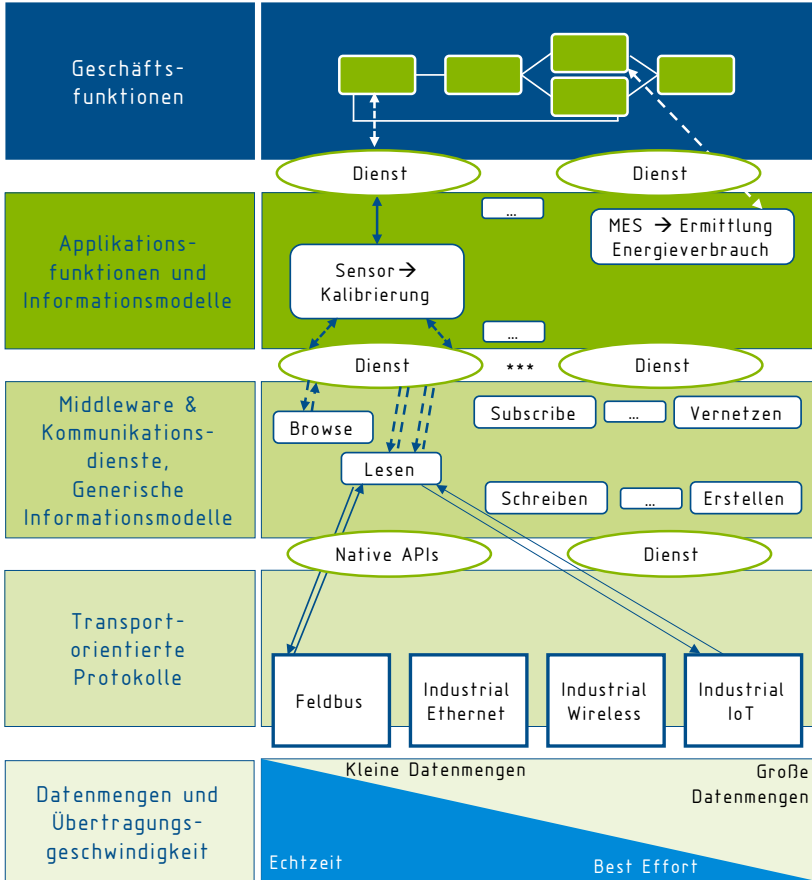


Abbildung 3: Darstellung der Ebenen in der industriellen Kommunikation⁴¹

⁴¹ In Anlehnung an Wollschlaeger, M.; Debes, T.; Halhoff, J.; Wickinger, J.; Dietz, H.; Feldmeier, G.; Michels, J.; Scholing, H. und Billmann, M. (2018), S. 20.

4 DATENERFASSUNG UND -INTEGRATION IN DER FERTIGUNG

Unternehmen setzen immer mehr Sensoren ein⁴². Diese generieren zunehmend mehr Daten. Allerdings bedeutet das nicht zwangsläufig, dass diese Daten auch verwendet werden können. Damit die Datenerhebung kein reiner Selbstzweck ist, sondern einen Nutzen für Unternehmen darstellt, müssen die Daten eingesetzt werden. Oftmals liegen diese Daten in den Unternehmen jedoch in variierenden Quantitäten und Qualitäten vor, was ihre Weiterverarbeitung maßgeblich erschwert oder verhindert. Das liegt zum Teil an der historisch gewachsenen Software- und Hardwarelandschaft in Unternehmen und zum anderen daran, dass die originäre Datenerhebung häufig für einen speziellen Fall durchgeführt wurde, woraus sich die Unterschiede hinsichtlich der Datenquellen erklären.

Damit die Erhebung von Daten möglichst effizient abläuft, sollte daher bereits im Vorfeld überlegt werden, ob Daten auch für weitere Analysen anderer Unternehmensbereiche eingesetzt werden können und wie sie erhoben werden müssen, um später ebenso durch andere Systeme erfasst werden zu können. Auf diese Weise wird verhindert, dass sogenannte Data Lakes⁴³ entstehen, die nicht mehr weiterverwendet werden können. Eine systematische Herangehensweise an die Datenerfassung, -aufbereitung und -integration kann dabei unterstützen, Data Lakes im Unternehmen in wertvolle Informationsressourcen umzuwandeln. Entsprechende Data-Mining-Methoden unterstützen beim systematischen Aufbau einer durchgängigen Datenbasis.

In Abbildung 4 sind die prinzipiellen Schritte einer Data-Mining-Methode aufgeführt und erläutert. Neben der Zieldefinition wird die Datenstruktur entwickelt und die benötigte Datenqualität festgelegt. Im Anschluss wird das Vorgehen der Datenaufbereitung bestimmt und die Art der Modellierung gewählt. Nachfolgend werden die Datenevaluation sowie die Implementierung des Modells definiert. Das Einholen des Nutzfeedbacks schließt den Prozess

⁴² Vgl. Deutscher Industrie- und Handelskammertag e. V. (2021), S. 3.

⁴³ Ein Data Lake ist ein Datenspeicher, der Daten aus unterschiedlichen Quellen in strukturierter und unstrukturierter Form enthält.

ab. Eine Übersicht zu den gängigsten Data-Mining-Methoden findet sich in Tabelle 8 im Anhang.

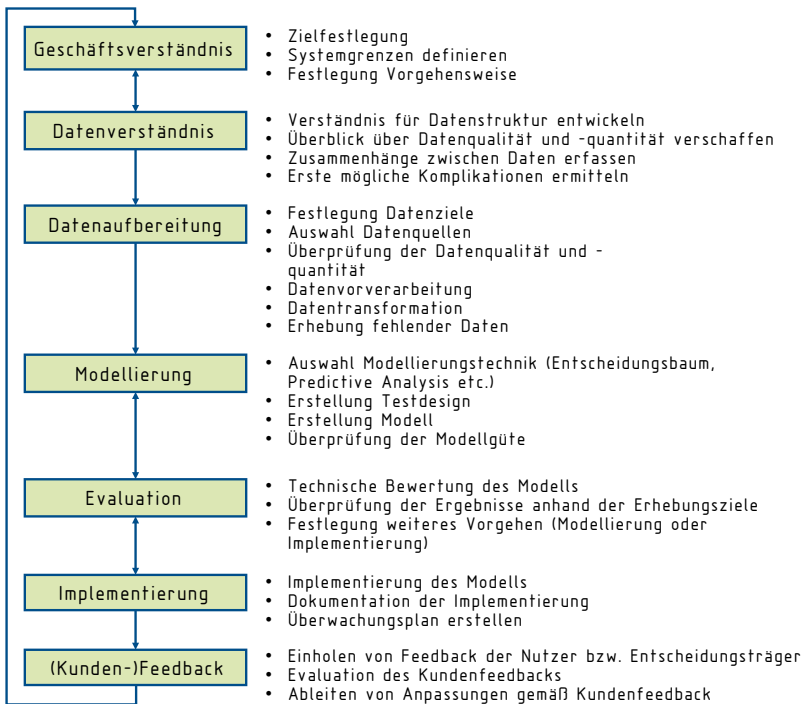


Abbildung 4: Methode zur systematischen Erfassung, Aufbereitung und Integration von Daten⁴⁴

Die Länge der einzelnen Schritte kann während ihrer Anwendung variieren. So werden in der Regel 20 % bis 30 % der Zeit für die Auswahl der relevanten Datenbestände benötigt. Der größte Teil der Zeit mit 50 % bis 70 % wird für die Datenaufbereitung verwendet. Für die Modellierung werden 10 % bis 20 % der Zeit in Anspruch genommen und die abschließende Integration der Daten und Datenmodelle umfasst noch einmal 5 % bis 10 % der Gesamtzeit.⁴⁵ Der Zeitanteil der Modellierung kann entfallen, falls für die digitale

⁴⁴ In Anlehnung an MarkTab Consulting et al. (2022).

⁴⁵ Vgl. Wuttke, L. (2022).

Erfassung der Ressourcenverbräuche kein eigenes System entwickelt oder mittels Machine Learning trainiert werden soll. Das ist dann der Fall, wenn die erhobenen Daten in eine bereits vorhandene oder eine eigens dafür beschaffte Software integriert werden sollen.

Um die Anwendung der Data-Mining-Methoden zu erleichtern, ist das Kapitel gemäß den wesentlichen Data-Mining-Schritten aufgebaut und dient als Leitfaden für eine systematische Erhebung, Aufbereitung und Integration von Daten.

4.1 Zielbestimmung der sich ergebenden Daten

Bevor sich Unternehmen mit der Erfassung, Verarbeitung und Integration von Daten auseinandersetzen, sollten sie sich zunächst überlegen, mit welchem Ziel sie die Daten erheben. Auf diese Weise wird verhindert, dass Kapazitäten für die Erfassung von Daten aufgebracht werden, die anschließend keinerlei Verwendung finden. Mithilfe einer konkreten Zielbestimmung soll erreicht werden, dass so wenige Daten wie möglich und so viele Daten wie nötig erhoben werden. Gleichzeitig ermöglicht die Beschränkung des Zielkorridors ein Herunterbrechen der Zielvorhaben auf einzelne Aufgaben, die anschließend zur Zielerreichung umgesetzt werden können.

Um einen geeigneten Zielkorridor zu ermitteln, hilft es, die essenziellen Eigenschaften von Daten zu betrachten. Daten sind im Wesentlichen durch drei Spezifika definiert:

- Zum einen geht es um das Volumen, also die Anzahl der anfallenden Daten pro Einheit. Dies beeinflusst wesentlich den Aufwand, der mit der Datenerfassung und Aufbereitung verbunden ist.
- Zum anderen handelt es sich um die Geschwindigkeit der Daten, also in welcher Geschwindigkeit Daten neu generiert, aber auch verarbeitet und ausgewertet werden. Erfolgt die Erhebung der zu verarbeitenden Daten beispielsweise auf Tagesbasis, so gibt es nur einen Datensatz. Auf Stundenbasis wären es 24 Datensätze pro Tag, auf Minutenbasis 1.440 Datensätze und auf Sekundenbasis 86.400 Datensätze.

- Zudem werden Daten durch ihre Vielfalt definiert. Die Vielfalt ist dabei die Anzahl der Strukturen und Formate, in der ein Datensatz vorliegen kann.⁴⁶

Im Fall großer Datenmengen sollten zusätzliche Eigenschaften berücksichtigt werden, wie z. B. die Variabilität des Datenstroms. Hierunter wird die Menge der gleichzeitig zu verarbeitenden Datensätze verstanden. Dies beeinflusst, welche Rechenleistung für die Speicherung und Verarbeitung der Daten zur Verfügung gestellt werden muss. Die Komplexität des Datenstroms beschreibt den Aufwand der Anpassung der Datensätze und den Wert der Daten. Gemeint ist hiermit, welche Schlüsse z. B. im Hinblick auf Ressourceneinsparpotenziale aus den Daten gezogen werden können.⁴⁷

Die Zielbestimmung der Datenerhebung muss nicht bereits zu Beginn des Vorhabens im Detail feststehen. Es geht vielmehr darum, aus dem Vorhaben konkrete Datenziele abzuleiten. Ein exemplarisches Vorhaben kann beispielweise wie folgt lauten: ‚Reduzierung des Material- und Energieverbrauchs des Fertigungsautomaten 2 in Halle 1.‘ Hieraus ergeben sich folgende Ziele:

- Identifikation und Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Materialeffizienz von Fertigungsautomat 2,
- Identifikation und Umsetzung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz von Fertigungsautomat 2.

Um diese Ziele umzusetzen, müssen zunächst die entsprechenden Daten erhoben werden, die dann das Ziel der Datenerhebung sind. Die Datenerfassungsziele können somit folgende sein:

- Erfassung des Energieverbrauchs von Fertigungsautomat 2,
- Erfassung des Materialverbrauchs von Fertigungsautomat 2,
- Erfassung der Einsatz- und Stand-by-Zeiten von Fertigungsautomat 2,

⁴⁶ Vgl. Katal, A.; Wazid, M. und Goudar, R. H. (2013), S. 404.

⁴⁷ Vgl. Katal, A.; Wazid, M. und Goudar, R. H. (2013), S. 404 f.

- Erfassung der Aufträge, die auf Fertigungsautomat 2 bearbeitet wurden,
- Erfassung der Instandsetzung- und Wartungszeiten.

Ob diese Datenerfassungsziele genügen, um das vorher definierte Ziel zu erreichen, hängt im Wesentlichen davon ab, ob die benötigten Daten von Fertigungsautomat 2 erhoben werden. Sollte dies nicht der Fall sein, so können sich Sub-Ziele entwickeln, die nach einer Aufbereitung zum eigentlichen Datenerfassungsziel beitragen. Daher sollte das in den folgenden Kapiteln vorgestellte Vorgehen zur systematischen Erfassung, Aufbereitung und Integration von Daten auch als iteratives Modell angewendet werden können.

Sollte z. B. das Erfassungsziel „Erfassung des Energieverbrauchs von Fertigungsautomat 2“ in dieser Form nicht messbar sein, können sich daraus folgende Sub-Ziele ableiten:

- Erfassung des Stromverbrauchs der Produktionshalle,
- Erfassung der Stromverteilung/-menge in der Produktionshalle.

Sub-Ziele sind somit immer eine Aggregationsstufe gröber als die Primärziele. Die Festlegung der Ziele, Sub-Ziele, Sub-Sub-Ziele etc. wird so lange fortgesetzt, bis Ziele zur Datenerhebung festgelegt sind, die zumindest theoretisch umsetzbar wären.

4.2 Auswahl und Aufbau einer Datenbasis

Nachdem die Ziele der Datenerfassung festgelegt sind, kann damit begonnen werden, eine geeignete Datenbasis auszuwählen bzw. aufzubauen, um die Ziele sukzessive zu erfüllen.

4.2.1 Qualitätskriterien zum Aufbau einer Datengrundlage

Um eine qualifizierte Auswahl der Datenquellen zu ermöglichen, ist es wichtig festzulegen, welche Qualitätskriterien die Daten erfüllen müssen, um die vorher definierten Ziele zu erreichen. Die Anforderungen orientieren sich an den späteren Nutzern der Daten, also in der Regel an Systemen, die auf diese Daten zur Weiterverarbeitung zurückgreifen. Anforderungen hinsichtlich der Aktualität, Vollständigkeit und Fehlerfreiheit der Datensätze können je

nach Nutzung variieren. So kann beispielsweise bei einer unternehmensweiten Betrachtung der Ressourcenverbräuche die Vollständigkeit der Daten eine hohe Priorität aufweisen, wobei bei der Aktualität ein breiterer Erfassungszeitraum berücksichtigt werden kann, als es beispielsweise bei der Steuerung der Produktionsanlagen der Fall wäre. Neben den inhaltlichen Anforderungen der Nutzenden gibt es weitere Einflussfaktoren, die bei der Qualität und dem Aufbau einer geeigneten Datengrundlage benötigt werden. Hierzu gehören: ⁴⁸

- externe rechtliche Anforderungen,
- externe Referenzinformationen,
- unternehmenseigene Standards,
- technische Anforderungen (System, Anwendung, Datenbank).

Wichtig ist daher, dass Unternehmen die Bedürfnisse und Anforderungen beim Aufstellen der Qualitätsanforderungen der Stakeholderinnen und Stakeholder berücksichtigen. Die jeweiligen Qualitätsanforderungen können unterschiedliche Dimensionen aufweisen, wie in Abbildung 5 dargestellt.

Bei der Ausgestaltung der Qualitätsanforderungen ist es nicht notwendig, alle Dimensionen in gleicher Weise zu berücksichtigen. Vielmehr müssen die Unternehmen entscheiden, welche Dimensionen in welchen Ausprägungen für die Aufgabenerfüllung relevant sind. Hierbei sollten auch die Qualitätsanforderungen für andere Messvorhaben Berücksichtigung finden, um Synergieeffekte beim Aufbau der Datenbank zu nutzen.

⁴⁸ Vgl. Hildebrand, K.; Gebauer, M. und Mielke, M. (2021), S. 73.

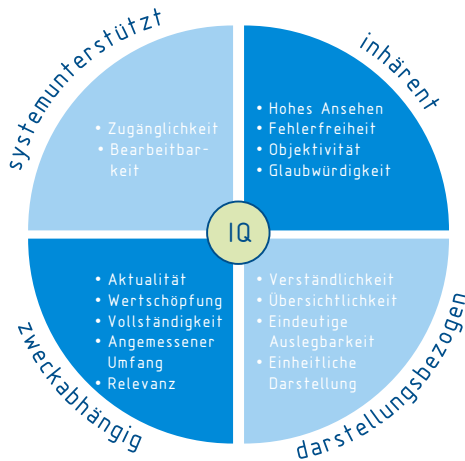


Abbildung 5: Übersicht über die Informationsqualitätsdimensionen⁴⁹

Die aufgestellten Qualitätsanforderungen dienen als Grundlage für die Auswahl geeigneter und den Aufbau neuer Datenquellen. In Tabelle 3 ist für die Anwendenden aus der Industrie eine praxisorientierte und gut umsetzbare Einteilung der Datenqualitätsmerkmale in drei Hauptmerkmale und insgesamt zehn Untermerkmale dargestellt.

Tabelle 3: Strukturierung der Datenqualität nach drei Hauptmerkmalen (nach Larry English)⁵⁰

Qualität der Datendefinition
Datenspezifikation
Geschäftsregeln
Integritätsbedingungen
Inhaltliche Datenqualität
Vollständigkeit der Daten
Eindeutigkeit/ Einzigartigkeit der Datensätze
Einhaltung der Geschäftsregeln
Genauigkeit und Fehlerfreiheit der erhobenen Daten
Qualität der Datenpräsentation
Zeitpunkt der Datenbereitstellung
Formattyp
Aufbau des Formats

⁴⁹ In Anlehnung an Hildebrand, K.; Gebauer, M. und Mielke, M. (2021), S. 77.

⁵⁰ Vgl. Hildebrand, K.; Gebauer, M. und Mielke, M. (2021), S. 89.

4.2.2 Auswahl aus bestehenden Datensätzen

Unternehmen sollten zunächst prüfen, ob bereits Datenbestände existieren, die den Qualitätskriterien entsprechen und für die Datenziele geeignet sind. Auf diese Weise wird die doppelte Erhebung, Speicherung und Verarbeitung von Daten vermieden. Darüber hinaus sinkt durch diese Maßnahme auch der Erhebungsaufwand. Verschiedene interne und externe Datenquellen im Unternehmen können für den Aufbau einer Datenbasis genutzt werden. In Tabelle 4 sind typische interne und externe Datenquellen aufgeführt.

Tabelle 4: Interne und externe Datenquellen⁵¹

Externe Quellen	Interne Quellen	
	Geschäftsebene	Anlagenebene
Stücklisten, Aufträge	Produkt-/Komponenten-/Bauteil-datenbank	Sensordaten
Lieferanten-Kataloge	Lieferantendatenbank	SPS, FU
Roh-, Betriebs- & Hilfsstoffent-wicklung	Lagerbestandsdatenbank	MES
Verfügbarkeitsdaten/-historie	Anfrage- & Auftragsdatenbank	Manuelle Daten
Nachfragehistorie	Kundendatenbank inkl. Bestellhis-torie	Statische Daten
-	-	DBS, Data Warehouse, Data Lake

Entscheidend ist dabei erst einmal nicht, in welchem Format die Daten vorliegen, sondern ob sie die definierten Qualitätskriterien erfüllen. Eine Anpassung des Datenformats ist oftmals mit weniger Aufwand verbunden als die Steigerung der Datenqualität, da hierfür in der Regel eine neue Datenerfassung notwendig wird.

4.2.3 Erzeugung neuer Datensätze

Ähnlich wie bei der Auswahl aus bestehenden Datensätzen orientiert sich die Erzeugung neuer Datensätze an den zuvor festgelegten Qualitätskriterien. Je nach Art der Erzeugung müssen diese gegebenenfalls angepasst werden.

Bevor die neuen Datensätze erzeugt werden können, gilt es zu prüfen, ob die Erzeugung mit der vorhandenen Hard- und Software möglich ist und ob die

⁵¹ VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019), S. 109.

so gewonnenen Daten den vorab definierten Qualitätskriterien entsprechen. Hierdurch wäre der Aufwand, sowohl ökonomisch als auch ökologisch, zur Erzeugung neuer Daten am geringsten. Sollten die vorhandenen Systeme nicht geeignet sein, die geforderten Daten zu erzeugen oder die Qualitätsanforderungen zu erfüllen, ist zu überprüfen, ob die Systeme nachgerüstet werden können, um den geforderten Standard zu erreichen. Erst wenn dies nicht möglich sein sollte, wird für die Gewinnung der Daten ein neues System aufgebaut.

Da der Aufbau eines neuen Messsystems mit planerischem, ökonomischem und ökologischem Aufwand verbunden ist, sollte geprüft werden, ob die Möglichkeit besteht, die fehlenden Daten aus bestehenden Daten abzuleiten oder zu substituieren. Sollte dies nicht möglich sein, so muss sichergestellt werden, dass der Nutzen, der aus der Erzeugung und Auswertung neu generierter Daten hervorgeht, den damit verbundenen Aufwand übersteigt. Hierfür sollte die Erzeugung neuer Datensätze nicht nur aus der Ressourceneffizienzperspektive betrachtet werden. Vielmehr ergeben sich hieraus Überlegungen im Vorfeld darüber, ob die Daten auch anderweitig ausgewertet werden können und einen zusätzlichen Nutzen generieren. Diese ganzheitliche Planung verhindert, dass Daten mehrfach erhoben werden.

4.3 Erfassung und Aufbereitung von Datensätzen

Nachdem die benötigten Daten ausgewählt oder erzeugt wurden, müssen sie für die spätere Integration und Auswertung erfasst und aufbereitet werden.

Wie bereits in Kapitel 4.2.2 aufgezeigt, existieren im Unternehmen zahlreiche Quellen, um Daten zu erhalten. Das resultiert häufig darin, dass die Daten für eine digitale Erfassung von Ressourcenverbräuchen aus einer Vielzahl an Quellen und Speicherorten stammen. Im Schritt der Erfassung und Aufbereitung der Datensätze geht es daher darum, aus der Vielzahl an Datenquellen eine einheitliche Datenbasis zu bilden. Hierfür müssen verschiedene Anpassungen vorgenommen werden.

Zum einen kann es mit Blick auf die zuvor ausgewählten Datenquellen dazu kommen, dass die gleichen Daten in diversen Formaten und an mehreren Orten (Data Lakes) vorliegen. Entsprechend wichtig ist es daher, die Daten

so aufzubereiten, dass eine einheitliche Datenbasis entsteht.⁵² Dies bedingt unter anderem eine Bereinigung der ausgewählten Datensätze um doppelte Einträge. Auf diese Weise wird im Fall wiederkehrender Analysen der Rechenaufwand zur Erhebung der Daten reduziert. Hierbei muss auch entschieden werden, an welchem Ort die Bereinigung der Daten erfolgen soll. Es ist zudem zu klären, ob die Daten im ursprünglichen Erfassungssystem korrigiert werden oder ob diejenigen, die für die Auswertung notwendig sind, kopiert und anschließend in einer neuen Datenbank korrigiert, erweitert und von Dubletten befreit werden.⁵³

Sind alle doppelten Einträge entfernt, so geht es im zweiten Schritt daran, die Daten abzuleiten, die zwar benötigt, aber nicht direkt gemessen werden können. Hieraus kann sich ein mehrstufiger Prozess ergeben, bei dem aus den bereits abgeleiteten Daten wiederum neue Datensätze abgeleitet werden. So können beispielsweise aus Energieverbrauchsdaten auf Maschinenebene die Verbrauchsdaten auf Abteilungs- oder – mit weiteren Verbrauchern – auf Unternehmensebene abgeleitet werden.⁵⁴

Nun sollte ein Datensatz vorliegen, der nur noch Daten enthält, die für die digitale Erfassung der Ressourcenverbräuche notwendig sind. Daher geht es im nächsten Schritt darum, das Format der Daten zu vereinheitlichen. Das verwendete Format richtet sich dabei nach den Anforderungen des späteren Auswertesystems. Damit diese Datensätze auch für eine spätere Auswertung genutzt werden können, müssen sie in ein geeignetes Format zur Übertragung und Auswertung der Daten überführt werden. Eine Angleichung des Formats kann eine semantische und syntaktische Informationsanpassung sein.⁵⁵

Im Falle der semantischen Anpassung werden Datensätze so adaptiert, dass diese in der späteren Auswertung auch korrekt erfasst werden können. Eine fehlende Beachtung der Semantik kann zu einer fehlerhaften Ermittlung der Daten und somit der Auswertung führen. Dies kann beispielsweise dann der

⁵² Vgl. Chapman, P.; Clinton, J.; Kerber, R.; Khabaza, T.; Reinartz, T.; Shearer, C. und Wirth, R. (2000), S. 25.

⁵³ Vgl. Bleiholder, J. und Schmid, J. (2020), S. 124.

⁵⁴ Vgl. Bleiholder, J. und Schmid, J. (2020), S. 288 f.

⁵⁵ Vgl. Bleiholder, J. und Schmid, J. (2020), S. 124.

Fall sein, wenn Zahlen ohne Einheit oder in uneinheitlichen Formaten (kg, g, Kilogramm etc.) erfasst werden.⁵⁶

Ähnlich verhält es sich bei der syntaktischen Anpassung. Hier geht es im Konkreten darum, die verschiedenen Informationselemente der Daten in der korrekten Abfolge zu erfassen, da es ansonsten bei der späteren Auswertung zu Fehlern kommen kann.⁵⁷ Das ist beispielsweise der Fall, wenn die Einheiten mal vor und mal nach den gemessenen Zahlen erfasst werden.

Abschließend bleibt noch zu prüfen, ob die Daten über ein geeignetes Datenformat für ihre Übertragung und Auswertung verfügen. Schließlich ergeben die Daten keinen Vorteil, wenn sie z. B. in Bildern dokumentiert sind, die jeweilige Auswertungseinheit ausschließlich Daten aus Datenbanken auswerten kann. Zu beachten ist hier, dass vor der entsprechenden Anpassung der Daten eine Änderung des Datenformats und umgekehrt notwendig werden kann.

Sollten Daten existieren, bei denen Informationen fehlen, die für die spätere Auswertung notwendig sind, so müssen diese ergänzt werden. In diesem Zusammenhang ist auch der Grund für das Fehlen der Information zu prüfen, um sukzessive Maßnahmen zu entwickeln, die bei späteren Datenerhebungen eine vollständige Erfassung der Informationen gewährleisten.

4.4 Überprüfen und Anpassen von Datensätzen

Damit der generierte Datensatz zu einem verlässlichen Ergebnis führt, müssen die Daten überprüft und anschließend angepasst werden.

4.4.1 Überprüfung der Datensätze

In den klassischen Data-Mining-Methoden würden in den Schritten Modelling und Simulation normalerweise die Entwicklung und Überprüfung eines Datenauswertungsmodells durchgeführt werden. Dies sollte auch umgesetzt werden, falls noch kein System zur späteren Auswertung der Ressourcendaten vorhanden ist. In einem solchen Fall gilt es, Methoden heranzuziehen, die die vorher entwickelte Datenbasis auswerten und zu verwendbaren

⁵⁶ Vgl. Bleiholder, J. und Schmid, J. (2020), S. 124.

⁵⁷ Vgl. Bleiholder, J. und Schmid, J. (2020), S. 12.

Kennzahlen aggregieren. Diese Kennzahlen können je nach Vorhaben variieren. In Tabelle 5 ist eine Auswahl aufgelistet.

Tabelle 5: Übersicht möglicher Energieeffizienzkennzahlen⁵⁸

Kennzahl	Beschreibung
Thermodynamische Energieeffizienz	Im Prozess genutzte Energie pro eingesetzte Energie
Energieverbrauchsintensität	Energieverbrauch pro Produkt
Gesamtenergieverbrauch	Absoluter Wert benötigter Energie
Energieproduktivität	Ergebnismenge pro eingesetzte Energie
Spezifischer Energiebedarf	Energiebedarfe pro produzierte Menge
Spezifischer Leistungsbedarf	Leistungsbedarf zur Produktion
Energieeffizienzfaktor	Prozessenergiebedarf pro Gesamtenergiebedarf

Zur Überprüfung der Datenbasis und der gewählten Methoden sollte ein Testdatensatz verwendet werden, beispielsweise mit bereits bekannten Ergebnissen aus vergangenen Projekten. Hierdurch wird ermöglicht, sowohl die Qualität der Datenbasis als auch die Aussagekraft der gewählten Auswertemethoden zu überprüfen.

Sollte bereits ein Auswertesystem existieren – z. B. in Form einer Software für ein Energiemanagementsystem – sind die Auswertungsmethoden schon durch die Software definiert und es kann lediglich eine Auswahl der Methoden getroffen werden. In jedem Fall gilt es, die vorher erstellte Datenbasis zu validieren und zu verifizieren. Auch hierfür sollte ein Testdatensatz als Referenz herangezogen werden. Je nach Art der Software für die spätere Datenauswertung können die Daten dann in einer Testumgebung überprüft werden. Sollte das nicht möglich sein, so müssen die Daten in die realen Systeme integriert und dort getestet werden. Hierbei ist jedoch Vorsicht geboten. Sollte das Auswertesystem mit anderen Systemen verbunden sein, die bei bestimmten Parametern automatisiert reagieren, müssen diese im Testzeitraum vom restlichen System getrennt werden.

4.4.2 Anpassung von Datensätzen

Ist die Überprüfung des Auswertesystems mithilfe der Testdaten erfolgt, so ist zu kontrollieren, inwieweit es sich für die Erfassung von

⁵⁸ Labbus, I. (2021), S. 51.

Ressourcenverbräuchen als geeignet erweist. Je nach Grad der Zielerfüllung kann sich hieraus eine Anpassung des Auswertesystems ergeben, die wiederum eine Anpassung oder Ersetzung der gewählten Auswertungsmethoden, aber auch der verwendeten Datenbasis erforderlich macht. Die Simulation des Auswertesystems und die anschließende Anpassung werden so lange wiederholt, bis ein Zielerreichungsgrad ermittelt wurde, der sich für die vorher definierte Auswertungsaufgabe als geeignet erweist. Anschließend wird die Datenbasis überprüft, um deren Eignung für das angepasste Auswertungssystem sicherzustellen. Hieraus kann sich eine erneute Erhebung, Auswahl, Aufbereitung und Überprüfung der Daten bedingen. Aus diesem Grund sind die bisher in Kapitel 4 beschriebenen Abschnitte als ein Kreislauf zu verstehen, der in einem iterativen Prozess ein Auswertesystem und/oder eine Datenbasis schafft, die für eine digitale Erfassung von Ressourcenverbräuchen geeignet sind/ist.

Fehlende Daten können indes von Algorithmen künstlich generiert werden und liegen dann in Form sogenannter synthetischer Daten vor. Diese Form der Datensätze wird nicht durch eine Messung ermittelt, sondern beispielsweise auf Basis bereits erhobener Daten errechnet. Die Ermittlung synthetischer Daten kann dazu beitragen, insbesondere auch ältere Datensätze, die noch unter anderen Qualitätsstandards erhoben wurden, an die aktuellen Standards anzupassen, ohne die Werte, sofern überhaupt noch möglich, neu zu messen. Auf diese Weise steht zudem eine größere Datenbasis für die Auswertung zur Verfügung.

4.5 Integration von Datensätzen

Ist eine geeignete Datenbasis geschaffen und wurde diese überprüft, kann damit begonnen werden, die Datensätze in die Auswertesysteme zu integrieren bzw. das Auswertesystem selbst zu integrieren. Dabei gilt es zu unterscheiden, ob die Daten in bestehende Systeme integriert oder neue Systeme auf Basis einer bestehenden Datenbasis beschafft werden sollen.

4.5.1 Datenintegration neuer und vorhandener Datensätze

Um für die Datenintegration ein geeignetes Verfahren zu wählen, sollte zunächst betrachtet werden, ob für das Analyseziel bereits ein Auswertesystem vorhanden ist oder ein neues beschafft werden soll. Dieser Schritt legt im

Wesentlichen fest, mit welchen Restriktionen bei der Integration der Daten zu rechnen ist.

Die Datenintegration in ein bestehendes Auswertesystem ist oftmals durch die Bekanntheit und Einbindung des Systems, der Schnittstellen etc. in der technischen Umsetzung relativ einfach. Mit dem vorhandenen System werden auch technische Restriktionen festgelegt, die den Zielerreichungsgrad der Auswertung der Ressourcenverbräuche senken können. Hieraus kann sich im Extremfall eine Anpassung des Auswertesystems ergeben. Auch bei einem bestehenden Auswertesystem müssen nichtsdestotrotz Schnittstellen definiert, Daten gemappt, Datenextraktionen in der Häufigkeit festgelegt und sonstige weitere Anforderungen, z. B. im Bereich der Sicherheit, berücksichtigt werden.

Ähnlich verhält es sich bei der Neuanschaffung eines Auswertesystems. Hier kann bereits bei der Beschaffung eine Auswahl nach der Datenbasis und dem Analyseziel getroffen werden und auf diese Weise einen hohen Zielerreichungsgrad der Auswertung der Ressourcenverbräuche ermöglichen. Zudem wird die technische Integration der Daten erleichtert. Allerdings ergeben sich hier Schulungsaufwände für die Bedienung des Auswertesystems, zusätzliche Beschaffungskosten und Implementierungszeit.

4.5.2 Aspekte der Datenintegration

Unabhängig von dieser Aufteilung sind mit der Datenintegration zahlreiche Herausforderungen verbunden. Diese resultieren daraus, dass Daten häufig nicht an einem einzelnen zentralen Ort erfasst, verwaltet und gespeichert werden, sondern häufig in unterschiedlichen Systemen an unterschiedlichen Orten und oft unter Berücksichtigung unterschiedlicher technischer und rechtlicher Vorgaben erhoben und gespeichert werden.⁵⁹ Die Aufgabe der Datenintegration ist es daher, die aus den vorab definierten Datenquellen identifizierten und aufbereiteten Datensätze zu extrahieren, zu bündeln und den jeweiligen Auswertesystemen zur Verfügung zu stellen. Dabei sind jedoch einige Aspekte zu berücksichtigen.

⁵⁹ Vgl. Bleiholder, J. und Schmid, J. (2020), S. 123.

Integrationsrichtung: Bei der Integrationsrichtung geht es darum, ob Daten auf gleicher oder zwischen verschiedenen Datenebenen zusammengefasst werden sollen.⁶⁰ Im Zuge der digitalen Erfassung von Ressourcen-verbräuchen handelt es sich in der Regel um eine vertikale Integration der Daten, also um die Integration zwischen sich unterscheidenden Datenebenen. Es kann mitunter auch eine Mischform von horizontaler und vertikaler Datenintegration genutzt werden, um den Integrationsaufwand zu verringern. So können beispielsweise die Daten zunächst auf Shop-Floor-Ebene gebündelt werden, da hier häufig bereits ähnliche Datenformate vorliegen und somit eine Bündelung der Daten nur mit einem geringen Aufwand verbunden ist. Erst im Anschluss an die erfolgte Datenbündelung werden diese Daten dann auf eine höhere Datenebene übertragen, beispielsweise für die Auswertung der Daten.

Automationsgrad: Der Automationsgrad beschreibt, ob die Datenintegration maschinell oder mit Unterstützung menschlicher Aktivitäten erfolgt.⁶¹ Nach Möglichkeit ist hier immer eine automatisierte Integration der Daten anzustreben, da ansonsten der Integrationsaufwand aufgrund der Anzahl der Analysen überproportional ansteigt.

Integrationszeitpunkt: Der Integrationszeitpunkt gibt an, wann eine Datenintegration erfolgen soll.⁶² Der Zeitpunkt der Datenintegration hängt im Wesentlichen vom angestrebten Analyseziel und den Abhängigkeiten zwischen den beteiligten Systemen ab. Ist eine Echtzeitanalyse geplant, so ergeben sich mehrere Integrationszeitpunkte mit relativ wenigen Daten. Das ermöglicht eine schnelle Übertragung. Allerdings erzeugt diese Vorgehensweise durch die häufige Datenerfassung auch eine Vielzahl Datensätze.

Bei einer Intervallintegration wird ein Zeitpunkt definiert, bis zu dem Daten gesammelt und anschließend gebündelt integriert werden. Auf diese Weise werden deutlich weniger Datensätze benötigt, allerdings auch eine sofortige Reaktion auf die Datenergebnisse unmöglich. Es ist daher abzuwägen, in welchen Fällen eine Echtzeiterfassung ökonomisch und ökologisch sinnvoll

⁶⁰ Vgl. Kusturica, W. (2018).

⁶¹ Vgl. Kusturica, W. (2018).

⁶² Vgl. Kusturica, W. (2018).

ist und an welcher Stelle eine Intervallintegration ausreicht. Soll beispielsweise der Energieverbrauch einer Anlage während des Produzierens verbessert werden, so müssen die Ressourcenverbräuche zumindest annähernd in Echtzeit erfasst werden. Geht es darum, die grundsätzlichen Energieverbräuche einzelner Abteilungen zu analysieren, so kann eine tagesgenaue Erfassung bereits ausreichend sein.

Integrationsreichweite: Mithilfe der Integrationsreichweite soll im Wesentlichen bestimmt werden, aus welchen Unternehmensbereichen die jeweiligen Daten gebündelt und integriert werden sollen.⁶³ Das ist insbesondere dann von Bedeutung, wenn die Datenquellen an verschiedenen Orten gespeichert sind. Sollten Unternehmen beispielsweise Standorte im Ausland haben, so könnten bei der Datenübertragung darüber hinaus andere rechtliche Bedingungen vorliegen, die wiederum die Datenintegration beeinflussen. Das gilt auch, wenn Unternehmen in Wertschöpfungsnetzwerken aktiv sind und Daten zwischen Unternehmen aggregieren und integrieren wollen.

⁶³ Vgl. Kusturica, W. (2018).

5 DIGITALE ERFASSUNG VON STOFF- UND ENERGIESTRÖMEN

Nachdem ersichtlich geworden ist, welche Sensoren sich für welche Art von Energie oder Material eignen, kann mit der realen Erfassung der Stoff- und Energieströme begonnen werden. In welchen Bereichen eine digitale Erfassung der Stoff- und Energieströme Sinn ergibt, welche Herausforderungen damit einhergehen und wie andere Unternehmen diese gemeistert haben, wird im Folgenden näher erläutert.

5.1 Auswertungsmöglichkeiten für Stoff- und Energieströme

Bisher ging es im Wesentlichen um die digitale Erfassung von Ressourcenverbräuchen. Vor der Erfassung wurde ein dahingehendes Ziel definiert. Nun liegt es an den Unternehmen, ein für das Datenziel geeignetes Auswertungssystem auszuwählen, sofern nicht bereits ein System im Unternehmen existiert. Für eine erste Übersicht werden im Folgenden einige Standards vorgestellt. Damit ein realer Nutzen aus der Erhebung der Ressourcenverbräuche gezogen werden kann, müssen diese Daten analysiert und daraus Einsparmaßnahmen abgeleitet werden. Für die Auswertung der eigenen Ressourcenverbräuche ergeben sich diverse Möglichkeiten der Verwaltung und Darstellung:⁶⁴

Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001

Ein Energiemanagementsystem ist die „Gesamtheit miteinander zusammenhängender oder interagierender Elemente zur Einführung einer Energiepolitik und strategischer Energieziele, [sic!] sowie Prozesse und Verfahren zur Erreichung dieser strategischen Ziele“⁶⁵.

Hierbei geht es um die ganzheitliche Planung des Energieeinsatzes sowie die Kontrolle und Auswertung. Die ISO 50001 beschäftigt sich zwar ausschließlich mit einem möglichst effizienten Einsatz von Energie, die

⁶⁴ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 66 ff.

⁶⁵ ISO 50001:2018-12, S. 8.

grundsätzliche Vorgehensweise lässt sich auch zur Steigerung der Material-effizienz adaptieren (siehe Abbildung 6).

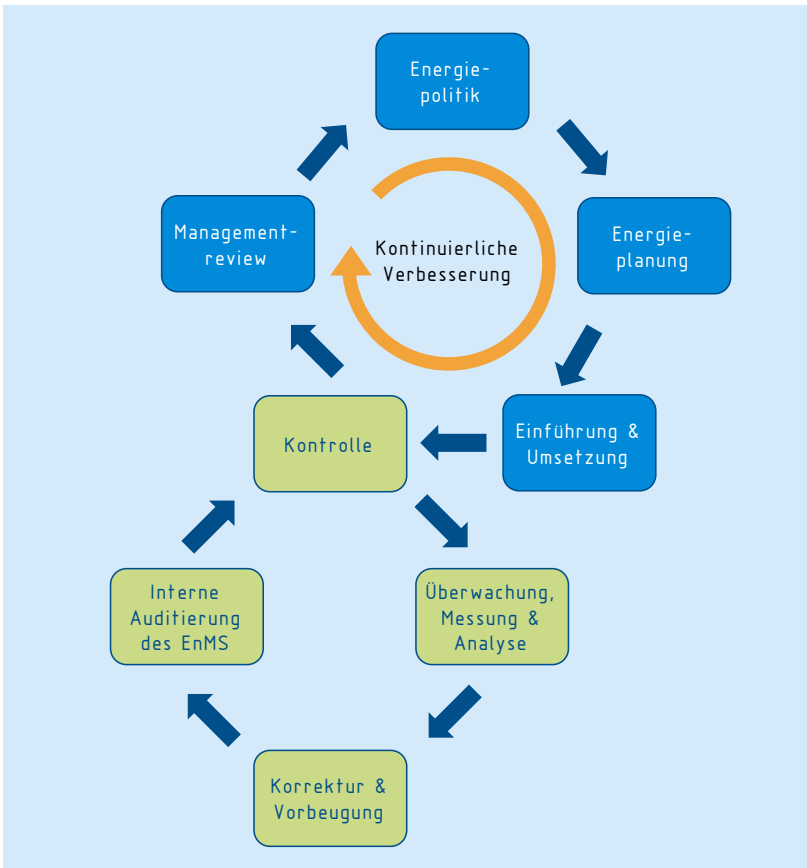


Abbildung 6: Modell eines Energiemanagementsystems⁶⁶

Umweltmanagement gemäß DIN EN ISO 14001:2015-11

Das Umweltmanagementsystem nach DIN EN ISO 14001:2015-11 ist ein ganzheitliches System zur Ermittlung, Kontrolle und Verbesserung der Ressourceneffizienz und Verringerung negativer Umwelteinflüsse durch die

⁶⁶ In Anlehnung an ISO 50001:2018-12, S. 6.

Aktivitäten von Unternehmen.⁶⁷ Es eignet sich für die Auswertung und Interpretation digital erfasster Ressourcenverbräuche. Die Ergebnisse können entweder direkt zur Ermittlung geeigneter Maßnahmen herangezogen oder zur Ausgestaltung verpflichtender Umweltziele eingesetzt werden.

EU-Gemeinschaftssystem für Umweltmanagement und Umweltbetriebsprüfung (EMAS)

Das EMAS-System kann als eine strengere Variante des Umweltmanagementsystems verstanden werden, da beim EMAS-System nicht nur die direkten Umwelteinflüsse, sondern auch indirekte Einflüsse berücksichtigt werden. Darüber hinaus wird die Umsetzung der Ziele durch externe Umweltbegutachterinnen und -gutachter überprüft und im EMAS-Register eingetragen.⁶⁸ Die wesentlichen Erweiterungen des EMAS-Systems sind in Abbildung 7 farblich hervorgehoben.

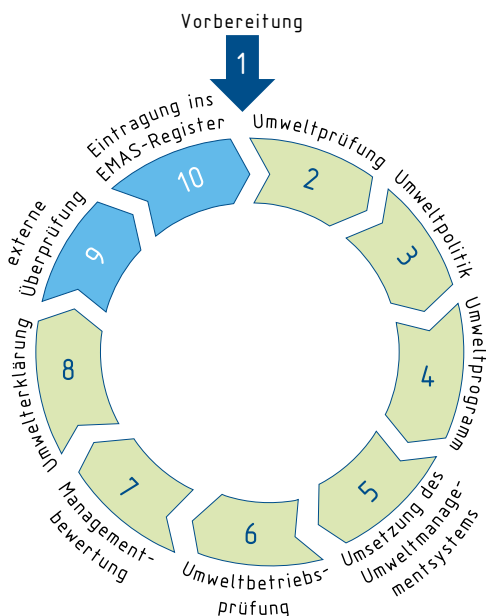


Abbildung 7: EMAS-Kreislauf zur Einführung eines Umweltmanagementsystems⁶⁹

⁶⁷ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 66.

⁶⁸ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 68.

⁶⁹ In Anlehnung an Scheuch-Schmid, K. (2018), S. 21.

Ökobilanz/Lebenszyklusanalyse gemäß DIN EN ISO 14040 und 14044

Die digital erfassten Ressourcenverbräuche können abseits einer Ermittlung von Maßnahmen zur Steigerung der Ressourceneffizienz auch als Datenbasis für eine Ökobilanz bzw. Lebenszyklusanalyse eingesetzt werden. Dies ist insbesondere für Unternehmen von Relevanz, die auch gegenüber ihren Kundinnen und Kunden die Umweltauswirkungen ihrer Produkte und Dienstleistungen nachweisen müssen.⁷⁰

ETSI-Norm TS 103 199 Environmental Engineering and Life Cycle Assessment of ICT equipment, networks and services

Oftmals werden Ökobilanzierungen sehr unterschiedlich durchgeführt. Die ETSI-Norm setzt einen Rahmen zur Vereinheitlichung von Ökobilanzierungen für den Telekommunikations- und IKT-Sektor. Der grundsätzliche Aufbau orientiert sich an der ISO 14040 Umweltmanagement – Ökobilanz – Grundsätze und Rahmenbedingungen. Die Norm bietet eine Anleitung zum Festlegen von Systemgrenzen, funktionalen Einheiten, Allokationsregeln und zur Bewertung der allgemeinen Datenqualität.⁷¹

Green House Gas (GHG) Protocol

Hierbei handelt es sich um einen Standard zur freiwilligen Berichterstattung hinsichtlich Treibhausgasemissionen (THG-Emissionen). Die Erfassung der Emissionen umfasst alle Treibhausgase des Kyoto-Protokolls. Beim GHG-Protokoll wird zwischen den Leitfäden „Corporate Standard“ und „Corporate Value Chain“ unterschieden. Bei ersterem geht es um eine Bilanzierung der THG-Emissionen nach Scope 1 und 2, während bei letzterem auch Emissionen gemäß Scope 3 berücksichtigt werden. Das ist insofern von Bedeutung, als immer mehr Unternehmen gegenüber Kundinnen und Kunden in der Pflicht stehen, die eigenen THG-Emissionen nachzuweisen.⁷²

⁷⁰ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 70.

⁷¹ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 71 f.

⁷² Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 74.

5.2 Maßnahmen zur Steigerung der Material- und Energieeffizienz

Je nach Art des Datenerfassungsziels und Auswertesystems können mögliche Einsparpotenziale identifiziert werden. Diese müssen allerdings nicht zwangsläufig eine Anpassung der Materialien- und Energieformen beinhalten. Vielmehr werden Material und Energie durch die Anpassung der Produkte, Prozesse oder sogar des Geschäftsmodells erreicht. Für einen möglichst effizienten Einsatz von Ressourcen ist es daher wichtig, die Einflussfaktoren auf den Material- und Energieverbrauch zu ermitteln und diese zu optimieren. Die Maßnahmen können zahlreiche Ausprägungen annehmen.

5.2.1 Chancen und Herausforderungen

Mit der digitalen Erfassung der Ressourcenverbräuche sind in der Regel nur bedingt direkte Risiken verbunden. Stattdessen ergeben sich die Chancen und Herausforderungen aus der Erhebung und Auswertung digital erfasster Ressourcenverbräuche sowie den daraus resultierenden Veränderungen.

5.2.1.1 Chancen und Motivationsfaktoren

Im ersten Schritt schafft die digitale Erfassung der Ressourcenverbräuche Transparenz. Auf diese Weise wird die Analyse der Verbräuche und - davon abgeleitet - Anpassungen im Bereich der Produkte, Prozesse und der verwendeten Anlagen sowie Infrastruktur möglich. Sie bildet damit die Basis für alle weiteren Maßnahmen und entscheidet so auch im Wesentlichen über die Qualität der späteren Analysen.

Die digitale Erfassung von Ressourcenverbräuchen besitzt zudem ein hohes Skalierungspotenzial, da die Daten nicht nur für die Analyse der Verbräuche genutzt werden können, sondern sich hieraus auch Rückschlüsse auf die Performance von Anlagen und Prozessen ableiten lassen. Hieraus ergeben sich wiederum Auswirkungen auf die Kosten- und Ressourceneffizienz.

Die digital erfassten Verbräuche können zudem als Grundlage für Umweltberichte und die Kommunikation gegenüber externen Stakeholderinnen und

Stakeholdern zur Unterstützung einer nachhaltigen Unternehmensführung eingesetzt werden.⁷³

Grundsätzlich schafft die digitale Erfassung von Ressourcenverbräuchen eine Grundlage, die dazu eingesetzt werden kann, die Verbräuche direkt oder indirekt, z. B. über Anpassungen der Anlagen und Prozesse, zu senken und damit die Wettbewerbsposition gegenüber Mitbewerberinnen und Mitbewerbern zu verbessern. Zudem kann die auf diese Weise verbesserte und nachhaltigere Position gegenüber Stakeholderinnen und Stakeholdern kommuniziert werden, um potenzielle neue Märkte und Zielgruppen zu erschließen.⁷⁴

5.2.1.2 Interne und externe Herausforderungen bei der digitalen Erfassung von Ressourcenverbräuchen

So angenehm sich die Vorteile einer digitalen Erfassung von Ressourcenverbräuchen auch gestalten, müssen sich Unternehmen auch im Klaren darüber sein, dass mit diesem Prozess auch Herausforderungen einhergehen. Diese können jedoch bereits in der Planung der Erhebung berücksichtigt werden, um sie adäquat zu meistern.

Interne Herausforderungen

Die Herausforderungen beginnen häufig nicht erst mit der Erfassung, sondern bereits im Zuge der Planung des Vorhabens. Zunächst müssen sich Unternehmen einen Überblick darüber verschaffen, ob die vorhandene Unternehmenskultur für einen solchen Wandel geeignet ist. Wie positionieren sich die Mitarbeitenden gegenüber Veränderungen, welche Ängste existieren in der Belegschaft bezüglich Digitalisierungsthemen? Es empfiehlt sich, die Mitarbeitenden bereits frühzeitig in das Vorhaben einzubinden, sie über den Prozess zu informieren und auch hervorzuheben, in welcher Weise die Maßnahmen das Fortbestehen des Unternehmens und somit ihrer Stellen sichern.⁷⁵

⁷³ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 33.

⁷⁴ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 31 ff.

⁷⁵ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 33.

Ein weiterer Aspekt beinhaltet das vorhandene Wissen und Kompetenzen, die ein Unternehmen zur digitalen Erfassung der Ressourcenverbräuche benötigt. Für eine erfolgreiche Datenerhebung sind Kenntnisse der Elektrotechnik, der Informatik, aber auch Wissen über Ressourceneffizienz notwendig. Um sich einen Überblick hierzu zu verschaffen, empfiehlt es sich daher, zu den anfallenden Aufgaben im Zuge der Erhebung entsprechende Kompetenzprofile zu erstellen und diese mit den Qualifikationen der Mitarbeitenden abzugleichen. Hieraus werden potenzielle Schulungsbedarfe ersichtlich. Trainings und Fortbildungen sollten nicht nur aus Sicht der Projekterfüllung betrachtet werden. Vielmehr können sie dazu beitragen, Ängste und Sorgen bei den Mitarbeitenden zu senken, und gleichzeitig ein Fundament für weitere Digitalisierungsmaßnahmen im Unternehmen bilden.⁷⁶

Mit der Erhebung der Daten, der dafür benötigten Sensorik und Informationstechnologie sowie der Schulung von Mitarbeitenden ist allerdings auch ein finanzieller wie personeller Aufwand verbunden. Insbesondere für die Datenerhebung sollte eher konservativ gerechnet werden, da sie in der Regel den höchsten Aufwand bei der digitalen Ermittlung der Ressourcenverbräuche einnimmt. Um den Umsetzungsaufwand – zumindest im Hinblick auf die finanziellen Ressourcen – zu senken, empfiehlt es sich zudem, das Gesamtvorhaben in Teilprojekte aufzubrechen und hierfür passende Förderprogramme zu nutzen.⁷⁷

Die größte Herausforderung für Unternehmen besteht wahrscheinlich darin, die benötigte Datenquantität und -qualität korrekt abzuschätzen. Oftmals werden in den Unternehmen bereits zahlreiche Daten erhoben. Das bedeutet jedoch nicht, dass diese Daten auch für eine Erfassung der Ressourcenverbräuche genutzt werden können. Es ist daher sinnvoll, bereits frühzeitig Expertinnen und Experten auf dem Gebiet des Data Minings mit in die Prozesse einzubeziehen. Hierfür können Beratungsunternehmen ebenso wie Forschungsinstitute, Hochschulen und Universitäten zur Unterstützung herangezogen werden.⁷⁸

⁷⁶ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 33 f.

⁷⁷ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 34 f.

⁷⁸ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 36.

Externe Herausforderungen

Nicht alle Herausforderungen liegen im eigenen Unternehmen. Insbesondere bei der digitalen Erfassung von Ressourcenverbräuchen ist es wichtig, sich möglicher externer Hemmnisse bewusst zu werden und diese bereits im Planungsprozess mit zu berücksichtigen.

Von zentraler Bedeutung für die digitale Erfassung ist die unternehmenseigene IT-Infrastruktur. Für Unternehmen gilt es daher zu erfassen, welche IT-Infrastruktur zur Verfügung steht. Sollte beispielsweise das Unternehmen in einem Gebiet angesiedelt sein, in dem die Internetverbindung nur schwach ausgeprägt ist, so empfiehlt es sich, beim Datentransport eher auf Kabelleitungen zu setzen, um die IT-Infrastruktur nicht stärker als notwendig zu belasten.⁷⁹

Neben der technischen Ausstattung des Unternehmensumfelds sind zudem regulatorische Hemmnisse, z. B. in Form von Datenschutz und Datensicherheit, zu beachten. So sollte u. a. berücksichtigt werden, dass keine Rückschlüsse auf die Mitarbeitenden gezogen werden können, die mit dem Material arbeiten. Auch in Bezug auf die Datensicherheit ist zum einen darauf zu achten, welche und wie viele Schnittstellen durch die Digitalisierungsvorhaben im Unternehmen entstehen und zum anderen, ob und in welcher Weise diese von Unbefugten (von außen) ausgenutzt werden könnten, um sich Unternehmensdaten anzueignen.⁸⁰ Dieser Aspekt gewinnt noch zusätzlich an Relevanz, sobald Daten mit anderen Wertschöpfungspartnern geteilt werden sollen.

5.2.2 Praxisbeispiele

Wie aufgezeigt, können digital erfasste Ressourcenverbräuche für vielfältige Zielsetzungen verwendet werden. Dabei darf die Erfassung selbst jedoch nie dem bloßen Selbstzweck dienen. Vielmehr sollten die Datenerhebung und die daraus resultierenden Maßnahmen auch ökonomisch erstrebenswert für Unternehmen sein. Zu diesem Zweck werden im Folgenden einige Umsetzungsbeispiele von Unternehmen beschrieben, die ihre Ressourcenver-

⁷⁹ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 36.

⁸⁰ Vgl. Scherf, C.-S. et al. (2021), S. 36 f.

bräuche digital erfasst und daraus sowohl ökologisch als auch ökonomisch vorteilhafte Maßnahmen abgeleitet haben.

5.2.2.1 Erkennen von Werkzeugverschleiß durch Körperschallsensoren

Das bayerische Familienunternehmen Hufschmied Zerspanungssysteme GmbH entwickelt und fertigt prozessoptimierende Zerspanungswerkzeuge. Das Unternehmen realisierte durch die Kombination aus Schallsensoren, künstlicher Intelligenz (KI) und einer digitalen Datenauswertung ein neues System zur prozessbegleitenden Qualitätskontrolle.⁸¹

Der Verschleiß von Zerspanungswerkzeugen ist unvermeidbar. Den Klang eines beginnenden Werkzeugverschleißes zu erkennen, ist dennoch nicht einfach und bedarf einiger Erfahrung der Bedienenden. Diese erfahrenen Fachkräfte sind jedoch nur selten rund um die Uhr an der Maschine. Auch der Aspekt der wachsenden Automatisierung von Zerspanungsprozessen macht ein frühzeitiges Erkennen des Werkzeugverschleißes zunehmend schwierig. Dies führt dazu, dass Werkzeuge häufig nach einer bestimmten Einsatzdauer bzw. einem festgelegten Verschleiß ausgetauscht werden. Eine datenbasierte Überprüfung der verbleibenden Laufzeit der Werkzeuge wird allgemein nicht vorgenommen. Die festgelegte Verschleißzeit wird allerdings von vielen Faktoren beeinflusst und ist daher mit einer relativ hohen Sicherheitsreserve (oftmals 20 %) festgelegt.⁸²

Um den beginnenden Werkzeugverschleiß automatisiert identifizieren zu können, nutzt das von der Firma entwickelte System Körperschallsensoren und eine lernfähige KI. Diese erkennt Anomalien in den Produktionsprozessen, identifiziert Inhomogenitäten im Material – wie z. B. Lunker in Gussstücken – und „hört“ den beginnenden Werkzeugverschleiß sowie Schneidbruch. Dafür wird während des Spanungsprozesses der emittierte Klang des Werkzeugs aufgezeichnet, mit einem Sollwert verglichen und in einer Datenbank gespeichert. Aus der Abweichung zum Sollwert kann anhand der KI der Grad des Werkzeugverschleißes ermittelt werden. Der Verschleiß wird den Maschinenbedienenden über ein HMI (Human-Machine-Interface)

⁸¹ Vgl. VDI Verlag GmbH (2022).

⁸² Vgl. VDI Verlag GmbH (2022).

visualisiert, sodass bei einer entsprechenden Abweichung reagiert und das Werkzeug ausgetauscht werden kann.⁸³

Dadurch, dass die Kontrolle der Restlaufzeit während der Fertigung der Bauteile stattfinden kann, hat die Kontrolle keine negativen zeitlichen Auswirkungen auf den Produktionsprozess, kann aber im Gegenzug ungewollte Stillstände durch Werkzeugbrüche verhindern. Zudem wird die verfügbare Werkzeuglaufzeit durch eine effizientere Ausnutzung der Standzeit erhöht. So konnten die Standzeiten der Werkzeuge laut Unternehmen durch diese Maßnahme um etwa 40 % gesteigert werden.⁸⁴

Während des Prozesses hat sich zudem gezeigt, dass die akustische Überwachung des Werkzeugs auch Rückschlüsse auf den Zustand der Maschine ermöglicht und so die vorausschauende Wartung unterstützen kann.^{85 86}

5.2.2.2 Energiereduktion von Druckluftsystemen durch Datenanalyse

Das in Coburg ansässige Unternehmen Kaeser stellt Druckluftsysteme her und bietet für ebendiese Systeme auch Dienstleistungen an. Die von der Firma produzierten Druckluftkompressoren werden in unterschiedlichen Größen und Preisklassen angeboten. Die meisten Kompressoren werden durch die Kundinnen und Kunden konventionell käuflich erworben und sind lange im Einsatz. Der Produktpreis und die Qualität stehen bei der Kaufentscheidung meist im Vordergrund, das geeignetste und energieeffizienteste Produkt wird oft vernachlässigt. Hierbei handelt es sich allerdings um einen relevanten Faktor, denn Druckluft verursacht ungefähr 11 % des industriellen Stromverbrauchs.⁸⁷

Um Flexibilität hinsichtlich der Verwendung eines passenden Kompressors für den aktuellen Druckluftverbrauch und Energiesparpotenziale durch neue Produkte zu schaffen, hat sich die Firma Kaeser für das neue Betreibermodell „SIGMA AIR UTILITY“ entschieden. Kaeser betreibt ein Performance-Based-

⁸³ Vgl. VDI Verlag GmbH (2022).

⁸⁴ Vgl. VDI Verlag GmbH (2022).

⁸⁵ Vgl. Hufschmied, R. (2021).

⁸⁶ Vgl. VDI Verlag GmbH (2022).

⁸⁷ Vgl. Schmid C. et al. (2003), S. 6.

Contracting. Das bedeutet, dass die Kundinnen und Kunden Anlagen nicht mehr direkt kauft, sondern nur noch die durch die Anlage erbrachte Leistung. Im Fall von Kaeser kaufen Unternehmen somit lediglich die Druckluft als Kubikmeterware direkt. Die Anlagen werden von Kaeser zur Verfügung gestellt und gewartet. Damit die Systeme auch dezentral überprüft werden können und um „Druckluft as a Service“ unter möglichst günstigen Verhältnissen bereitzustellen, werden insbesondere generierte Daten genutzt. Die von dem Druckluftsystem und den dort verwendeten Sensoren generierten Daten werden dafür an ein Verbundsteuergerät übertragen und anschließend zu Kaeser übermittelt.⁸⁸

Die erhobenen Daten werden in Echtzeit analysiert und die Ergebnisse zur optimalen Steuerung der Kompressoren genutzt, um so die Energieeffizienz zu steigern. Die Steuerung wird durch die Anzahl der Kundinnen und Kunden, die die Kompressoren einsetzen, zunehmend effizienter, da die gesammelten Daten herangezogen werden, um mittels Machine Learning die verwendeten Algorithmen zu trainieren. Dieser Schritt lässt wiederum eine genauere Mustererkennung zu, die dann Rückschlüsse zwischen der Anlagensteuerung und der Nutzung ermöglicht. Hieraus ergeben sich sowohl für Kaeser, die die Anlagen möglichst lange betreiben wollen und auf diese Weise Wartungseinsätze reduzieren können, als auch für die Kundinnen und Kunden, die Druckluft einsparen, Vorteile. Die hier von Kaeser eingesetzten Sensoren überwachen nicht nur den Druckluftverbrauch, sondern sind zudem als kritische Bauteile installiert, um Maschinenausfälle zu verhindern. Insgesamt konnten durch die digitale Überwachung der Druckluftsysteme ca. 30 % der Betreiberkosten eingespart werden.^{89 90 91}

5.2.2.3 Energiedatenmanagement in der Schokoladenindustrie

Die in Glonn bei München ansässige Hans Brunner GmbH ist ein Hersteller von Schokoladenformen für beispielsweise Schokoladenosterhasen. Das Unternehmen ist im Bereich der Ressourceneffizienz vielseitig engagiert. So werden Produkte rückgeführt, die Bauteile wiederverwendet und

⁸⁸ Vgl. Oswald G. und Krcmar H. (2018), S. 99 ff.

⁸⁹ Vgl. KAESER KOMPRESSOREN SE (2022).

⁹⁰ Vgl. Oswald G. und Krcmar H. (2018), S. 99 ff.

⁹¹ Vgl. Schmid C. et al. (2003).

Materialien recycelt. Dadurch konnten 2018 rund 270.000 Magnete aus gebrauchten Formen wiederverwendet werden. Darüber hinaus wurden rund 11.000 kg Kunststoffe recycelt. Durch Energieeffizienzmaßnahmen kann das Unternehmen jährlich 30.000 l Heizöl sowie 100.000 kWh Strom einsparen. Insbesondere die Nutzung von Prozessabwärme und die Überschuss-Ableitung in ein Fernwärmenetz ermöglichen einen ausgeglichenen Energiehaushalt. Bei der Energieversorgung setzt das Unternehmen zudem auf eine eigene Photovoltaikanlage.^{92 93 94}

Das Unternehmen möchte diese Entwicklungen weiter vorantreiben und vor allem eine höhere Energieeffizienz erreichen. Die manuelle Verbrauchserfassung an allen Anlagen ist allerdings sehr zeitintensiv und insbesondere für KMU nur schwierig zu bewerkstelligen. Daher hat das Unternehmen zusammen mit einem Dienstleister eine Möglichkeit der digitalen Erfassung entwickelt.^{95 96 97}

Für die Entwicklung hat sich das Unternehmen an offenen Standards orientiert und zusammen mit dem Kompetenzzentrum eStandards an einer Open-Source-Lösung gearbeitet. So werden beispielsweise die Lastgangdaten für den Standard COSEM übermittelt. Die so in der Cloud erfassten Energiedaten lassen sich anschließend vom Unternehmen analysieren. Auf dieser Basis können Korrekturen und Verbesserungsmaßnahmen entwickelt werden. Mithilfe der abrechnungsrelevanten Echtzeitdaten zum Energieverbrauch, die das Unternehmen zeitnah erhält, können energieintensive Verbraucher zum optimalen Zeitpunkt eingesetzt werden. Eine firmeninterne Energieampel visualisiert diesen Schritt.^{98 99 100}

⁹² Vgl. Wolff, T. (2018).

⁹³ Vgl. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum (2019a).

⁹⁴ Vgl. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum (2019b).

⁹⁵ Vgl. Wolff, T. (2018).

⁹⁶ Vgl. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum (2019a).

⁹⁷ Vgl. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum (2019b).

⁹⁸ Vgl. Wolff, T. (2018).

⁹⁹ Vgl. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum (2019a).

¹⁰⁰ Vgl. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum (2019b).

5.2.2.4 Ganzheitliches Produktionssteuerungsmodell zur Material- und Energieeinsparung

Die Rieber GmbH & Co. KG mit Sitz in Reutlingen ist ein Hersteller von Küchentechnik und fertigt unter anderem Gastronormbehälter, Großküchenkomponenten, Flugzeugwasser- und -abwassertanks. Im Fokus der Wertschöpfungskette des Unternehmens liegen die Fertigungsschritte Tiefziehen, Glühen und Schweißen. Mit einem Anteil von 50 % sind die Materialkosten im Unternehmen der größte Kostentreiber. Trotz dieser Erkenntnis gingen bisher ca. 35 % des eingesetzten Materials durch Verschnitt oder Ausschuss verloren.¹⁰¹

Aber auch Energieverluste spielen eine wichtige Rolle. Die Möglichkeit, den Energieverbrauch konkreten Produkten und Prozessen zuzuordnen, ist insbesondere vor dem Hintergrund der Identifikation von Energieeffizienzpotenzialen für das Unternehmen sehr wichtig. Um den Materialeinsatz zu reduzieren, sollen bisher ungenutzte Einsparpotenziale aufgedeckt werden. Dazu werden die Materialströme und Informationsflüsse visualisiert. Um die Potenziale auch quantifizieren zu können, wurden zudem Mess- und Steuerungsgrößen installiert. Dieser Schritt ist insofern wichtig, als es im Unternehmen Rieger aufgrund der hohen Produktvielfalt und großen Stückzahlunterschiede zu Zielkonflikten kommen kann, die sich negativ auf die Optimierungsvorhaben auswirken können. Auf diese Weise ist es unter Umständen möglich, dass Einsparungen in einem Prozess zu Verlusten in anderen Prozessen führen. Das Ziel ist daher die ganzheitliche Verbesserung der Wertschöpfungskette.¹⁰²

Durch ein automatisiertes Datenerfassungssystem wurden für die Zielerreichung die verschiedenen Material- und Energieflüsse in einem Materialflussmodell aufgenommen. Das produktionsdatenbasierte Materialflussmodell basiert auf Excel und wird mit Daten aus dem SAP-System errechnet. Für die anschließende Visualisierung der Ströme wurde die Software *elsankey* eingesetzt. Die Softwarewahl ermöglicht auch die Abbildung komplexer Wirkzusammenhänge zwischen einzelnen Bereichen des Unternehmens. Mithilfe des Systems können nun die realen Ursachen für Verschwendungen

¹⁰¹ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 146.

¹⁰² Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 146 ff.

identifiziert und zielgerichtete Gegenmaßnahmen entwickelt werden. So konnte beispielsweise der Verschnittanteil im Stanzprozess um 10 % gesenkt werden, indem die Bauteile neu verschachtelt wurden. Diese Maßnahme entspricht einer absoluten Materialeinsparung von etwa 33 t Edelstahl pro Jahr. Zudem konnten aufgrund der aktiven Nutzung der Abwärmepotenziale, die durch die digitale Erfassung der Ressourcenverbräuche ermöglicht wurde, 600 MWh Energie pro Jahr eingespart werden.¹⁰³

5.2.2.5 Automatische Prozessabschaltung

Das in Baden-Württemberg ansässige Unternehmen Scheuermann + Heilig bietet Produkte und Dienstleistungen im Bereich der Umform- und Montagetechnologie an und fertigt Kunststoffbauteile.¹⁰⁴

Die Reduzierung des Energieverbrauchs ist ein Hauptziel des Unternehmens und sichert dem Unternehmen neben den ökologischen Vorzügen auch Wettbewerbsvorteile. Zu diesem Zweck hat das Unternehmen ein Energiemanagementsystem nach ISO 50001 eingeführt und zertifiziert. Im Zuge dessen wurden ebenfalls die Energieströme digital erfasst. Durch diese Erfassung zeigte sich, dass der Stromverbrauch der Anlagen einen geeigneten Indikator für die Identifikation von Verbesserungspotenzialen darstellt. Das Unternehmen hatte bereits damit begonnen, die Mitarbeitenden auf das Abschalten nicht genutzter Anlagen hinzuweisen. Allerdings wurde dies nur partiell umgesetzt. Ein unnötig hoher Energiebedarf während des Stand-by-Betriebs war die Folge.¹⁰⁵

Um diesem Problem zu begegnen, implementierte das Unternehmen eine automatisierte Abschaltvorrichtung. Innerhalb von acht Wochen wurden 45 Pressen mit Zeit- bzw. Logikrelais ausgerüstet. Die Umrüstung konnte durch zugekaufte Standardbauteile in wenigen Stunden an den Maschinen durchgeführt werden.¹⁰⁶

Aufgrund der bedarfsgerechten Anlagenversorgung mit Energie konnten im Jahr ca. 300.000 kWh Strom und umgerechnet ca. 180.000 kg an CO₂-Emis-

¹⁰³ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 146 ff.

¹⁰⁴ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 158 ff.

¹⁰⁵ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 158 ff.

¹⁰⁶ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 158 ff.

sionen eingespart werden. Die monetären Einsparungen durch den vermiedenen Energiemehrverbrauch belaufen sich auf über 50.000 Euro pro Jahr. Das entspricht einer Amortisationszeit von etwa drei Monaten.¹⁰⁷

5.2.2.6 Effiziente Steuerung von Spülbäder-Kaskaden

John Deere ist ein weltweit agierender Konzern. An sechs deutschen Standorten produziert das Unternehmen Landtechnik wie Traktoren, Mähdrescher und Feldhecksler. In Bruchsal werden dafür Fahrerinnen hergestellt.

Die Produktionsprozesse zur Herstellung von Fahrerinnen wurden systematisch analysiert, um Prozessbereiche zu finden, die einen hohen Ressourcenverbrauch aufweisen. Im Lackierprozess trat im Zuge dessen ein hoher Wasserverbrauch zutage.

Vor dem eigentlichen Lackierprozess sind mehrere Vorbehandlungsschritte wie Entfetten, Beizen und Zinkphosphatieren notwendig. Zwischen den Vorbehandlungsschritten müssen die behandelten Teile in einem wässrigen Spülbad gesäubert werden, um eine Verunreinigung im nachfolgenden Prozessschritt zu vermeiden. Zur Aufrechterhaltung der Reinigungsleistung der Spülbäder, muss die Konzentration der Schmutzstoffe reduziert werden. Diese Reduktion erfolgt durch Zugabe von Frischwasser. Allerdings wird die Konzentration der Schmutzstoffe in den Spülbädern nicht messtechnisch erfasst. Daher wird das Frischwasser nicht bedarfsgerecht hinzugefügt, sondern findet konstant in regelmäßigen Abständen statt. Ermittelt wurde die Frischwasserzugabe auf Basis der maximalen Anlagenauslastung. Als Folge war der Wasserverbrauch viel höher, als er für einen effizienten Anlagenbetrieb hätte sein müssen.

Um den Wasserverbrauch in der mehrstufigen Vorbehandlung des Lackierprozesses deutlich zu reduzieren, wurde entschieden, den Verschmutzungsgrad in den Spülbädern messtechnisch mittels Leitwertsonde zu erfassen und bei Erreichen der Grenzkonzentration von Schmutzpartikeln die optimale Frischwassermenge gezielt und in Echtzeit hinzuzuregeln. Die Konzeption des Mess- und Regelungssystems erfolgte durch ein interdisziplinäres Projektteam bestehend aus Ingenieurinnen und Ingenieuren aus den

¹⁰⁷ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 158 ff.

Bereichen Beschichtungs-, Chemie- und Regelungstechnik. Durch diverse Versuche war es möglich, von einem gemessenen Leitwert auf den Verschmutzungsgrad zu schließen. Neben dem installierten Mess- und Regelungssystem wurde durch die Installation geeigneter Filter am Ende einer jeden Vorbehandlungsstufe der Wasserverbrauch zusätzlich reduziert, da der Partikeleintrag ins Spülbad verringert wurde.

Durch die bedarfsgerechte Dosierung von Frischwasser aufgrund des Einsatzes von Mess- und Regelungstechnik konnte der Wasserverbrauch insgesamt um 30 % reduziert werden. In der Folge ist zudem die anfallende Abwassermenge um ca. 30 % gesunken, weshalb sich auch der Energieaufwand und die damit verbundenen Kosten für die Abwasseraufbereitung (Vakuumdestillationsanlage) deutlich verringert haben. Die Amortisation der Investitionskosten erfolgte somit bereits innerhalb des ersten Betriebsjahres.¹⁰⁸

5.2.2.7 Effizienzsteigerung durch Nutzung von Industrie-4.0-Instrumenten

Die Blechwarenfabrik Limburg GmbH ist ein Verpackungshersteller für chemisch-technische Füllgüter. Das Unternehmen verarbeitet jährlich über 25.000 t Weißblech zu Millionen von Eimern, Flaschen, Kanistern und Dosen.¹⁰⁹

Durch den Umzug des Fertigungsstandortes wurde ebenfalls eine digitale Optimierung der Fertigung und Logistikanlagen forciert. Dabei stand insbesondere das automatisierte Prozessmanagement im Vordergrund. Ziel war es, die Instrumente einer digitalen Fabrik in einer neuen Anlage zusammenzuführen und hierdurch einen Beitrag zur Ressourcenschonung zu leisten.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden die Maschinen des ehemaligen Fertigungsstandortes mit moderner Sensorik und Videotechnologie ausgerüstet. Darüber hinaus wurde eine digitale Produktionssteuerung (Production Planning System; PPS) implementiert. Das PPS steuert den bedarfsgerechten Materialfluss in der Werkshalle mithilfe eines fahrerlosen Transportsystems.

¹⁰⁸ Vgl. Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C. (2017), S. 218–221.

¹⁰⁹ Vgl. Menn, P. (2021).

Alle benötigten Materialien und Betriebsmittel können somit bedarfsgerecht vom Lager an die Fertigungsanlagen befördert werden. Dabei nutzt das softwaregestützte PPS ein digital hinterlegtes Modell des Fertigungsprozesses, das in Echtzeit mit Daten aus dem Lager und der Fertigung versorgt wird. Darüber hinaus ist das PPS mit einem ERP-System verknüpft. Auf diese Weise lassen sich durch das ERP-System Fertigungsprozesse und Bedarfe planen. Weiterhin ist das System mit einem Energiemanagementsystem verbunden, das die Energieflüsse (Gas, Strom und Druckluft) des Produktionsstandorts digital in Echtzeit überwacht und steuert.

Nach Einschätzung des Unternehmens hat die digitale Vernetzung sämtlicher Prozesse eine deutliche Effizienzsteigerung der Produktionsanlage zur Folge, wodurch sich im Weiteren auch die Material- und Energieeffizienz verbessert hat.

Mithilfe der digitalen Vernetzung konnten eine energieeffizientere Anlagenutzung umgesetzt und die übergreifende Material- und Energieeffizienz verbessert werden. Durch die Automatisierung des innerbetrieblichen Materialtransports konnten beispielsweise Transportschäden reduziert und somit der Verlust von jährlich bis zu 100 t Weißblech vermieden werden. Aufgrund der effizienteren digitalen Anlagensteuerung und Auslastungsplanung mithilfe des ERP und PPS lässt sich zudem die Auslastung der Fertigungsmaschinen erhöhen und dadurch auch eine bessere Energieeffizienz erreichen. Dank des digitalen Energiemanagementsystems können zudem Ineffizienzen und Leckagen schnell erkannt und behoben werden. Insgesamt sollen so ca. 2.600 t THG (CO₂-Äquivalent) pro Jahr eingespart werden.^{110 111}

5.2.2.8 Data Mining für KMU

Die GEFASOFT Automatisierung und Software GmbH entwickelt, fertigt und vertreibt Automatisierungssysteme für die Industrie. In dem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Forschungsprojekt SIDAP übernahm das Unternehmen eine Untersuchung und Vorbereitung des Transfers von Smart-Data-Konzepten in die Fertigungstechnik.

¹¹⁰ Vgl. Scherf, C.-S. e. a. (2021).

¹¹¹ Vgl. Menn, P. (2021).

Im Rahmen des Projekts sollte das existierende Produkt von GEFASOFT „Legato Sapient“ (ein Manufacturing-Execution-System) um mehrere Funktionen erweitert werden. Darunter fallen beispielsweise die Betriebs- und Maschinendatenerfassung sowie die Ermittlung von Key-Performance-Indikatoren. KMU soll mithilfe der Software ein einfacher und kostengünstiger Zugang zu Data-Mining-Methoden zur Verfügung gestellt werden.

Das vom Unternehmen entwickelte System ermöglicht die Prozessdatenerfassung, Auswertung, Aufbereitung und die Visualisierung sowie Analyse der Ergebnisse. Durch den Zugriff auf eine Datenbank mittels SQL-Abfrage als Schnittstelle wird der Austausch für das Data Mining vereinfacht. Aufgrund der Verwendung von Open-Source-Programmiersprachen wie R und WEKA ist die Einbindung komplexer Berechnungsalgorithmen auch für KMU kostengünstig möglich. Alle Ergebnisse können einfach auf einer webbasierten Oberfläche dargestellt werden. Das Dashboard dafür ist individuell konfigurierbar und bietet somit einen optimalen Überblick.

Durch das Projekt konnte eine Software geschaffen werden, die es KMU ermöglicht, unkompliziert Data Mining zu betreiben und die Ergebnisse einfach und mit geringem Aufwand darzustellen. Generell basiert das System auf einer Open-Source-Umgebung und verursacht keinerlei Lizenzkosten.¹¹²

¹¹² Vgl. Schütz, D. (2018).

6 FAZIT

Die digitale Erfassung von Ressourcenverbräuchen bietet Unternehmen zahlreiche Möglichkeiten, den eigenen Ressourceneinsatz zu kontrollieren und nachhaltig zu senken. Wichtig ist dabei, dass Unternehmen den gesamten Prozess – von der Messung bis zur Auswertung – analysieren, um mögliche Herausforderungen (beispielsweise in Bezug auf die Datenqualität und Übertragungsmöglichkeiten) bereits in der Planung zu berücksichtigen und gegebenenfalls auszuräumen. Auf diese Weise kann die digitale Erfassung der Ressourcenverbräuche Ausgangspunkt für Verbesserungen im eigenen Unternehmen oder auch entlang der Wertschöpfungskette sein und wesentlich zur Einsparung von Ressourcen, zum Klimaschutz und zur Verbesserung der eigenen Wettbewerbsposition beitragen.

Insbesondere der Wert von Daten ist für viele Unternehmen in der Bemessung der Ressourceneinsparpotenziale nicht immer ersichtlich. Die Auswertung und Nutzung von gezielt erzeugten oder bereits vorliegenden Datensätzen in Bezug auf die Ableitung von Ressourceneffizienzmaßnahmen ist daher insbesondere für kleinere und mittlere Unternehmen in den nächsten Jahren ein zentrales Entwicklungsfeld. Unternehmen sollten sich eine Übersicht über bereits existierende Ressourcendaten verschaffen, diese nutzen und bei Bedarf die Datenbasis anpassen sowie erweitern. Um diesen Zustand zu erreichen, existieren zum Beispiel Methoden des Data Minings, die eine systematische Erfassung, Aufbereitung und Speicherung der ressourcenverbrauchsrelevanten Daten unterstützen. Diese Methoden können auch dazu genutzt werden, Lücken in der bisherigen Datenerfassung aufzudecken, die mithilfe von entsprechender Sensorik und Messungen geschlossen werden können.

Damit die aufgezeigten Ressourceneinsparpotenziale auch erschlossen werden können, muss allerdings ein Umfeld geschaffen werden, das es Unternehmen ermöglicht, diese Vorhaben umzusetzen. Dazu gehören zum einen der Ausbau und die Verfügbarkeit des Breitbandinternets und 5G. Zum anderen muss die Gesetzgebung die Rechtssicherheit im Bereich der Datenverarbeitung und -nutzung weiter forcieren. Außerdem wird auch die digitale (Weiter-)Bildung der potenziellen Arbeitnehmenden zukünftig ein wichtiges und gemeinsames Entwicklungsfeld für Regierung und Unternehmen sein.

Auf diese Weise kann eine ressourcenorientierte Digitalisierung letztlich nicht nur dazu beitragen, die Klimaziele zu erreichen, sondern auch die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen und somit der Wirtschafts- und Industriestandort Deutschland nachhaltig gestärkt werden.

LITERATURVERZEICHNIS

Arns, M.-A. und Heupel, T. (2019): Effizientes Energiecontrolling in Zeiten von Industrie 4.0. In: Kümpel, T.; Heupel, T. und Schlenkrich, K., Hg. Controlling & Innovation 2019, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, S. 57-81.

Bleiholder, J. und Schmid, J. (2020): Datenintegration und Deduplizierung. In: Mielke, M., (Hg.) „Daten- und Informationsqualität. Die Grundlagen der Digitalisierung“, S. 123-142.

Bock, K.; Dittrich, P.-G.; Etrich, K.; Graf, V.; Großer, V.; Fröhlich, T.; Hänschke, F.; Hartmann, H.-D.; Hoffmann, D.; Hoffmann, K.-P.; Ortlepp, T.; Schmidt, F.; Schütze, A.; Simmons, T.; Sinn, W.; Slatter, R.; Töpfer, H.; Tschulena, G.; Werthschützky, R.; Wilde, J. und Zieger, G. (2018): Sensor Technologien. AMA Verband für Sensorik und Messtechnik e. V., Berlin.

Chapman, P.; Clinton, J.; Kerber, R.; Khabaza, T.; Reinartz, T.; Shearer, C. und Wirth, R. (2000): CRISP-DM 1.0: Step-by-step data mining guide [abgerufen am: 09.08.2022], verfügbar unter: <https://www.semanticscholar.org/paper/CRISP-DM-1.0%3A-Step-by-step-data-mining-guide-Chapman-Clinton/54bad20bbc7938991bf34f86dde0babfd2d5a72>

Deutscher Industrie- und Handelskammertag e. V. (2021): Digitalisierung mit Herausforderungen - Die IHK-Umfrage zur Digitalisierung. Deutscher Industrie- und Handelskammertag [abgerufen am: 09.08.2022], verfügbar unter: <https://www.dihk.de/resource/blob/35410/e090fd44f3ced7d374ac3e17ae2599/ihk-digitalisierungsumfrage-2021-data.pdf>

DIN 1319-2:2005-10: Deutsches Institut für Normung e. V, Grundlagen der Messtechnik - Teil 2: Begriffe für Messmittel, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Öko-Institut e. V. (2022): Nachhaltigkeit und Digitalisierung zusammendenken, 09.08.2022 [abgerufen am: 09.08.2022], verfügbar unter: <https://www.oeko.de/aktuelles/2022/nachhaltigkeit-und-digitalisierung-zusammendenken>

Fayyad, U.; Piatetsky-Shapiro, G. und Smyth, P. (1996): From Data Mining to Knowledge Discovery in Databases. In: AI Magazine, 17 (3), S. 37.

Fleischer, J.; Klee, B.; Spohrer, A. und Merz, S. (2018): Leitfaden Sensorik für Industrie 4.0 - Wege zu kostengünstigen Sensorsystemen. VDMA Forum Industrie 4.0; Karlsruher Institut für Technologie (KIT) - wbk Institut für Produktionstechnik.

Grasreiner, S. (2022): WPAN (Wireless Personal Area Network), 04.02.2022 [abgerufen am: 12.09.2022], verfügbar unter: <https://de.ccm.net/contents/203-wpan-wireless-personal-area-network>

Haakman, M.; Cruz, L.; Huijgens, H. und van Deursen, A. (2021): AI lifecycle models need to be revised. In: Empirical Software Engineering, 26 (5).

Helbig, W. (2021): Grundbegriffe in der Messtechnik. In: Helbig, W., Hg. Praxiswissen in der Messtechnik: Arbeitsbuch für Techniker, Ingenieure und Studenten, Springer Vieweg, Wiesbaden, S. 1-23.

Hildebrand, K.; Gebauer, M. und Mielke, M. (2021): Daten- und Informationsqualität - Die Grundlage der Digitalisierung. 5th ed., Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.

Hirzel, S.; Sontag, B. und Rohde, C. (2011): Betriebliches Energiemanagement in der industriellen Produktion. Fraunhofer-Institut für Systemforschung- und Innovationsforschung ISI, Karlsruhe [abgerufen am: 12.07.2022], verfügbar unter: https://www.isi.fraunhofer.de/content/dam/isi/dokumente/cce/2011/Kurzstudie_Energiemanagement.pdf

Hottinger Brüel & Kjaer GmbH (o.J.): Schnittstellen und Bussysteme [online] - Die richtige Kommunikation im industriellen Bereich [abgerufen am: 12.07.2022], verfügbar unter: <https://www.hbm.com/de/3237/schnittstellen-und-bussysteme-die-richtige-kommunikation-im-industriellen-bereich/>

Hufschmied, R. (2021): So klingt optimale Zerspanung. Hufschmied Zerspanungssysteme GmbH, Bobingen [abgerufen am: 28.07.2022], verfügbar unter: https://www.hufschmied.net/wp-content/uploads/0289_001.pdf

ISO 50001:2018-12: Deutsches Institut für Normung e. V, DIN EN ISO 50001:2018-12, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

KAESER KOMPRESSOREN SE (2022): Betreibermodell: SIGMA AIR UTILITY „Einfach da“ - Druckluft zum Festpreis. KAESER KOMPRESSOREN SE, Coburg [abgerufen am: 27.07.2022], verfügbar unter: <https://www.kaeser.de/produkte/betreibermodell-sigma-air-utility/>

Katal, A.; Wazid, M. und Goudar, R. H. (2013): Big data: Issues, challenges, tools and Good practices. IEEE [abgerufen am: 13.09.2022], verfügbar unter: https://www.stat.purdue.edu/~doerge/BIOINFORM.D/SPRING16/KatalWazidGoudar_2013.pdf

Kusturica, W. (2018): Datenintegration - Eine Grundlage für weiterführende Analysen. In: Industry Analytics [abgerufen am: 19.07.2022], verfügbar unter: <https://www.industry-analytics.de/datenintegration-eine-grundlage-fuer-weiterfuehrende-analysen/>

Labbus, I. (2021): Cyber-physische Produktionssysteme für die energieeffiziente Komponentenproduktion, Springer Fachmedien Wiesbaden, Wiesbaden, AutoUni - Schriftenreihe. V.152, verfügbar unter: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/kxp/detail.action?docID=6524976>

MarkTab Consulting et al. (2022): Lebenszyklus des Team Data Science-Prozesses - Azure Architecture Center [abgerufen am: 12.08.2022], verfügbar unter: <https://docs.microsoft.com/de-de/azure/architecture/data-science-process/lifecycle>

Marxer, M.; Bach, C. und Keferstein, C. P. (2021): Fertigungsmesstechnik - Alles zu Messunsicherheit, konventioneller Messtechnik und Multi-sensorik. 10., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden.

Menn, J. P. (2021): Höher, schneller, weiter... Belastet die Digitalisierung die Umwelt oder bietet sie Chancen diese zu schonen?, nachhaltig.digital, Hamburg [abgerufen am: 19.08.2022], verfügbar unter: <https://nachhaltig.digital/blog/1301>

Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum (2019a): Brunner: Smart Factory im Bereich Energiemanagement. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum eStandards [abgerufen am: 28.07.2022], verfügbar unter: <https://www.mittelstand-digital-wertnetzwerke.de/praxisprojekte/projektsteckbriefe/brunner-smart-factory-im-bereich-energiemanagement/>

Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum (2019b): Smart Energy Factory: mit eStandards die Energieeffizienz steigern, Hagen [abgerufen am: 28.07.2022], verfügbar unter: https://www.youtube.com/watch?v=_pbPsN5ZzJM

Mühl, T. (2022): Elektrische Messtechnik – Grundlagen, Messverfahren, Anwendungen. 6., überarb. Auflage 2022, Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; Springer Vieweg, Wiesbaden.

Oswald G. und Krcmar H. (2018): Digitale Transformation – Fallbeispiele und Branchenanalysen, SpringerGabler, Walldorf, ISBN 978-3-658-22624-4 [abgerufen am: 28.07.2022], verfügbar unter: <http://docplayer.org/110712849-Digitale-transformation.html>

Parthier, R. (2020): Messtechnik – Vom SI-Einheitensystem über Bewertung von Messergebnissen zu Anwendungen der elektrischen Messtechnik. 9., überarbeitete und erweiterte Auflage, Springer Vieweg, Wiesbaden.

Scherf, C.-S. et al. (2021): Anreizsysteme für eine ökologisch nachhaltige Digitalisierung in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), Öko-Institut e. V. [abgerufen am: 21.07.2022], verfügbar unter: <https://www.oeko.de/fileadmin/oekodoc/Nachhaltige-Digitalisierung-KMU.pdf>

Scheuch-Schmid, K. (2018): Entwicklung eines Umweltmanagementkonzeptes nach ISO 14000 für die Pilotfabrik Industrie 4.0, [Diploma Thesis, Technische Universität Wien].

Schiessle, E. und Schreier, J. (2018): Was sind Bussysteme, Schnittstellen und Sensornetze? Erklärung, Funktionsweise und Überblick, [abgerufen am: 12.07.2022], verfügbar unter: <https://www.industry-of-things.de/was-sind-bussysteme-schnittstellen-und-sensornetze-erklaerung-funktionsweise-und-ueberblick-a-683219/>

Schmid C. et al. (2003): Möglichkeiten, Potenziale, Hemmnisse und Instrumente zur Senkung des Energieverbrauchs branchenübergreifender Techniken in den Bereichen Industrie und Kleinverbrauch. Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Karlsruhe.

Schmidt, M.; Spieth, H.; Bauer, J. und Haubach, C., Hg. (2017): 100 Betriebe für Ressourceneffizienz - Band 1 - Praxisbeispiele aus der produzierenden Wirtschaft, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg.

Schütz, D. (2018): SIDAP - Skalierbares Integrationskonzept zur Datenaggregation, -analyse, -aufbereitung von großen Datenmengen in der Prozessindustrie. gefasoft GmbH [abgerufen am: 19.08.2022], verfügbar unter: <https://www.tib.eu/de/suchen/id/TIBKAT:1682420787/>

Shafique, U. und Qaiser, H. (2014): A Comparative Study of Data Mining Process Models (KDD, CRISP-DM and SEMMA). In: International Journal of Innovation and Scientific Research, 12 (1), S. 217-222.

Statistisches Bundesamt (2019): Produzierendes Gewerbe - Kostenstruktur der Unternehmen des Verarbeitenden Gewerbes sowie des Bergbaus und der Gewinnung von Steinen und Erden. Statistisches Bundesamt, Fachserie 4, 4.3 [abgerufen am: 10.03.2022], verfügbar unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Industrie-Verarbeitendes-Gewerbe/Publikationen/Downloads-Struktur/kostenstruktur-2040430177004.html>

Tränkler, H.-R. und Reindl, Leonard M. (2014): Sensortechnik - Handbuch für Praxis und Wissenschaft. 2., völlig neu bearb. Aufl., Springer Vieweg, Berlin.

Umweltbundesamt, Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (2021): Energieeffizienz in Zahlen. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz, Berlin [abgerufen am: 25.01.2023], verfügbar unter: https://www.bmwk.de/Redaktion/DE/Publikationen/Energie/energieeffizienz-in-zahlen-entwicklungen-und-trends-in-deutschland-2021.pdf?__blob=publicationFile&v=6

VDI 4800 Blatt 1:2016-02: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI 4800 Blatt 1:2016-02: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ressourceneffizienz - Methodische Grundlagen, Prinzipien und Strategien, Beuth Verlag GmbH, Berlin.

VDI Verlag GmbH (2022): Das Werkzeug klingt nach Verschleiß: KI hört Fehler bei der Zerspanung. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf [abgerufen am: 28.07.2022], verfügbar unter: https://www.vdi-nachrichten.com/technik/produktion/das-werkzeug-klingt-nach-verschleiss-ki-hoert-fehler-bei-der-zerspanung/?utm_source=Maileon&utm_medium=email&utm_campaign=VDI-n-News-Alert+-+KW28+-+2022+%28Leuze%2C+Gehaltstudie%29&utm_content=https%3A%2F%2Fwww.vdi-nachrichten.com%2Ftechnik%2Fproduktion%2Fdas-werkzeug-klingt-nach-verschleiss-ki-hoert-fehler-bei-der-zerspanung%2F

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2019): Ressourceneffizienz durch Digitalisierung - Schulungsunterlagen für Qualifizierungskurs, VDI ZRE, Berlin.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2021): Potenziale der schwachen künstlichen Intelligenz für die betriebliche Ressourceneffizienz. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH [abgerufen am: 28.06.2022], verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/detailseite/studie-kuenstliche-intelligenz/>

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (2022): Ökologische und ökonomische Bewertung des Ressourcenaufwands - Industrie-4.0-Retrofit-Maßnahmen an Werkzeugmaschinen. VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH, Berlin, verfügbar unter: <https://www.ressource-deutschland.de/service/publikationen/detailseite/studie-retrofit/>

VDI 4801:2018-03: Verein Deutscher Ingenieure e.V., Ressourceneffizienz in kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), Beuth Verlag GmbH, Berlin.

Wolff, T. (2018): Mit vernetztem Energiedatenmanagement Kosten nachhaltig senken. Mittelstand 4.0-Kompetenzzentrum eStandards, Hagen [abgerufen am: 28.07.2022], verfügbar unter: https://www.estandards-mittelstand.de/fileadmin/user_upload/Materialien/Best-Practices/Best_Practice_Energiedatenmanagement_web.pdf

Wollschlaeger, M.; Debes, T.; Halhoff, J.; Wickinger, J.; Dietz, H.; Feldmeier, G.; Michels, J.; Scholing, H. und Billmann, M. (2018): Kommunikation im Industrie-4.0-Umfeld [online] - Welchen Herausforderungen hat sich die industrielle Kommunikation im Kontext von Digitalisierung und Industrie 4.0 zu stellen? [abgerufen am: 19.07.2022], verfügbar unter: https://www.zvei.org/fileadmin/user_upload/Presse_und_Medien/Publikationen/2018/April/Kommunikation_im_Industrie-4.0-Umfeld/Kommunikation_im_Industrie-4.0-Umfeld_Download-Neu.pdf

Wuttke, L. (2022): CRISP-DM: Grundlagen, Ziele und die 6 Phasen des Data Mining Prozess, 14.07.2022 [abgerufen am: 19.07.2022], verfügbar unter: <https://datasolut.com/crisp-dm-standard/>

Zukunftsinstitut GmbH (2020): Megatrends [online] - Dossier. Zukunftsinstitut GmbH [abgerufen am: 30.04.2020], verfügbar unter: <https://www.zukunftsinstitut.de/dossier/megatrends/>

ANHANG

Tabelle 6 umfasst eine Übersicht zu relevanten Messsensoren für die direkte und indirekte Erfassung von produktionsrelevanten Ressourcen.

Tabelle 6: Messgeräte und -sensoren für die direkte und indirekte Ressourcenerfassung¹¹³

Messgröße	Sensortyp	Ressource	Beispiel
Mechanische Messgrößen an Festkörpern			
Masse	Elektrische Wäge-Zelle	Materialien (fest, flüssig)	Bestimmung der Masse von Gegenständen oder Flüssigkeiten
Massendurchfluss	Bildsensor, Barcode-/QR-Code-Scanner, RFID/NFC	Materialien (fest)	Bestimmung der Masse von Gegenständen pro Zeiteinheit; Voraussetzung: Kenntnis der Masse des Gegenstands
Mechanische Messgrößen an Flüssigkeiten und Gasen			
Durchfluss	Magnetisch-induktiver Durchflusssensor	Materialien (flüssig)	Messung von Flüssigkeitsdurchflussmengen
Durchfluss	Ultraschall-Durchflusssensor, Differenzdruckbestimmung, Flügelrad-Durchflusssensor, Wirbeldurchflussmesser, Massendurchflussmesser (Corolis-Prinzip), Thermischer Durchflussmesser	Materialien (flüssig, gasförmig)	Messung von Durchflussmengen von Flüssigkeiten und Gasen
Durchfluss	Magnetisch-induktiver Durchflusssensor	Materialien (gasförmig)	Messung von Gasdurchflussmengen
Dichte	Biegeschwinger	Materialien (flüssig)	Dichtemessung von Flüssigkeiten; bei Kenntnis des Flüssigkeitsvolumens ist mittels Dichte die Masse der Flüssigkeit bestimmbar
Druck	Widerstandsdruckaufnehmer, Induktiver Druckaufnehmer, Kapazitiver Druckaufnehmer, Piezoelektrische Druckaufnehmer	Materialien (gasförmig)	Messung von Gasdruck zur Bestimmung der Gasmenge bzw. Gaskonzentration

¹¹³ Vgl. Fleischer, J.; Klee, B.; Spohrer, A. und Merz, S. (2018), S. 11.

Messgröße	Sensortyp	Ressource	Beispiel
Druck	Kapazitiver Drucksensormessfühler	Materialien (flüssig)	Messung von Flüssigkeitsdruck zur Bestimmung der Flüssigkeitsmenge bzw. -konzentration
Füllstand	Schwimmer, Ultraschallsensor, Radar/Mikrowelle, Optischer Sensor (z. B. Ultraschall), Leitfähigkeitsmessfühler, Hydrostatische Messung (Druck Wassersäule), Gravimetrische Messung (Behältergewicht), Kapazitiver Sensor	Materialien (flüssig)	Messung von Flüssigkeitsfüllständen in einem Behälter (Ableitung des Flüssigkeitsvolumens)
Füllstand	Ultraschallsensor, Radar/Mikrowelle, Laser- bzw. optischer Sensor, Radiometrische Methode	Materialien (fest)	Füllstandsmessung von Schüttgut in einem Behälter (Ableitung des Schüttgutvolumens)
Thermische Messgrößen			
Temperatur	Widerstandsthermometer, Infrarot-Temperatur Sensoren, Thermoelement	Energie	Temperaturmessung in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen zur direkten Bestimmung der gespeicherten, aufgenommenen oder abgegebenen Wärmeenergiemenge (z. B. Verlustwärme)
Wärmeleitung	Wärmeleitfähigkeitsmessfühler, Wärmeflussmessfühler	Energie	Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen zur Ableitung der gespeicherten Wärmeenergiemenge
Elektrische Messgrößen			
Strom	Stromsensoren	Energie	Strommessung zur Bestimmung der elektrischen Leistung und somit der elektrischen Energiemenge
Spannung	Spannungssensoren	Energie	Spannungsmessung zur Bestimmung der elektrischen Leistung und somit der elektrischen Energiemenge
Chemische Messgröße			
Konzentration	Infrarot-Spektrometer, Massenspektrometer, UV/VIS-Spektrometer	Materialien (fest, flüssig, gasförmig)	Messung von Stoffmenge/-masse von Feststoffen, Flüssigkeiten oder Gasen

In Tabelle 7 sind relevante Bus-Systeme aus der Praxis aufgeführt.

Tabelle 7: Praxisrelevante Bus-Systeme¹¹⁴

Bus-Systeme	Bezeichnung
PC	Inter-Integrated Circuit
SENT	Single Edge Nibble Transmission
LIN-Bus	Local Interconnect Network - Binary Unit System
Ethernet	Ethernet
USB	Universal Serial Bus
FireWire	FireWire
MOST-Bus	Media Oriented Systems Transport
RFID	Radio Frequency Identification
Bluetooth	Bluetooth
WPAN	Wireless Personal Area Network
GSM	Global System for Mobile Communication
UMTS	Universal Mobile Telecommunication System

Tabelle 8 gibt eine Übersicht zu gängigen Data-Mining-Methoden.

Tabelle 8: Methoden zur systematischen Erfassung, Aufbereitung und Integration von Daten

Prozessschritt	KDD ¹¹⁵	Crisp-DM ¹¹⁶	SEMMA ¹¹⁷	TDSP ¹¹⁸
1	Data	Business Understanding	-	Business Understanding
2	Selection	Data Understanding	Sample	Data Acquisition and Understanding
3	Processing		Explore	
4	Transformation	Data Preparation	Modify	
5	Data-Mining	Modeling	Model	Modeling
6	Interpretation/Evaluation	Evaluation	Assessment	
7	Knowledge	Deployment	-	Deployment and Customer Acceptance

¹¹⁴ Vgl. Schiessle, E. und Schreier, J. (2018).

¹¹⁵ Vgl. Fayyad, U.; Piatetsky-Shapiro, G. und Smyth, P. (1996), S. 41.

¹¹⁶ Vgl. Chapman, P.; Clinton, J.; Kerber, R.; Khabaza, T.; Reinartz, T.; Shearer, C. und Wirth, R. (2000), S. 13.

¹¹⁷ Vgl. Shafiqe, U. und Qaiser, H. (2014), S. 220 f.

¹¹⁸ Vgl. Haakman, M.; Cruz, L.; Huijgens, H. und van Deursen, A. (2021), S. 13.

VDI Zentrum Ressourceneffizienz GmbH (VDI ZRE)
Bulowstraße 78
10783 Berlin
Tel. +49 30-2759506-0
zre-info@vdi.de
www.ressource-deutschland.de

