DEUTSCHES HANDWERKSINSTITUT

Andrea Greilinger & Matthias Althammer

Entwicklung eines Kennzahlensystems zur Bewertung der Energieeffizienz in Handwerksbetrieben

LUDWIG FRÖHLER INSTITUT

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

DHKT
DEUTSCHER
HANDWERKSKAMMERTAG

sowie die
Wirtschaftsministerien
der Bundesländer

Dieses Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwendung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

ISBN: 978-3-925397-77-6

Urheberrechtsangabe zum Titelbild: © Stockfotos-MG - Fotolia

2017

Ludwig-Fröhler-Institut
Forschungsinstitut im Deutschen Handwerksinstitut

Andrea Greilinger & Matthias Althammer

Entwicklung eines Kennzahlensystems zur Bewertung der Energieeffizienz in Handwerksbetrieben

Vorwort

„Deutschland hat den Weg in das Zeitalter der erneuerbaren Energien eingeleitet. Dieser ist untrennbar verbunden mit einer substanziellen Verbesserung der Energieeffizienz. Denn Energieeffizienz ist ein entscheidender Schlüssel nicht nur für den Erfolg der Energiewende, sondern vor allem für die Wettbewerbsfähigkeit der Unternehmen. Zugleich gilt: Eine sichere, umweltverträgliche und bezahlbare Energieversorgung ist elementares Fundament des Wirtschafts- und Beschäftigungsstandorts Deutschland."

[Gemeinsame Initiative „Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz", zu der sich am 01.10.2012 u.a. auch der Zentralverband des Deutschen Handwerks verpflichtet hat.]

Wie der obige Auszug aus dem Bündnispapier der Mittelstandsinitiative zeigt, ist es ein zentrales Anliegen der Projektpartner, die Energieeffizienz mittelständischer Betriebe in Deutschland zu stärken. Dabei sollen Betriebe im Rahmen der Initiative beispielsweise direkt vor Ort durch den persönlichen Austausch, Informationen und Qualifizierungen konkrete Hilfestellungen erhalten.

Die Handwerksorganisation arbeitet zielstrebig an der Umsetzung der Mittelstandsinitiative. Vor allem im Rahmen der sieben Umweltzentren des Handwerks werden Tools und „Werkzeugkoffer" entwickelt, mittels derer interessierte Handwerksbetriebe individuell für das Thema Energieeffizienz sensibilisiert und bei der Umsetzung von Maßnahmen begleitet werden können. Im Rahmen dieser Entwicklungs- und Entstehungsprozesse sind immer wieder Herausforderungen zu überwinden, die vor allem auf die nach Unternehmensgröße und Produktionsverfahren sehr unterschiedlichen Handwerksbetriebe zurückzuführen sind. Beantwortet werden müssen dabei Fragen, wie Energieeffizienz überhaupt gemessen werden kann, welche Kennzahlen im Handwerk eigentlich Sinn machen, welche Daten ein Betrieb für den Einsatz von Kennzahlen(-systemen) vorhalten muss oder nach welchen Kriterien Benchmarking-Unternehmen ausgewählt werden sollen, an denen schließlich die Energieeffizienz eines individuellen Handwerksbetriebs gemessen werden kann.

Zur Klärung dieser Fragen bedarf es konzeptioneller wissenschaftlicher Arbeit, die das Ludwig-Fröhler Institut im Rahmen dieser Studie zur Verfügung stellen möchte. Im Ergebnis soll eine „methodische Landkarte" zur Messung von Energieeffizienz im Handwerk entstehen. In diesem Zusammenhang möchte ich den Initiatoren dieses Projektes, Dr. Alexander Barthel (ZDH, Leiter der Abteilung Wirtschaft und Umwelt) und seinem Mitarbeiter Michel Durieux herzlich für die wertvolle Unterstützung und vertrauensvolle Zusammenarbeit danken.

München, im März 2017

Univ.-Prof. Dr. Gunther Friedl

Akademischer Leiter des Ludwig-Fröhler-Instituts

Inhaltsverzeichnis

Vorwort IV

Inhaltsverzeichnis V

Abbildungsverzeichnis VI

Tabellenverzeichnis VI

Anhangsverzeichnis VI

Abkürzungsverzeichnis VI

Management Summary 1

1 Einleitung 3

2 Grundlagen der Energieeffizienz 4

2.1 Grundlagen des Energiemanagements und der Energieformen 4

2.1.1 Definition des Energiemanagements und des Energiecontrollings 4

2.1.2 Definition der Energieträger sowie der Erfassungsebenen 5

2.2 Bedeutung der Energieeffizienz in KMU 8

2.3 Kennzahlen des Energiecontrollings 9

2.3.1 Definition und Anwendung allgemeiner Kennzahlen 9

2.3.2 Vorstellung von Kennzahlen zur Messung der Energieeffizienz 10

3 Kennzahlensysteme für das Benchmarking von Handwerksbetrieben 13

3.1 Definition von Kennzahlensystemen 13

3.2 Ablauf des Energieeffizienz-Benchmarkings 15

3.3 Vorstellung bestehender Systeme zur Bewertung der Energieeffizienz und Ableitung von Orientierungshilfen für die Entwicklung des Kennzahlensystems dieser Arbeit 17

4 Vorstellung der entwickelten Kennzahlen dieser Arbeit 20

4.1 Zielsetzung und Planung 20

4.2 Datenerhebung und -verifizierung 21

4.3 Generierung der Ergebnisse 23

5 Umsetzung des Kennzahlensystems in der Praxis 30

5.1 Datengrundlage des Kennzahlensystems 30

5.2 Anwendung des Kennzahlensystems am Beispiel einer Bäckerei 33

5.3 Anwendung des Kennzahlensystems am Beispiel einer Kfz-Werkstatt 34

6 Zusammenfassung und Ausblick 35

Anhang 37

Literaturverzeichnis 45

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Energiefluss von der Quelle bis zum Unternehmen 6
Abbildung 2: Mögliche Bilanzgrenzen einer Anlage 14
Abbildung 3: Ablauf des Energieeffizienz-Benchmarkings 16
Abbildung 4: Spezifischer Energieverbrauch in Bäckereien 22
Abbildung 5: Aufteilung des spezifischen Energieverbrauchs 23
Abbildung 6: Aufteilung des Primärenergieverbrauchs 24
Abbildung 7: Korrektur des Heizungsverbrauchs 25
Abbildung 8: Korrektur der Kapazitätsauslastung 26
Abbildung 9: Ermittlung des Primärenergieverbrauchs der Restverbraucher 27
Abbildung 10: Korrektur des Produktportfolios 28

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Größenklassen der KMU 12

Anhangsverzeichnis

Anhang 1: Korrektur des Primärenergieverbrauchs **37**
Anhang 2: Korrektur der Produktmenge **38**
Anhang 3: Primärenergiefaktoren **39**
Anhang 4: Berechnungsbeispiel für eine Bäckerei **40**

Abkürzungsverzeichnis

BESS	Benchmarking and Energy Management Schemes in SMEs
DIN	Deutsches Institut für Normung e. V.
EPI	Energy Performance Indicator
Ex-BESS	Expansion of the Benchmarking and Energy Management Schemes in SMEs
Kfz	Kraftfahrzeug
KMU	Kleine und mittlere Unternehmen
kWh	Kilowattstunden
NACE	Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne
PRODCOM	Production Communautaire
SME	small and medium-sized enterprises
VDI	Verein Deutscher Ingenieure e. V.

Management Summary

Im Rahmen der „Mittelstandsinitiative Energiewende und Klimaschutz“ arbeitet die Handwerksorganisation mit Hochdruck an Unterstützungsmaßahmen, um ihren Betrieben Tools zur Analyse und Steigerung ihrer Energieeffizienz an die Hand zu geben. Im Rahmen dieser Entwicklungs- und Entstehungsprozesse sind immer wieder Herausforderungen zu überwinden, die vor allem auf die nach Unternehmensgröße und Produktionsverfahren sehr unterschiedlichen Handwerksbetriebe zurückzuführen sind. Beantwortet werden müssen dabei Fragen, wie Energieeffizienz überhaupt gemessen werden kann, welche Kennzahlen im Handwerk eigentlich Sinn machen, welche Daten ein Betrieb für den Einsatz von Kennzahlen(-systemen) vorhalten muss oder nach welchen Kriterien Benchmarking-Vergleichsunternehmen ausgewählt werden sollen, an denen schließlich die Energieeffizienz eines individuellen Handwerksbetriebs gemessen werden kann.

Zur Klärung dieser Fragen bedarf es konzeptioneller wissenschaftlicher Arbeit, die das Ludwig-Fröhler Institut im Rahmen dieser Studie zur Verfügung stellen möchte. Im Ergebnis soll eine „methodische Landkarte“ zur Messung von Energieeffizienz im Handwerk entstehen. Dabei sollen Ideen für den Aufbau eines Kennzahlensystems diskutiert werden, welches in der Lage ist, den spezifischen Energieverbrauch auf die individuellen Eigenschaften des Betriebs anzupassen.

Zu Beginn der Arbeit wurden die Grundlagen des Energiemanagements und der Energieeffizienz vorgestellt. Dazu wurden der Energiefluss von der Primärenergie bis zur Nutzenergie sowie die verschiedenen Erfassungsebenen für die Kennzahlen des Energiecontrollings beschrieben. Insgesamt wurde auch auf die Problematik verwiesen, dass Handwerksbetriebe in ihren Unternehmen nur selten ein Energiemanagement integriert und nur rudimentäre Kenntnisse über den innerbetrieblichen Energiefluss haben. Im Rahmen der Arbeit musste also damit umgegangen werden, dass die Datengrundlage für die Bewertung der Energieeffizienz nur auf Werksebene vorliegt. Für die Bewertung der Energieeffizienz wurde – in Anlehnung an Beispiele aus der Industrie – die Kennzahl „spezifischer Energieverbrauch“ eingesetzt.

Nach der Definition des Energiecontrollings und der Energieeffizienz wurden die Anforderungen des Kennzahlensystems festgelegt. Neben den formalen waren dabei die technischen Anforderungen zu berücksichtigen. Diese wurden aus der VDI 4661 sowie der DIN EN 16231 abgeleitet. Anschließend wurden die Methoden des Energy Star und des BESS-Projekts analysiert. Insbesondere das BESS-Projekt erschien für das Benchmarking der Energieeffizienz in Handwerksbetrieben geeignet, da dessen Vorgehen die Situation von KMU berücksichtigt.

Bei der Entwicklung des Kennzahlensystems wurde entsprechend der DIN EN 16231 vorgegangen. Ausgehend von der Zielformulierung wurden der Geltungsbereich des Benchmarkings sowie die Maßnahmen zur Datenerhebung formuliert. Bei der Berücksichtigung der Einflussfaktoren wurden zwei Vorgehensweisen angewandt. Zum einen erfolgte eine Gruppierung der Handwerksbetriebe, damit der Unternehmensvergleich nicht von der Größe und der Betriebsart beeinflusst wird. Zum anderen wurden Korrekturfaktoren für die übrigen Einflussgrößen in das Kennzahlensystem eingebunden. Dabei stellten die Energiedaten auf Werksebene ein Problem dar, da die Korrekturen nicht den entsprechenden Anlagen zugeordnet werden konnten. Deswegen wurde der Energieverbrauch schließlich auf Basis von Schätzungen ermittelt und angepasst.

Abschließend erfolgte die Darstellung der für das Kennzahlensystem erforderlichen Daten sowie deren Ermittlung und Integration. Das Vorgehen zur Anwendung des Kennzahlensystems wurde am Beispiel einer Bäckerei und einer Kfz-Werkstatt beschrieben. Diese Praxisbeispiele stellten sicher, dass die

entwickelten Methoden in verschiedenen Gewerken anwendbar sind. Der Fokus der Praxisbeispiele lag dabei insbesondere auf der Gruppierung der Unternehmen und den Vorbereitungen zur Durchführung des Benchmarkings, da die Berechnungen simultan ablaufen. Diese unterscheiden sich nur bei der Auswahl und den Anteilen der Hauptverbraucher sowie den verschiedenen Korrekturfaktoren für die Produkte.

Beim Einsatz des Kennzahlensystems ist zu beachten, dass die derzeitige Datengrundlage der Handwerksbetriebe die exakte Korrektur aller Einflussfaktoren nicht zulässt. Deswegen kann im Rahmen des Benchmarkings die Energieeffizienz nur grob eingeschätzt werden. Weist ein Betrieb einen hohen spezifischen Energieverbrauch auf, sind mittels Energieberatungen Maßnahmen durchzuführen und deren Auswirkungen auf den Energieverbrauch zu messen. Bei der Integration der Korrekturfaktoren müssen die einzelnen Faktoren und deren Auswirkungen auf den spezifischen Energieverbrauch geprüft werden. Insbesondere ist dafür zu sorgen, dass realisierte Effizienzsteigerungen nicht ausgeblendet werden. Dazu sind die theoretischen Ansätze des Kennzahlensystems in der Praxis zu testen.

1 Einleitung

Die Produktion von Gütern und die Erbringung von Dienstleitungen im Handwerk sind ohne den Einsatz von Strom, Raumwärme, Prozesswärme und Druckluft nicht möglich.[1] Insgesamt hängt die deutsche Wirtschaft in hohem Maße von der Verfügbarkeit sowie den Kosten der benötigten Energieträger ab. Letztere machen neben den Personal- und Materialkosten einen wesentlichen Kostenbestandteil deutscher Unternehmen aus und stehen deshalb im Fokus, wenn es um das Thema Energieeffizienz geht. Bedingt durch die Rohstoffverknappung und den Wechsel zu Strom aus regenerativen Energieträgern werden sich die Energiekosten in Zukunft tendenziell weiter erhöhen, sodass Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz für Unternehmen aller Wirtschaftszweige in Deutschland an Bedeutung gewinnen. Da beispielsweise eine niedrige Energieeffizienz die Existenz von Unternehmen mit energieintensiven Prozessen langfristig bedrohen kann, sind sie dazu gezwungen, Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz in den betrieblichen Alltag zu integrieren.[2]

Im Rahmen dieser Diskussion ist die Aufmerksamkeit vor allem auf kleine und mittlere Unternehmen (KMU) zu richten, da diese 99,6 % der Unternehmen in Deutschland ausmachen[3] und ihnen bei Energieeffizienzinvestitionen eine Rentabilität von 20 % bis 25 % prognostiziert wird.[4] Dennoch haben über 50 % der KMU in den letzten Jahren keine Schritte zur Steigerung der Energieeffizienz unternommen. Als Grund hierfür wird v.a. genannt, dass sie keine Einsparungspotentiale identifizieren konnten.[5]

Ziel der vorliegenden Publikation, die sich auf Handwerksbetriebe als typische Vertreter der KMU fokussiert, ist deshalb, ein Kennzahlensystem zur Bewertung der Energieeffizienz ebenjener Unternehmensgruppe zu entwickeln, mit dem sich diese sowohl mit anderen Betrieben vergleichen, als auch Möglichkeiten für Energieeffizienzverbesserungen erkennen können. Als Ergebnis soll ein Kennzahlensystem zur Verfügung stehen, das den spezifischen Energieverbrauch auf die individuellen Eigenschaften des Betriebs anpasst. Dabei ist angedacht, dass Handwerksbetriebe ihre Energieeffizienz mit Hilfe eines Beraters der Handwerksorganisation bewerten und analysieren, welche gleichzeitig über Daten zu Vergleichsbetrieben verfügen, sodass das angesprochene Benchmarking stattfinden kann. Um die Anwendbarkeit der dem Kennzahlensystem zugrunde gelegten Methodik aufzuzeigen, wird das Kennzahlensystem im Verlauf der Arbeit am Beispiel von Bäckereien und Kfz-Werkstätten verdeutlicht.

[1] Vgl. Wanke / Trenz (2001), S. 37.
[2] Vgl. Meyer (2013), S. 12.
[3] Vgl. Institut für Mittelstandsforschung (o. J. a).
[4] Vgl. Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014), S. 5.
[5] Vgl. Schwartz / Braun (2013), S. 1.

2 Grundlagen der Energieeffizienz

Um ein adäquates Kennzahlensystem zur Bewertung der Energieeffizienz entwickeln zu können, muss dieses zunächst in den Kontext von Handwerksbetrieben eingeordnet werden. Insgesamt ist der Themenbereich rund um Kennzahlensysteme dem Energiemanagement und -controlling von Handwerksbetrieben zuzuordnen, wobei jedoch anzumerken ist, dass die Mehrheit der Handwerksunternehmen kein Energiemanagement betreibt – weder in Form personeller noch technischer Ressourcen oder Instrumente. Nichtsdestotrotz soll zunächst im Rahmen von Kapitel 2.1 die Bedeutung des Energiemanagements herausgestellt sowie dessen Aufgabe, Funktion und Umsetzung im Energiecontrolling beschrieben werden. Anschließend werden die verschiedenen Formen der Energie sowie die Erfassungsebenen des Energiecontrollings festgelegt. Kapitel 2.2 unterstreicht die Bedeutung der Energieeffizienz für KMU, sodass Kapitel 2.3 schließlich allgemein auf den Aufbau von Kennzahlen überleitet sowie auf deren Anwendung im Energiecontrolling eingehen kann. Dazu werden unterschiedliche Varianten zur Messung der Energieeffizienz und weitere Energiekennzahlen vorgestellt.

2.1 Grundlagen des Energiemanagements und der Energieformen

2.1.1 Definition des Energiemanagements und des Energiecontrollings

Bei der Herstellung von Produkten und Dienstleistungen wird Energie als Produktions- und Komfortfaktor benötigt. Das **Energiemanagement** umfasst dabei die Kontrolle der zugehörigen Energierechnungen und den Aufbau einer sicheren Energieversorgung. Außerdem zählen u. a. die Reduzierung der Energiekosten, die Erhöhung der Energieeffizienz und der Aufbau eines Informationssystems zu den **Aufgaben** des Energiemanagements in Handwerksbetrieben.[6] Hinsichtlich seiner **Funktionen** kann das Energiemanagement in die Bereiche Planung, Steuerung, Organisation und Kontrolle gegliedert werden. Die Planungsfunktion beinhaltet dabei die Energieerfassung, Energiebuchhaltung und Auswertung der Energiedaten. Mittels der Steuerungsfunktion werden die Ziele definiert sowie der Energiebezug und die Ressourcen zur Durchführung von Maßnahmen koordiniert. Die Funktion der Organisation legt den Ablauf des Energiemanagements in den Betrieben fest. Die Überprüfung, ob Ziele erreicht wurden, erfolgt im Rahmen der Kontrollfunktion und wird in Form von Energieberichten festgehalten.[7]

In Abgrenzung dazu wird das **Energiecontrolling** als Servicefunktion des innerbetrieblichen Energiemanagements verstanden. Die **Ziele** des Energiecontrollings müssen somit denen des Energiemanagements und des Gesamtunternehmens dienlich sein. Sie beinhalten die Optimierung der Reaktionsfähigkeit auf Störungen des betrieblichen Energieflusses sowie die Anpassungsfähigkeit gegenüber dem sich verändernden Energieumfeld. Daneben ist Ziel des Energiecontrollings, eine energiesparende Denkweise in den Handwerksbetrieben zu verankern.[8] Die **Bedeutung** des Energiecontrollings hat infolge der geänderten energiewirtschaftlichen und -politischen Umgebung stark zugenommen. In größeren Unternehmen tritt das Energiecontrolling deshalb häufig sogar als separate Abteilung auf, um das Ergebnisziel bestmöglich zu erreichen. Dagegen ist das Energiecontrolling in kleinen Unternehmen des Handwerks im zentralen Controlling integriert, falls letzteres überhaupt als

[6] Vgl. Wanke / Trenz (2001), S. 37.
[7] Vgl. Wanke / Trenz (2001), S. 41.
[8] Vgl. Wohinz / Moor (1989), S. 207 - 209.

professionelle Funktion in den Betrieben vorzufinden ist. Die **Standardaufgaben** des Controllings im Energiebereich sind die Energiebeschaffung, -umwandlung, -verteilung sowie -nutzung.[9]

Damit effiziente Lösungen energierelevanter Fragestellungen im Sinne des Energiecontrollings umgesetzt werden können, sind **Instrumente** in Form von Methoden, Modellen oder technischen Hilfsmitteln – so wie sie im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelt werden – notwendig. Diese ermöglichen die Analyse, Strukturierung und Auswertung von Informationen.[10] In der Praxis hat sich eine Vielzahl von Controlling-Instrumenten bewährt. Dabei sind die Energiekennzahlen bzw. Kennzahlensysteme und das Benchmarking von besonderer Bedeutung.[11] Auf die Definition von Energiekennzahlen und deren Einsatz im Energiecontrolling wird in Kapitel 2.3 näher eingegangen. Der Unternehmensvergleich im Rahmen des Benchmarkings und dessen Ablauf nach der DIN[12] EN 16231 wird in Kapitel 3.2 vorgestellt.

2.1.2 Definition der Energieträger sowie der Erfassungsebenen

Um Energiekennzahlen nutzen zu können, ist es notwendig, die verschiedenen Energieformen und Energieträger sowie deren Messgrößen definieren und unterscheiden zu können. Außerdem ist es wichtig, die unterschiedlichen Ebenen, auf denen Energiecontrolling in Handwerksbetrieben stattfinden kann, abgrenzen zu können. Die nachfolgenden Ausführungen gehen deshalb explizit auf diese Themenbereiche ein.

Energie ist die Fähigkeit, Arbeit zu verrichten. Die dazu verbrauchte Energie innerhalb eines bestimmten Zeitraums wird als **Leistung** bezeichnet, die in Watt gemessen wird. Allein aus der Leistung kann der **Energieverbrauch** jedoch nicht ermittelt werden, da die Leistung ausschließlich die während der Nutzung verbrauchte Energie darstellt. Außerhalb der Nutzung verbraucht das System jedoch keine Energie. Deshalb wird für die Berechnung des Energieverbrauchs die Nutzungsdauer benötigt. Der Energieverbrauch stellt dann das Produkt aus der Leistungsaufnahme eines Systems und der Nutzungsdauer dar und wird meist in Kilowattstunden (kWh) angegeben.[13]

Zur Durchführung der innerbetrieblichen Prozesse verwenden Handwerksbetriebe verschiedene **Energieformen**, wie beispielsweise Elektrizität. Damit der Energieverbrauch ermittelt werden kann, müssen die verschiedenen Energien zueinander bewertet werden. **Energieträger** sind Stoffe aus der Natur, die mechanische, thermische, chemische oder physikalische Energie enthalten. Diese werden in primäre und sekundäre Energieträger eingeteilt. Abbildung 1 zeigt den Energieverlauf von der Natur über die notwendigen Umwandlungsstufen bis hin zum Betrieb.[14]

[9] Vgl. Waltenberger (2005), S. 335 - 336.
[10] Vgl. Waltenberger (2005), S. 339.
[11] Vgl. Schulze / Gleich (2014), S. 33 - 34.
[12] Deutsches Institut für Normung e. V.
[13] Vgl. Kals (2010), S. 45 - 48.
[14] Vgl. IREGIA et al. (2009), S. 5.

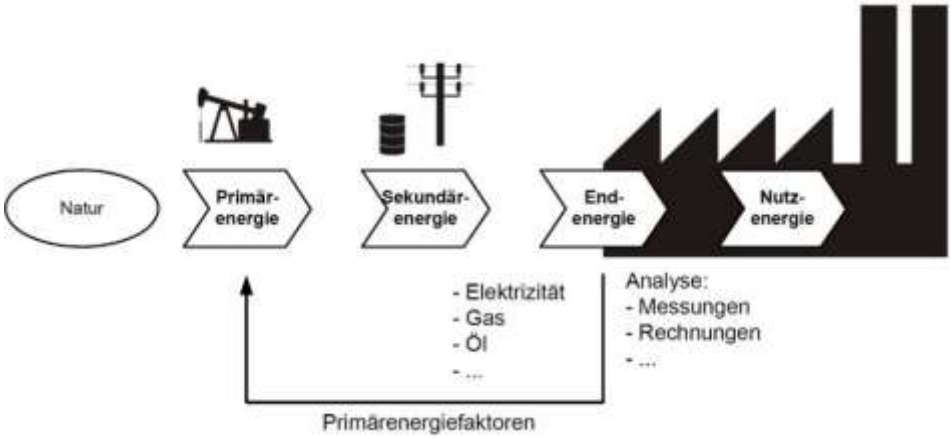


Abbildung 1: Energiefluss von der Quelle bis zum Unternehmen[15]

Der Energiefluss beginnt mit der **Primärenergie**, die den Energieinhalt eines Energieträgers aus der Natur ohne technische Konvertierung darstellt. Hierbei wird zwischen regenerativen, fossilen und nuklearen Energieträgern differenziert.[16] Primärenergie ist beispielweise in den fossilen Energieträgern Erdöl sowie Wind- oder Wasserkraft gespeichert.[17] Sofern Handwerksbetriebe verschiedene Energieträger einsetzen, muss von der End- bzw. Bezugsenergie auf den Primärenergieverbrauch als Kennwert für den Unternehmensvergleich zurück gerechnet werden, obwohl dieser in der Betriebswirtschaft eigentlich nicht verwendet wird.[18, 19] Grund hierfür ist der unterschiedliche Ressourcenverschleiß bei der Herstellung der einzelnen Energieträger. Beispielsweise kann der Verbrauch einer Kilowattstunde Elektroenergie nicht mit dem Verbrauch einer Kilowattstunde Erdgas verglichen werden, da die Herstellung der Elektroenergie mehr Primärenergie benötigt. Dieser ungleiche Ressourcenverbrauch führt auch zu den Preisdifferenzen der Energieträger.

Nach der ein- oder mehrfachen technischen Konvertierung der Primärenergieträger wird der Energiegehalt des Mediums als **Sekundärenergie** bezeichnet.[20] Sekundärenergie hat aus Unternehmenssicht eine geringe Bedeutung. Dies ändert sich, sobald sie in Form von Bezugs- bzw. Endenergie an die Handwerksbetriebe geliefert wird.[21] Die technische Umwandlung von Primär- in Sekundärenergie erfolgt unter Abgabe von Verlusten. Beispiele für sekundäre Energieträger sind Elektroenergie oder Benzin.[22]

Bezugsenergie definiert den Energieinhalt der primären und sekundären Energieträger, den die Handwerksbetriebe erhalten.[23] Den Verbrauch der Bezugsenergie der verschiedenen Energieträger ermitteln sie durch Rechnungen, Lieferscheine oder Zählerstände. Wie bei der Primärenergie beschrieben, dürfen diese beiden Bezugsenergieformen nicht aufsummiert werden, da dies zu Abweichungen führt. Die Bezugsenergie beinhaltet neben der Energie für die Produktion auch Energie, die nicht energetisch genutzt oder für die Eigenstromerzeugung verwendet wird.[24] Der nichtenergetische

[15] IREGIA et al. (2009), S. 5.
[16] Vgl. VDI (2014), S. 11.
[17] Vgl. IREGIA et al. (2009), S. 5.
[18] Vgl. Löffler (2011), S. 9 - 10.
[19] Vgl. IREGIA et al. (2009), S. 7.
[20] Vgl. VDI (2014), S. 11.
[21] Vgl. Löffler (2011), S. 10.
[22] Vgl. IREGIA et al. (2009), S. 5 - 6.
[23] Vgl. VDI (2014), S. 12.
[24] Vgl. Löffler (2011), S. 10 - 11.

Verbrauch wird in zwei Verwendungsarten unterschieden. Zum einen können Energieträger eingesetzt werden, wenn diese bestimmte stoffliche Eigenschaften, wie sie beispielweise in Schmierstoffen vorkommen, beinhalten. Zum anderen können Energieträger als Rohstoffe für chemische Reaktionen eingesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist Koks, das bei der Roheisenherstellung für die Reduktion verwendet wird.[25]

Wird von der Bezugsenergie der nichtenergetische Verbrauch sowie der Bedarf an Energieträgern zur Eigenherstellung von Strom oder Gas abgezogen, ergibt sich daraus die **Endenergie**. Diese wird innerhalb des Unternehmens zur Erzeugung oder Umwandlung von Nutzenergie verwendet.[26] Wie bei der Bezugsenergie wird die Endenergie durch Messungen oder Rechnungen ermittelt. Falls die Effizienz der innerbetrieblichen Eigenherstellung von Strom und Gas mit anderen Betrieben verglichen wird, sollte der Energieinhalt zur Strom- und Gaserzeugung nicht von der Bezugsenergie abgezogen werden.[27]

Der Energiefluss (vgl. Abbildung 1) endet schließlich mit der **Nutzenergie**. Diese beinhaltet jede Energieform, die für die Herstellung von Energiedienstleistungen (z. B. Wärme oder Licht) benötigt wird. Die technische Transformation von Endenergie in Nutzenergie wird durch Energiewandler (z. B. Motoren oder Lampen) entsprechend des Bedarfs im Handwerksbetrieb vollzogen.[28] Aus betriebswirtschaftlicher Sicht ist die Bedarfsermittlung von Nutzenergie nicht detailliert durchzuführen, sondern bei Vergleichen nur für die interessierenden Maschinen und Anlagen zu berechnen. Die verbrauchte Nutzenergie wird in Folge dessen häufig nur über den Wirkungsgrad angegeben.[29]

Insgesamt ist bereits an dieser Stelle der Arbeit anzumerken, dass **bei der Berechnung von betrieblichen Energiekennzahlen die Primärenergie verwendet werden sollte**: Nur sie ermöglicht den Vergleich verschiedener Energieformen und -träger, indem sie den unterschiedlichen Ressourcenverzehr bei der Herstellung ebenjener berücksichtigt. Die Primärenergie wird ausgehend vom Endenergieverbrauch berechnet. Der Primärenergiefaktor für Strom liegt beispielsweise bei drei. Somit sind für eine Kilowattstunde Strom drei Kilowattstunden Primärenergie erforderlich. In diesem Zusammenhang ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich die Werte der Primärenergiefaktoren in Folge technischer Verbesserungen oder bei Modifikationen hinsichtlich der Zusammensetzung des Strom-Mixes verändern können. Bei Zeitreihenvergleichen sollten daher die aktuellen Faktoren benutzt werden. [30, 31]

Bevor die Energiekennzahlen definiert werden, müssen zunächst die **Erfassungsebenen** der Kennzahlen festgelegt werden. Hierbei wird zwischen der Werks-, der Prozess-, der Maschinen- und der Produktebene unterschieden. Energiekennzahlen auf **Werksebene** eignen sich für das Benchmarking von Werken – allerdings nur, wenn diese eine vergleichbare Fertigung oder ähnliche Produkte aufweisen. Ist die Bedingung erfüllt, ermöglicht die Werksebene ein schnelles und einfaches Benchmarking, da sich die Kennzahlen in diesem Fall aus den Rechnungen der Energieversorger ableiten lassen. Jedoch ist ein Vergleich mit den Werken anderer Unternehmen oftmals aufgrund fehlender Daten zum Energieverbrauch der Konkurrenz nicht möglich.[32]

---

[25] Vgl. VDI (2014), S. 13.
[26] Vgl. VDI (2014), S. 12.
[27] Vgl. Löffler (2011), S. 11.
[28] Vgl. VDI (2014), S. 12 - 15.
[29] Vgl. Löffler (2011), S. 11 - 12.
[30] Vgl. Löffler (2011), S. 10.
[31] Vgl. IREGIA et al. (2009), S. 6 - 7.
[32] Vgl. Hessel (2014), S. 46 - 47.

Auf **Prozessebene** wird der komplette Produktionsprozess bzw. die vollständige Fertigungsstraße eines Handwerksbetriebs mit allen erforderlichen Haupt- und Unterstützungsvorgängen einbezogen. Dadurch können detaillierte Erkenntnisse über den Energieverbrauch erhoben und verschiedene Abläufe der Produktion bewertet und verbessert werden. Dies schließt beispielsweise den Vergleich der Energiekennzahlen bei alten und neuen Fertigungsstraßen ein. Im Gegensatz zur Werksebene sind für die Datenerfassung auf Prozessebene jedoch Sensoren und Messgeräte erforderlich, die in Handwerksbetrieben allerdings häufig nicht vorzufinden sind.[33]

Während auf Prozessebene die gesamte Produktionsstraße mit den dazugehörigen Anlagen und Maschinen in den Kennzahlen reflektiert ist, erfolgt auf **Maschinenebene** lediglich die Bewertung einzelner Maschinen. Die gezielte Ermittlung des Energieverbrauchs einzelner Maschinen ist insbesondere bei solchen mit hohem Energieverbrauch interessant. Dabei kann die Aufzeichnung des Energieverbrauchs hilfreich sein und auf notwendige Wartungen hindeuten, da ein erhöhter Energiebedarf z. B. aus dem Verschleiß einzelner Teile resultieren kann. Für die Gegenüberstellung einzelner Maschinen müssen die unterschiedlichen Energieträger und Rohstoffe, die zur Produktion benötigt werden, genau erhoben werden.[34]

Kennzahlen auf der **Produktebene** ermöglichen einen weiteren Blick auf die Energieeffizienz, indem sie einen zusammenhängenden Prozess evaluieren. Bei simplen sind die Kennzahlen der Prozess- und Produktebene oft gleich, wohingegen bei komplexen Herstellungsprozessen die einzelnen Fertigungsschritte getrennt voneinander zu bewerten sind.[35]

Insgesamt ist bereits an dieser Stelle der Arbeit anzumerken, dass bei den Handwerksbetrieben unterschiedliche Abläufe stattfinden, die die Benchmarking-Ergebnisse auf Werksebene beeinflussen. Damit dennoch **ein schneller und einfacher Vergleich auf Werksebene durchgeführt werden kann, werden die Energieverbräuche im Kennzahlensystem gezielt auf Maschinenebene angepasst**. Außerdem kann auf dieser Ebene der Energieverbrauch mit geringem Aufwand gemessen werden. Des Weiteren werden Korrekturfaktoren für die Produkte eingesetzt, sodass die individuellen Eigenschaften der Unternehmen bei der Ermittlung der Effizienz berücksichtigt werden.

2.2 Bedeutung der Energieeffizienz in KMU

Dem Themengebiet der Energieeffizienz wird von KMU sowie Handwerksbetrieben derzeit eher **wenig Beachtung** geschenkt. Dies hat mehrere Gründe. KMU haben für diesen Themenbereich weder hinreichend finanzielle noch personelle Ressourcen und sind mit der Abwicklung der täglichen Geschäfte bereits voll ausgelastet. So zeigt die Praxis, dass KMU meist nicht über ihren Energieverbrauch informiert sind und sie Referenzwerte zu ihren Energieverbräuchen in der Regel nur aus den Rechnungen der Energieversorger beziehen.[36] Dabei zeigt eine Studie, dass lediglich 16 % der befragten Unternehmen über ein **Energiemanagement-System** verfügt. Insbesondere bei den Kleinst- und Kleinunternehmen der Studie ist ein entsprechendes System nur bei 10 % bzw. 12 % integriert. Dabei schätzen 81 % der Unternehmen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz als vorteilhaft ein, wobei diese Bewertung positiv mit der Mitarbeiterzahl sowie dem Anteil der Energiekosten an den Gesamtkosten korreliert. [37, 38] Insgesamt zeigt die Studie, dass v.a. Kleinst- und Kleinunternehmen,

[33] Vgl. Hessel (2014), S. 47 - 48.
[34] Vgl. Hessel (2014), S. 48.
[35] Vgl. Hessel (2014), S.48.
[36] Vgl. Meyer (2013), S. 12 -15.
[37] Vgl. Eurochambers (2010), S. 6 - 10.
[38] Vgl. Runst (2016), S. 21 - 23.

wie die des Handwerks, auf Unterstützung durch Beratung im Bereich der Energieeffizienz angewiesen sind.

Die von KMU durchgeführten Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz können folgenden **Bereichen** zugeordnet werden: Gebäude, Querschnittstechnologien, Strom- und Wärmeerzeugung sowie Fuhrpark. Dabei zählen bei Handwerksbetrieben Investitionen in Maßnahmen rund um das Gebäude zu den häufigsten Ansätzen, gefolgt von Investitionen in Querschnittstechnologien und den Fuhrpark. Im Bereich der Strom- und Wärmeerzeugung sind Aktionen zur Effizienzsteigerung dagegen kaum zu verzeichnen.[39] Im Zusammenhang mit Maßnahmen zur Erneuerung der Gebäude ist anzumerken, dass sich diese insbesondere für Handwerksunternehmen, die Eigentümer ihrer Büroräume und Fertigungshallen sind, als vorteilhaft erweisen. Allerdings nutzen viele KMU ihre Gebäude lediglich zur Miete und schränken deshalb eigene Schritte zur Steigerung der Gebäudeeffizienz ein.[40]

Neben den bereits angesprochenen finanziellen und personellen Einschränkungen stoßen KMU an weitere Grenzen, die die **Umsetzung von Energieeffizienzmaßnahmen hemmen**. Diese beinhalten das technologische und finanzielle Risiko, das mit Investitionen in Energieeffizienzmaßnahmen einhergeht. Zudem liegen für die Investitionsentscheidung bzw. deren Rückflüsse oft nur unvollständige Informationen vor, was wiederum das finanzielle Risiko im Vorfeld erhöht. Sind Energieeffizienzmaßnahmen schließlich umgesetzt, kommt hinzu, dass die realisierten Gewinne infolge der Maßnahmen häufig schwer messbar sind. Neben den eigenen finanziellen Restriktionen kämpfen viele KMU ferner mit fehlendem Zugang zu Fremdkapital.[41]

2.3 Kennzahlen des Energiecontrollings

2.3.1 Definition und Anwendung allgemeiner Kennzahlen

„Kennzahlen sollen relevante Zusammenhänge in verdichteter, quantitativ messbarer Form wiedergeben“[42]. Entsprechend ihrer Ausprägung können Kennzahlen in absolute und in Verhältniszahlen unterschieden werden. **Absolute Kennzahlen** werden als einzelne Bestandsgröße (z. B. Anlagenbestand) oder als Summe bzw. Differenz angegeben. Den Vergleich von Größen ermöglichen **Verhältniskennzahlen**, die in Beziehungs-, Gliederungs- und Indexzahlen aufgegliedert werden können. **Beziehungszahlen** werden durch den Quotienten zweier unterschiedlicher Größen, wie beispielsweise der Rentabilität, die das Verhältnis des Gewinns zum eingesetzten Kapital darstellt, gebildet. Zu beachten ist, dass die eingesetzten Größen einen sachlichen Bezug zueinander vorweisen müssen, da sonst die Informationsfunktion der Kennzahl nicht gewährleistet ist. **Gliederungszahlen** messen den Anteil eines Postens an der Gesamtmenge. Dabei sind der Zähler und Nenner in der gleichen Einheit anzugeben. **Indexzahlen** definieren schließlich den Quotienten äquivalenter Zählergrößen zu einer Basisgröße. Die Zählergrößen weichen dabei in lokaler oder zeitlicher Relation von der Basisgröße ab. Diese Verhältniszahl wird in Preis- oder Kostenindikatoren, wie dem Lohnkostenindex, eingesetzt.[43]

Im Rahmen des Energiecontrollings und Benchmarkings werden Kennzahlen zur Analyse und Steuerung eingesetzt, wobei die **Analyse** u.a. auf einem **Zeitvergleich** basieren kann. Dabei werden die Energiekennzahlen des untersuchten Handwerksbetriebs im Zeitverlauf ausgewertet. Etwaige Abwei-

[39] Vgl. Runst (2016), S. 19 - 20.
[40] Vgl. Àlvarez (2013), S. 24.
[41] Vgl. Sorrell (2004), S. 55.
[42] Horvath (2011), S. 499.
[43] Vgl. Küpper et al. (2013), S. 471 - 472.

chungen können auf wechselnde Beschäftigungsgrade, modifizierte Betriebsabläufe oder aufgetretene Störungen hinweisen. Neben dem Zeitvergleich kann die Analysefunktion auch anhand eines **Querschnittsvergleichs** ablaufen. Dabei werden die Energiekennzahlen von ähnlichen Handwerksbetrieben oder vergleichbaren Maschinen gegenübergestellt. Wichtig beim Querschnittsvergleich ist, nur Kennzahlen zu kontrastieren, die innerhalb desselben festgelegten Zeitraums oder Zeitpunkts definiert sind. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit soll **das entwickelte Kennzahlensystem sowohl einen Zeitvergleich, also die Entwicklung der Energieeffizienz, als auch einen Querschnittsvergleich, d.h. das Benchmarking mit anderen Betrieben, ermöglichen**. Der Einsatz energierelevanter Kennzahlen zur **Steuerung** beruht letztlich auf den Erkenntnissen der vorangegangenen Analyse: Die mittels eines Zeit- oder Querschnittvergleichs erworbene Erfahrung bildet die Grundlage für die Definition zukünftiger Zielwerte. Auswirkungen einzelner Maßnahmen zur Steigerung der Effizienz können dann anhand eines Soll-Ist-Vergleichs bewertet werden.[44]

Bei der Nutzung von Energiekennzahlen sind allerdings auch deren Anwendungsgrenzen zu beachten. Zum einen können Fehler bei der Datenerfassung oder der Zusammenführung von Daten auftreten. Zum anderen ergeben sich Grenzen aus den Anforderungen des Kennzahlenvergleichs. Dieser muss nämlich unter Zugrundelegung desselben Zeitraumes und derselben Größen erfolgen sowie Einflussfaktoren berücksichtigen.[45] Letztere werden in Kapitel 3.1 näher erläutert.

2.3.2 Vorstellung von Kennzahlen zur Messung der Energieeffizienz

Bei der **Energieeffizienz** wird der nützliche Output eines Prozesses ins Verhältnis zum eingebrachten Energieinput gesetzt (vgl. Gleichung 1). Der nützliche Output kann in Energieoutput, in physikalischen Einheiten, wie den Tonnen eines Produktes, oder dem Marktpreis bewertet werden. Energieeffizienz bezieht sich somit darauf, denselben Output mit weniger eingesetzter Energie zu erreichen. Da die Energieeffizienz einen allgemeinen Begriff darstellt, liegt keine einheitliche Definition der Messgröße vor. Stattdessen ist der Einsatz verschiedener Kennzahlen erforderlich, damit Veränderungen erfasst werden können.[46]

$$Energieeffizienz^{47} = \frac{nützlicher\ Prozessoutput}{Energieinput\ des\ Prozesses}$$

Die **Messung von Energieeffizienz** kann anhand von thermodynamischen, physikalisch-thermodynamischen, wirtschaftlich-thermodynamischen und wirtschaftlichen Kennzahlen erfolgen. **Thermodynamische Kennzahlen** messen den In- und Output des Prozesses anhand des Wärmegehalts oder der potenziellen Arbeit. Da die Nutzer von Energiekennzahlen den Output jedoch nicht in diesen Einheiten bewerten, sind thermodynamische Kennzahlen nur in eingeschränktem Rahmen zur Evaluation der Effizienz geeignet und werden auch im Rahmen des entwickelten Kennzahlensystems dieser Studie nicht weiter verfolgt.

[44] Vgl. VDI (2014), S. 34 - 36.
[45] Vgl. Löffler (2011), S. 20.
[46] Vgl. Patterson (1996), S. 377.
[47] Vgl. Patterson (1996), S. 377.

Häufig wird die Energieeffizienz mit den als Hybride bezeichneten **physikalisch-thermodynamischen Kennzahlen** berechnet. Diese messen den Input weiterhin in thermodynamischen Einheiten, während der Output in physikalischen Einheiten angegeben wird. Die Messung in physikalischen Einheiten ermöglicht einen Zeitvergleich der Effizienz – so wie im Rahmen der vorliegenden Studie gewünscht – da die Einheiten fest definiert sind. Dies ist ein Vorteil gegenüber der Erfassung des Outputs in wirtschaftlichen Einheiten, denn der Marktwert eines Produkts verändert sich oftmals im Zeitverlauf. In der Industrie ist die Festlegung einer Einheit zur Messung des Outputs aufgrund der verschiedenen Produkte nicht möglich. Bei den physikalisch-thermodynamischen Kennzahlen ist deshalb eine Anpassung der Einheiten auf die entsprechende Branche vorzunehmen. Dazu werden die typischen Produkte einer Branche definiert und in Kilogramm oder Liter aufgeführt.[48] In diesem Zusammenhang kann auf die Einteilung nach dem NACE-Code[49] zurückgegriffen werden.[50] Dieser ordnet Unternehmen entsprechend ihrem Wirtschaftszweig zu und legt für diesen mittels des PRODCOM-Codes die typischen Produkte fest.[51] Die Messung der Effizienz anhand der produzierten Einheiten ist dann anzuwenden, wenn ein standardisiertes Produkt hergestellt wird. Bei der Herstellung von unterschiedlichen Produkten, die aus demselben Material gefertigt werden, ist hingegen der Materialeinsatz zu verwenden.[52]

In der Praxis wird die Effizienz meist in Form der Inversen des ursprünglichen Quotienten gemessen. Bei den physikalischen Kennzahlen ist die Messung der Effizienz anhand des **spezifischen Energieverbrauchs**, wie in Gleichung 2 definiert, die Regel. Tritt eine Effizienzsteigerung ein, spiegelt sich dies in der Abnahme des spezifischen Energieverbrauchs wider. Der Energieverbrauch wird dabei in Form der eingesetzten Primärenergie, der Endenergie oder der Nutzenergie bewertet[53], wobei im Rahmen dieser Arbeit auf die Primärenergie zurückgegriffen wird (vgl. Kapitel 2.1.2). Unter Vorgriff auf Kapitel 3.1 und 4.1 soll bereits an dieser Stelle der Arbeit eröffnet werden, dass der spezifische Energieverbrauch als **Spitzenkennzahl des entwickelten Kennzahlensystems zur Evaluation der Energieeffizienz von Handwerksbetrieben** fungiert.

$$Spezifischer\ Energieverbrauch^{54} = \frac{Energieverbrauch\ des\ Herstellungsprozesses}{Produktmenge\ in\ kg}$$

Die **wirtschaftlich-thermodynamischen Energieeffizienzkennzahlen** zählen, wie die physikalisch-thermodynamischen, zu den hybriden Kennzahlen. Der Energieinput wird weiterhin in thermodynamischen Einheiten gemessen. Der Output ist jedoch in Marktpreisen zu bewerten. Dadurch wird die Anwendung der Kennzahlen auf Produkt-, Sektor- oder Länderebene ermöglicht. Auf Länderebene ist beispielsweise der Quotient des Energieinputs und des Bruttoinlandsprodukts zur Bewertung der Energieeffizienz eines Landes weit verbreitet.[55] Im Rahmen des Kennzahlensystems der vorliegenden Arbeit erweist sich diese Kennzahl als nicht geeignet. Gleiches gilt für die **wirtschaftlichen Effizienzkennzahlen**, bei denen sowohl der Energieinput als auch der Output in Währungseinheiten bezif-

[48] Vgl. Patterson (1996), S. 378 - 381.
[49] NACE ist das Akronym aus „Nomenclature statistique des activités économiques dans la Communauté européenne“.
[50] Vgl. Eurostat (2008), S. 13.
[51] Vgl. Eurostat (o. J. a).
[52] Vgl. Löffler (2011), S. 14 - 15.
[53] Vgl. Phylipsen / Blok / Worrell (1997) S. 717.
[54] Vgl. Farla / Blok / Schipper (1997), S. 746.
[55] Vgl. Patterson (1996), S. 381

fert wird.[56] Insofern bilden beide Kennzahlen damit eher die Effizienz einer Wirtschaft als eines Unternehmens ab.[57]

Neben der Produktmenge, dem Rohstoffeinsatz oder der Wertschöpfung können die Mitarbeiter oder der Umsatz als Bezugsgröße zur Bewertung der Energieeffizienz dienen. Die direkte Mitarbeiterzahl ist für den Vergleich der Energieeffizienz jedoch nur bedingt geeignet: Um repräsentative Ergebnisse zu erhalten, sollten die Handwerksbetriebe besser in Gruppen eingeteilt werden.[58] Für die Klassifizierung der Betriebe entsprechend der Zahl ihrer Beschäftigten wird im Rahmen dieser Arbeit vorgeschlagen, die Unternehmen nach den Größenklassen der EU-Kommission[59] einzteilen. Hier sind KMU entsprechend ihrer Mitarbeiterzahl einer von drei Gruppen zugewiesen (vgl. Tabelle 1).

Unternehmensgröße	Zahl der Beschäftigten	und	Umsatz €/Jahr	oder	Bilanzsumme €/Jahr
kleinst	bis 9		bis 2 Millionen		bis 2 Millionen
klein	bis 49		bis 10 Millionen		bis 10 Millionen
Mittel	bis 249		bis 50 Millionen		bis 43 Millionen

Tabelle 1: Größenklassen der KMU[60]

Der direkte Umsatz als Bezugsgröße ist ebenfalls nur eingeschränkt für den Unternehmensvergleich geeignet. Wird für die Produktion z. B. eine große Anzahl an Vorleistungen benötigt oder vertreibt der Handwerksbetrieb ausschließlich Handelswaren, so spiegelt der Umsatz nicht den für die Herstellung benötigten Energieverbrauch wider.[61] Deshalb wird er im Rahmen der vorliegenden Studie als Bezugsgröße verworfen.

[56] Vgl. Patterson (1996), S. 378.
[57] Vgl. Patterson (1996), S. 382.
[58] Vgl. Löffler (2011), S. 14 - 15.
[59] Vgl. EU-Kommission (2003), L124/39.
[60] Eigene Tabelle in Anlehnung an Institut für Mittelstandsforschung (o. J. b).
[61] Vgl. Löffler (2011), S. 14 - 15.

3 Kennzahlensysteme für das Benchmarking von Handwerksbetrieben

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein Kennzahlensystem zur Messung und zum Vergleich der Energieeffizienz von Handwerksbetrieben entwickelt werden. Wie bereits in Kapitel 2.3.1 erwähnt, soll dabei sowohl der unternehmensinterne Zeitvergleich als auch das Benchmarking mit anderen Handwerksbetrieben ermöglicht werden. Im Fokus dieses Kapitels steht deshalb, welche zentralen Anforderungen das Kennzahlensystem erfüllen muss, wie der Ablauf des Benchmarkings erfolgen könnte und welche Aspekte für den Unternehmensvergleich berücksichtigt werden sollten. Dazu werden die bereits existierenden Systeme „Energy Star“ sowie „Benchmarking and Energy Management Schemes in SMEs (BESS)“ auf deren Eignung für den Vergleich der Energieeffizienz zwischen Handwerksbetrieben überprüft.

3.1 Definition von Kennzahlensystemen

Kennzahlensysteme entstehen durch das **Verknüpfen von in Verbindung zueinander stehenden Kennzahlen** und dienen der Informationsbereitstellung im Hinblick auf eine konkrete Fragestellung. Innerhalb des Systems ist die Definition der **Spitzenkennzahl** von herausragender Bedeutung, da sie die zentrale Aussage des Gesamtsystems widergibt.[62] Entsprechend der Aufgabenstellung der vorliegenden Arbeit muss die Spitzenkennzahl somit die Energieeffizienz der teilnehmenden Handwerksbetriebe repräsentieren und in Relation zueinander setzen.

Weiterhin sollte das Kennzahlensystem durch eine **einfache und klare Struktur** gekennzeichnet sein, die sich in einem hierarchischen Aufbau ausdrückt. Dieser zeigt, wie sich eine Kennzahl in die weiteren Ebenen aufteilt bzw. sich die einzelnen Kennzahlen zusammensetzen. Die hierarchische Struktur ermöglicht ferner die Analyse der Ursachen, wenn sich Werte einzelner Kennzahlen innerhalb des Systems ändern. Insgesamt wird durch eine einfache und klare Systemstruktur verhindert, dass das System für den Anwender zu komplex wirkt. Zur Erfüllung dieser Anforderung muss das System den Einfluss eines Unternehmensbereichs auf den Unternehmenswert anhand einer möglichst kleinen Anzahl von Kennzahlen aufzeigen.[63]

Zur Sicherstellung der **Akzeptanz** des entwickelten Kennzahlensystems ist die Einbeziehung der Anwender mittels einer partizipativen Herleitung von großer Bedeutung. Im Hinblick auf die Steuerungsfunktion, die das Kennzahlensystem erfüllen soll, erscheint die Zusammenarbeit mit den Benutzern zudem erforderlich, da ihr Verständnis für die Zusammenhänge für das Erreichen der Zielwerte notwendig ist. Außerdem kann das Kennzahlensystem dabei praktisch getestet und adaptiert werden.[64] Hierbei ist die Abstimmung des Systems auf die Situation in den Handwerksbetrieben entscheidend. Wie in Kapitel 2.2 vorgestellt, sind die Unternehmen allerdings auf ein externes Benchmarking zur Definition von Erfolgszielen angewiesen. Das im Rahmen dieser Arbeit zu entwickelnde Kennzahlensystem soll deswegen **den Vorgaben des Energieeffizienz-Benchmarkings nach DIN EN 16231 entsprechen**. Der Ablauf des Benchmarkings wird in Kapitel 3.2 näher erläutert.

Außerdem muss der zur Verfügung stehende Datenbestand über die Energieverbräuche der Handwerksbetriebe bei der Entwicklung des Kennzahlensystems beachtet werden. Wie in Kapitel 2.3.1 erläutert, müssen bei einem Kennzahlenvergleich die **Einflussfaktoren** berücksichtigt werden, um daraus Anforderungen an das Kennzahlensystem ableiten zu können. Die **VDI 4661** definiert die Ein-

[62] Vgl. Horvath (2011), S. 500 - 501.
[63] Vgl. Küpper et al. (2013), S. 480 - 481.
[64] Vgl. Küpper et al. (2013), S. 481 - 482.

flussfaktoren für die Energieeffizienz von Anlagen und soll deshalb für die vorliegende Studie zugrunde gelegt werden. Zudem können die darin enthaltenen Faktoren auf den Unternehmens- und Betriebsvergleich übertragen werden. Nachfolgend wird auf die in der VDI 4661 aufgeführten Einflussfaktoren detailliert eingegangen: Anlagengröße, Auslastung der Anlage, Bilanzgrenzen, Produktqualität, Art und Qualität der Rohstoffe und Energieträger sowie Umwelteinflüsse (z. B. Witterung).[65]

Bilanzgrenzen stehen dabei für das Zeitintervall und den Bilanzraum, in dem die Erfassung der Energie- und Stoffflüsse sowie die Bewertung der Energieeffizienz stattfinden. Sie dienen zur eindeutigen und abgrenzbaren Bewertung des Aufwands und des Nutzens.[66] Der Bilanzraum, d.h. in die Bewertung einbezogene Bereiche, kann dabei von einzelnen Maschinen bis zum ganzen Handwerksbetrieb reichen. Für die Beurteilung der Effizienz eines Bilanzraums ist die Definition der Prozesse sowie der Hilfs- und Zusatzanlagen, die darin enthalten sind, notwendig. Für den Vergleich mehrerer Systeme müssen innerhalb des Bilanzraums die gleichen Prozesse oder Anlagen vorliegen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, können sich Fehlinterpretationen im Hinblick auf die Energieeffizienz ergeben. Weiterhin ist beim Vergleich der Anlagen die vorherige und nachfolgende Bearbeitung von Stoffen und Produkten getrennt zu erfassen, da diese die Effizienz der Anlage beeinflussen. In Abbildung 2 sind mögliche Bilanzgrenzen einer Anlage veranschaulicht.[67]

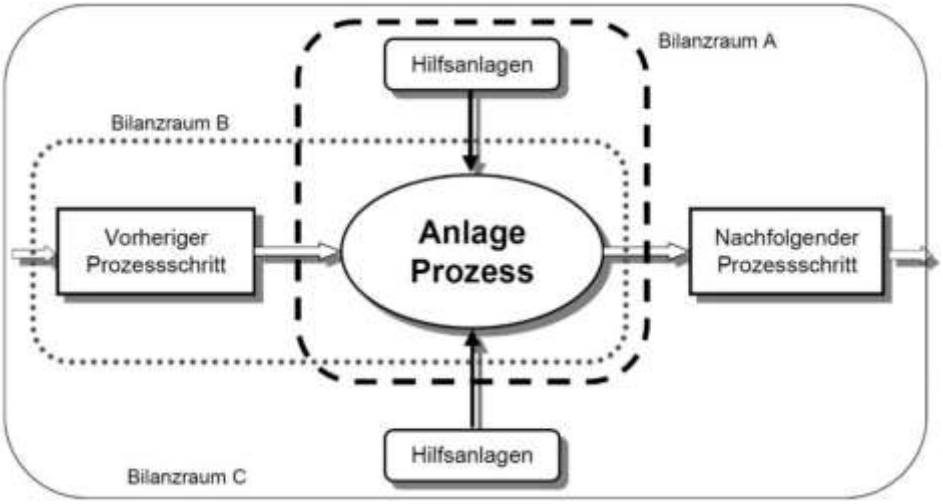


Abbildung 2: Mögliche Bilanzgrenzen einer Anlage[68]

Wie bereits erwähnt, hat auch die **Anlagengröße** Auswirkungen auf die Energieeffizienz. Im Vergleich zu kleineren verfügen größere Anlagen über einen höheren Wirkungsgrad. Zwar ist der Gesamtenergieverbrauch von größeren Anlagen höher, jedoch verursachen sie im Vergleich zu kleineren Anlagen weniger Verluste.[69]

Die Auslastung der Anlage ist beim Vergleich des spezifischen Energieverbrauchs ebenfalls zu berücksichtigen. Hierfür ist die Aufteilung des Energieverbrauchs einer Anlage in einen Grundbedarf und einen an die Auslastung gekoppelten Verbrauch verantwortlich. Grundsätzlich nimmt das Ver-

[65] Vgl. VDI (2014), S. 39.
[66] Vgl. Miller / Bubeck / Hufendiek (2016), S. 110.
[67] Vgl. Layer et al. (1999), S. 26 - 27.
[68] Layer et al. (1999), S. 27.
[69] Vgl. Layer et al. (1999), S. 18.

hältnis zwischen Grundbedarf und Gesamtbedarf mit zunehmender Auslastung der Anlage ab. Dadurch wird der spezifische Energiebedarf bei steigender Auslastung hyperbolisch kleiner.[70] Ein Handwerksbetrieb kann also bei gleicher eingesetzter Technologie, aber höherer Auslastung, einen geringeren spezifischen Energieverbrauch erzielen. Bei einer niedrigen Auslastung könnte ein Betrieb dagegen trotz modernster Maschinen einen schlechteren Wert des spezifischen Energieverbrauchs aufweisen. Grund hierfür ist, dass modernere Maschinen einen höheren Grundbedarf haben. Dadurch nimmt bei ebenjenen Anlagen zwar der spezifische Energieverbrauch mit steigender Auslastung stärker ab, kann allerdings bei Unterauslastung im Vergleich zu älteren Anlagen trotzdem einen unvorteilhafteren spezifischen Energieverbrauch hervorbringen.[71]

Die Energieeffizienz einer Anlage ist weiterhin von der **Produktqualität** abhängig. Weist ein Produkt eine höhere Qualität auf, steht dies mit einer längeren Bearbeitungsdauer und / oder einem höheren Bedarf an Energieträgern zur Fertigung in Verbindung. Die Beschaffenheit der Energieträger nimmt wiederum anhand unterschiedlicher Heizwerte oder chemischer Zusammensetzungen Einfluss auf die Energieeffizienz.

Klimatische Bedingungen stellen ebenfalls einen Einflussfaktor auf die Energieeffizienz von Handwerksbetrieben dar. Deshalb ist die Messung der Effizienz einer Anlage grundsätzlich zu unterschiedlichen Jahreszeiten durchzuführen.[72] Da ein Unternehmensvergleich allerdings innerhalb eines festgelegten Zeitraums stattfindet, ist die Effizienz in diesem Falle nicht von der Jahreszeit abhängig. Dennoch sollte das Klima bei Unternehmensvergleichen gesondert berücksichtigt werden. Auf Werksebene beeinflusst das Klima vorwiegend die Gebäude der Unternehmen, falls sich diese an unterschiedlichen Standorten befinden. Nach Runst (2016) umfassen Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz bei Gebäuden die Dämmung, den Austausch der Fenster sowie die Erneuerung der Heizungsanlage.[73] Eine Ineffizienz in diesem Bereich wirkt sich deshalb vorwiegend auf den Heizungsverbrauch aus, der von der Außentemperatur abhängt.

Der Einfluss der Außentemperatur auf den Heizungsverbrauch kann über **Gradtage** korrigiert werden. Die Gradtage werden in der VDI 4710, Blatt 2 definiert. Beim Bezug auf den Heizungsverbrauch in Gebäuden werden jedoch die Formeln der VDI 3807, Blatt 1 verwendet. Ein Gradtag ist demnach die Differenz zwischen einer angenommenen Raumtemperatur von 20 °C und der durchschnittlichen Außentemperatur eines Tages. Bei der Ermittlung der Gradtage ist zu berücksichtigen, dass Gradtage erst berechnet werden, sobald die durchschnittliche Außentemperatur unter 15 °C fällt. Die Gradtage des Betrachtungsraums werden anschließend addiert und ermöglichen somit den Vergleich des Heizungsverbrauchs von Gebäuden an verschiedenen Orten. Die Gradtage werden dabei mit den Gradtagen von Würzburg normalisiert, da diese dem Mittelwert der Bundesrepublik entsprechen.[74]

3.2 Ablauf des Energieeffizienz-Benchmarkings

Das im Rahmen dieser Arbeit angestrebte Energieeffizienz-Benchmarking soll den Vergleich ausgewählter Prozesse eines Handwerksbetriebes mit den äquivalenten Abläufen anderer Unternehmen ermöglichen. Verfügt der Handwerksbetrieb über mehrere Standorte, wird ein **betriebsinterner Vergleich** der Werke durchgeführt. Anhand des Benchmarkings wird der Betrieb auf mögliche Ver-

[70] Vgl. Layer et al. (1999), S. 21 - 22.
[71] Vgl. Layer et al. (1999), S. 25.
[72] Vgl. Layer et al. (1999), S. 28.
[73] Vgl. Runst (2016), S. 19.
[74] Vgl. VDI (2013), S. 10 - 14.

besserungen im Prozessablauf hingewiesen. Beim **externen Benchmarking** ist ein Vergleich mit dem Branchenbesten üblich. Weiterhin wird der Ablauf des Benchmarkings wesentlich durch die passende Wahl der Vergleichskennzahlen beeinflusst. Diese müssen beim externen Benchmarking von Unternehmen vorliegen, mit denen die Werke des interessierenden Handwerksbetriebs gut verglichen werden können. Ist für das Benchmarking die Weitergabe sensibler Daten notwendig, schränkt sich die Teilnahmebereitschaft sowohl von teilnehmenden als auch von Vergleichsbetrieben ein. Die Einteilung der Vergleichsunternehmen in Größenklassen sowie die anonyme Behandlung der Daten wirkt der eingeschränkten Teilnahmebereitschaft entgegen.[75]

Bei der Durchführung des Energieeffizienz-Benchmarkings orientiert sich die vorliegende Arbeit an den **fünf Schritten** der DIN EN 16231 (vgl. Abbildung 3). Handwerksbetrieben wird anhand dieser Norm ein Konzept zur Erfassung und Analyse von Energiedaten vorgegeben, das den Vergleich der Effizienz zwischen Systemen ermöglicht. Das Benchmarking basiert auf der Gegenüberstellung einzelner Anlagen, Prozesse, Produkte oder Organisationen anhand des spezifischen Energieverbrauches und steht dabei mit dem Energiemanagement und den Energieaudits in Verbindung.[76]

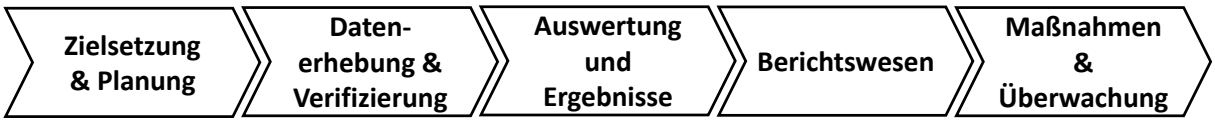


Abbildung 3: Ablauf des Energieeffizienz-Benchmarkings[77]

Die Norm legt einige Mindestanforderungen für die Durchführung des Benchmarkings fest. Übertragen auf das entwickelte Kennzahlensystem ist dabei vor allem die Festlegung der Zielgruppe, der Einheiten und der Grenzen des Benchmarkings zu beachten. Ein weiterer Punkt für das Kennzahlensystem ist die zuverlässige Datenerfassung und die Validierung der Ergebnisse. Für den Ablauf des externen Benchmarkings sind zudem ein Koordinator und dessen Funktionen zu bestimmen. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit könnte dies durch einen Berater der Handwerksorganisation erfolgen, der die gesammelten Daten in Form einer Datenbank zentral verwaltet und für Benchmarking-Anfragen entweder direkt an Betriebe oder Kollegen einzelner Handwerkskammern oder Fachverbände weitergibt. Die explizite Ausführung der einzelnen Schritte zur Durchführung des Energieeffizienz-Benchmarkings kann detailliert mittels der Norm in Erfahrung gebracht werden.[78] Im Rahmen dieser Arbeit sollen lediglich die für die Entwicklung des Kennzahlensystems erforderlichen Punkte der fünf Schritte aus der DIN-Norm herausgearbeitet und kurz erläutert.

Innerhalb **der Zielsetzung und Planung** werden im ersten Schritt das Ziel (z. B. Aufbau eines Energie-Benchmarking-Tools), die Art und der Anwendungsbereich des Benchmarkings (z. B. für Handwerksbetriebe bestimmter Gewerke oder Regionen) festgelegt. Abgestimmt auf diese Spezifizierungen muss ermittelt werden, welche Unternehmen (Eigenschaften, Produkte, eingesetzte Techniken) als Vergleichsbetriebe fungieren können. Im Hinblick auf das Kennzahlensystem sind die Methoden zur Datenerfassung für die teilnehmenden Betriebe sowie die Vergleichsunternehmen unter Berücksichtigung des Ziels, der teilnehmenden Handwerksbetriebe und der finanziellen Mittel zu definieren. Außerdem ist die Auswahl möglicher Korrekturfaktoren vorzunehmen. Im zweiten Schritt übermittelt der

[75] Vgl. Waltenberger (2005), S. 342.
[76] Vgl. DIN (2012), S. 4.
[77] Eigene Abbildung in Anlehnung an DIN (2012), S. 4.
[78] Vgl. DIN (2012), S. 9 - 11.

am Benchmarking teilnehmende Betrieb die erforderlichen **Daten**, die auf deren Vollständigkeit und Angemessenheit zu **prüfen** sind. Zudem sind die Korrekturfaktoren auf deren Anwendbarkeit hin zu untersuchen. Im dritten Schritt werden die **Ergebnisse** des Benchmarkings **generiert**. Dabei muss sichergestellt werden, dass die Vergleiche aussagekräftig sind. Ist dies nicht der Fall, ist die Erfassung weiterer Daten – entweder im Hinblick auf den teilnehmenden Betrieb oder im Hinblick auf den Pool an Vergleichsbetrieben – vorzunehmen. Weitere Aufgabe der Auswertung ist die Ermittlung der besten Energieeffizienz bei gegebenen Bedingungen. Dazu sind Schaubilder oder Diagramme anzufertigen. Im vierten Schritt sind die **Korrekturfaktoren** zu **erklären**.[79] Der Schritt „**Maßnahmen und Überwachung“** ist wahlweise vorzunehmen und beinhaltet die Durchführung und Kontrolle der Effizienzmaßnahmen.[80]

3.3 Vorstellung bestehender Systeme zur Bewertung der Energieeffizienz und Ableitung von Orientierungshilfen für die Entwicklung des Kennzahlensystems dieser Arbeit

Kennzahlen zur Bewertung der Energieeffizienz sind bisher hauptsächlich für den Vergleich auf Länder- oder Sektorenebene ausgelegt. **Nur wenige Studien** betrachten das Benchmarking und die Kennzahlen für die Messung der Energieeffizienz auf Unternehmens-, Werks- oder Prozessebene. Hinzu kommt, dass für übergeordnete Stufen entwickelte Kennzahlen nicht direkt für den Vergleich auf Unternehmensebene anwendbar sind.[81] Auch die Industrie äußert daher den Bedarf an Kennzahlen zur Bewertung der Energieeffizienz auf Werks- oder Prozessebene[82] und fordert diesbezüglich vermehrte Forschungstätigkeit[83].

Um diese Forschungslücke zu schließen, wurden speziell für die Messung der Energieeffizienz angepasste Kennzahlen entwickelt, die den Zusammenhang zwischen den Produktionszuständen und den Energieverbräuchen abbilden. Diese Kennzahlen sind auf die Maschinenebene ausgelegt, was sich für Handwerksbetriebe als problematisch darstellt, denn dort stehen Energiedaten überwiegend nur auf Werksebene zur Verfügung.[84] Ein weiterer Stolperstein bei den bisherigen Verfahren zur Bewertung der Energieeffizienz ist die Ausrichtung auf die Großserienproduktion: Diese berücksichtigt nicht die vielfältigen Prozesse und Produkte bei der Herstellung kleiner Serien – so wie es in Handwerksbetrieben der Fall ist. [85]

Für das Benchmarking existieren bisher die Methoden der DIN 16231 (vgl. Kapitel 3.2), des Energy Stars und des BESS. Der **Energy Star** ist ein von der „US Environmental Protection Agency“ initiiertes Projekt zur Steigerung der Energieeffizienz. Im Rahmen dieses Projekts werden industriespezifische Energy Performance Indicators (EPI) zur Verfügung gestellt, die für das **Benchmarking auf Unternehmens- bzw. Werksebene** eingesetzt werden können. Der Indikator berücksichtigt die Relation zwischen dem Energiebedarf, der Auslastung, den hergestellten Produkten, den Rohstoffen sowie externen Faktoren. Dadurch wird der geringstmögliche Energieverbrauch auf Industrieebene (z. B. für die Automobil- oder Zementherstellung) ermittelt, welcher als Basiswert festgelegt wird. Der geringstmögliche Verbrauch beruht auf der stochastischen „Frontier Analyse“, die von Boyd (2005)[86] entwickelt wurde. Bei Anwendung des Energy Stars und der EPIs wird einem Unternehmen seine

[79] Vgl. DIN (2012), S. 9 - 11.
[80] Vgl. DIN (2012), S. 5.
[81] Vgl. Bunse et al. (2011), S. 671.
[82] Vgl. Bunse et al. (2011), S. 675.
[83] Vgl. May et al. (2013), S. 264.
[84] Vgl. May et al. (2015), S. 49 - 58.
[85] Vgl. Tan / Tjandra / Song (2015), S. 121.
[86] Vgl. Boyd (2005), S. 51 - 65.

prozentuale Abweichung gegenüber dem geringstmöglichen Energieverbrauch der Industrie angezeigt.[87] Eine Problematik des Energy Stars liegt jedoch im Standardfehler des Regressionskoeffizienten, der Ungenauigkeiten von +/- 35 Punkten in der Bewertung hervorruft. Dies verhindert letztlich eine aussagekräftige Evaluation der Energieeffizienz des Unternehmens und schränkt die Ableitung von Maßnahmen ein.[88] Im Hinblick auf die vorliegende Arbeit ist zudem die Fokussierung der EPIs auf Industrieunternehmen – und somit die Massenproduktion – als kritisch zu beurteilen. Zwar berücksichtigt der EPI die Einflussfaktoren aus der VDI 4661, doch die Anwendung des Energy Star ist aufgrund der unterschiedlichen Abläufe in Handwerksbetrieben fraglich. Der Energy Star wird deshalb für die Erstellung des Kennzahlensystems im Rahmen dieser Studie nicht weiter berücksichtigt.

Das **BESS-Projekt** liefert ein Konzept für das Benchmarking und das Energiemanagement, das für alle Industrien anwendbar ist. In seiner Einführungsphase, die elf Länder und 60 Unternehmen umfasste, wurde insbesondere die Lebensmittel- und Getränkeindustrie angesprochen, die mit einer Produktion von 600 Milliarden Euro einen bedeutenden Wirtschaftszweig darstellt, der aber auch überwiegend aus KMU besteht.[89] Eine Erweiterung des BESS stellt das „Expansion of the – BESS" (**Ex-BESS**) dar, in dem die Methoden des BESS-Projektes in weiteren Ländern eingesetzt wurden.[90] Für das Benchmarking stehen nach dem Ausbau 213 Unternehmen aus 7 verschiedenen Branchen zur Verfügung.

Das BESS-Projekt legt die für eine Branche **typischen Produkte** fest. Die Produkte werden dabei aus dem PRODCOM-Code entnommen (vgl. Kapitel 2.3.2). Für das Benchmarking übermitteln die teilnehmenden Unternehmen ihre Produktionsmenge sowie den jährlichen Energieverbrauch auf Werksebene an eine für die Datenermittlung eines Landes beauftragte Person. Dieser nationale Vertreter evaluiert und anonymisiert die Daten. Anschließend können die Unternehmen ihren **spezifischen Energieverbrauch** auf einer Web-Plattform vergleichen. Der spezifische Energieverbrauch kann mittels optionaler **Korrekturfaktoren** (Klima, Auslastung der Anlage, produzierte Produkte sowie Kesselwirkungsgrad) auf individuelle Unternehmenseigenschaften angepasst werden. Obwohl die Korrekturfaktoren wahlweise angegeben werden können, empfiehlt das BESS-Projekt, die erforderlichen Daten zu übermitteln, da so die Aussagekraft der Ergebnisse erhöht werden kann. Unternehmen, die ihre Daten nicht übertragen möchten, können diese temporär in der Web-Plattform eintragen und so mit den anderen Unternehmen vergleichen. Auswertung zeigen, dass die teilnehmenden Unternehmen häufig die Daten für die Korrektur des Produkt-Mixes und des Kesselwirkungsgrads übermitteln, während sie nur selten die Korrektur des Klimas oder der Auslastung vornehmen.[91]

Insgesamt beurteilen teilnehmende Unternehmen das BESS-Projekt positiv und dessen Web-Plattform als nutzerfreundlich.[92] Das BESS-Projekt (und die Erweiterung) stellt eine gute Grundlage für die Entwicklung des Kennzahlensystems dieser Arbeit dar, da für das Benchmarking die Bedürfnisse von KMU berücksichtigt werden. So kann der spezifische Energieverbrauch auf Werksebene ermittelt und auf verschiedene Produkte innerhalb einer Branche angepasst werden kann. Die Übermittlung der Unternehmensdaten an einen Beauftragten aus der Handwerksorganisation zur Evaluation und Anonymisierung der Daten ist für das externe Benchmarking notwendig und wird auch bei der Umsetzung des vorliegenden Kennzahlensystems vorgeschlagen. Ebenfalls könnte eine Web-Plattform zur Darstellung der Ergebnisse eingerichtet werden.

---

[87] Vgl. Boyd / Dutrow / Tunnessen (2008), S. 709 - 711.
[88] Vgl. Scofield (2014), S. 279.
[89] Vgl. Wajer / Helgerud / Lackner (2007), S. 1574.
[90] Vgl. Tajthy (2009), S. 4.
[91] Vgl. Tajthy (2009), S. 18 - 19.
[92] Vgl. Wajer / Helgerud / Lackner (2007), S 1578 - 1580.

Die bereits angesprochenen Korrekturfaktoren des BESS konzentrieren sich auf wenige notwenige Unternehmensdaten, verhelfen aber zu einer genaueren Aussage im Hinblick auf die Energieeffizienz. Die Datenauswertung im Rahmen des BESS-Projektes zeigte, dass die erforderlichen Daten für den Produkt-Mix und den Kesselwirkungsgrad bei Unternehmen verfügbar sind und auch weitergegeben werden. Die Korrektur des Kesselwirkungsgrads wird allerdings nicht im Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit integriert, da sie nach der VDI-Norm nicht gefordert wird. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird jedoch insbesondere versucht, dass die Klima- und Auslastungskorrekturen, die bisher von Unternehmen nur selten durchgeführt werden, auf Basis leichter zu ermittelnder Daten vorgenommen werden können. Auf dies wird im folgenden Kapitel näher eingegangen

4 Vorstellung der entwickelten Kennzahlen dieser Arbeit

4.1 Zielsetzung und Planung

Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung eines Kennzahlensystems, das die Energieeffizienz von Handwerksbetrieben über die Zeit bewertet und mittels eines externen Benchmarkings vergleicht. Dabei muss die Situation in Handwerksbetrieben, wie in Kapitel 2.2 vorgestellt, beachtet werden. Diese hat Auswirkungen auf den Aufbau des Systems sowie die Festlegung der für das Benchmarking einbezogenen Daten. Wie bereits erläutert, sind Informationen über die Energieverbräuche in der Regel nur auf Werksebene vorhanden. Zudem können Handwerksbetriebe keinen vorhandenen bzw. zusätzlichen Mitarbeiter mit der Datenerfassung beauftragen. Das Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit muss deshalb auf einer **einfachen und klaren Struktur** basieren, sodass die erforderlichen **Daten ohne großen Aufwand** ermittelt und übertragen werden können. Für die Durchführung des **externen Benchmarkings** muss das Kennzahlensystem sicherstellen, dass nur **ähnliche Unternehmen** miteinander verglichen werden, das Benchmarking aber gleichzeitig **anonym** ablaufen kann.

Für das zu entwickelnde Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit wird der **spezifische Energieverbrauch** zur Erfüllung des Ergebnisziels – und nicht die Energieintensität – ausgewählt. Der spezifische Energieverbrauch besitzt gegenüber der Energieintensität (vgl. Kapitel 2.3.2) den Vorteil, dass er über die Zeit beständig ist und nicht von Preisveränderungen beeinflusst wird. Dies ermöglicht die Messung der Energieeffizienz über einen festgelegten Zeitraum und hilft bei der Bewertung von Maßnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz. In Studien zur Energieeffizienz von KMU wird die Messung anhand zusätzlicher Energiekennzahlen, wie dem Energieverbrauch pro Mitarbeiter oder je nach beheizter Betriebsfläche, vorgeschlagen. Dadurch können die Ursachen für verschiedene Bewertungsergebnisse analysiert werden.[93] Bei der Erstellung des Kennzahlensystems im Rahmen dieser Arbeit wird jedoch der spezifische Energieverbrauch als **alleiniger Maßstab für die Bewertung der Energieeffizienz** herangezogen, da Unterschiede der Unternehmen durch die **Berücksichtigung der Einflussfaktoren** bereinigt werden. Letztlich werden die Unternehmen im Kennzahlensystem also entsprechend ihrer individuellen Faktoren miteinander verglichen.

Im Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit ist der Energieverbrauch in **Primärenergieeinheiten** zu messen, sodass die verschiedenen Energieträger der Endenergie miteinander vergleichbar sind. Wie in Kapitel 2.3.2 aufgezeigt, empfiehlt die Literatur bei unterschiedlichen Produkten den Rohstoffeinsatz als physikalische Einheit für die Berechnung des spezifischen Energieverbrauchs zu verwenden. Für das Kennzahlensystem wird dennoch die **Produktmenge** statt dem Rohstoffeinsatz herangezogen, da in vielen Branchen kein einheitlicher Rohstoffeinsatz messbar ist. Dies wird am späteren Praxisbeispiel einer Kfz-Werkstatt in Kapitel 5.3 deutlich. Zudem ist die Ermittlung der Korrekturfaktoren für die Produktqualität auf Produktebene leichter durchzuführen.

Weiterhin ist der Geltungsbereich für die Durchführung des Benchmarkings zu definieren. Die gerade empfohlene Messung in Produkteinheiten erfordert eine **gewerkespezifische Eingrenzung** bei der Anwendung des Unternehmensvergleichs. Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, muss der Nenner des spezifischen Energieverbrauchs auf die Branche bzw. das Gewerk angepasst werden. Dies ist auch für die Ermittlung der eingesetzten Technik erforderlich. Hier werden die Unternehmen entsprechend ihrer Produkt- und Technikeigenschaften anhand der NACE-Klassifizierung unterschieden. Dies stellt sicher, dass innerhalb einer Benchmarking-Gruppe nur Handwerksbetriebe mit vergleichbaren Produkten und Maschinen gegenübergestellt werden.[94] Die Ermittlung der Eigenschaften ist dabei für jede

[93] Vgl. Kapusta (2010), S. 76.
[94] Vgl. Ratjen et al. (2013), S. 124.

Gruppe separat durchzuführen. Eine geographische Beschränkung des Effizienz-Benchmarkings wird nicht benötigt.

Für das entwickelte Kennzahlensystem stellen die Abrechnungen der Energieversorger sowie die Werte der Bilanz und GuV bzw. der Kostenrechnung die **Verfahren zur Datenerhebung** dar. Die Rechnungen sind gemäß Kapitel 2.1.2 für den Werksvergleich geeignet, die Werte der Kostenrechnung fließen für die Korrektur der Produktionsmenge ein. Durch die jährlichen Abrechnungen ist der Zeitraum des Benchmarkings auch automatisch auf einen jährlichen Turnus festgelegt.

Zur Berücksichtigung der **individuellen Eigenschaften der Handwerksbetriebe** sind die Einflussfaktoren der VDI 4661 bei der Bewertung der Energieeffizienz im Kennzahlensystem zu berücksichtigen (vgl. Kapitel 3.1). Vor der Durchführung des Benchmarkings ist zu prüfen, ob homogene Gruppen von Handwerksbetrieben gebildet werden können. Bei einer exakten Festlegung der Benchmarking-Grenzen werden keine Korrekturfaktoren benötigt, jedoch werden die teilnehmenden Unternehmen die vorgegebenen Grenzen nie exakt einhalten können. Die daraus resultierenden Abweichungen können geduldet oder angepasst werden. Sollten Korrekturfaktoren eingesetzt werden, ist deren Generierung von den vorhandenen finanziellen Ressourcendes Benchmarking-Anbieters abhängig, da zur Ermittlung der Faktoren die Auswirkungen der Einflussgrößen auf den spezifischen Energieverbrauch ermittelt werden müssen. Zudem kann die Einführung von Korrekturfaktoren dazu führen, dass Effizienzsteigerungen nicht nachweisbar sind. Beispielsweise ist hierbei die Korrektur der Anlagenauslastung zu nennen. Wird eine Anlage überwiegend im Teillastbereich betrieben, könnten Verbesserungen, die aus einer angepassten Prozessteuerung und damit einer höheren Auslastung resultieren, ausgeblendet werden.[95] Weiterhin ist zu beachten, dass die entsprechend der verschiedenen Einflussfaktoren gebildeten Vergleichsgruppen eventuell nur noch wenige Vergleichsunternehmen beinhalten können, je nachdem, wie viele Einflussfaktoren letztlich berücksichtigt werden. Für das zu entwickelnde Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit werden sowohl die Gruppierung als auch die Korrekturfaktoren einbezogen.

4.2 Datenerhebung und -verifizierung

Entsprechend dem zweiten Schritt der DIN EN 16231 sind die für das Kennzahlensystem erforderlichen Daten vom Berater der Handwerksorganisation zusammen mit dem Unternehmen auf deren Vollständigkeit und Angemessenheit zu prüfen. Außerdem muss beleuchtet werden, ob die Einflussfaktoren im Kennzahlensystem berücksichtigt werden sollen. Für den Werksvergleich ohne Korrekturfaktoren sind die Abrechnungen der Energieverbräuche und die Anzahl der verkauften Produkte zunächst ausreichend und angemessen. Die Korrektur der Anlagen- bzw. Unternehmensgröße mittels Korrekturfaktoren ist im Kennzahlensystem nicht durchzuführen. Allerdings sollten Handwerksbetriebe entsprechend ihrer Unternehmensgröße (nach Mitarbeiterzahl – vgl. Tabelle 1) gesondert hinsichtlich ihrer Energieeffizienz beurteilt werden und zu ihrer Größe passende Vergleichsbetriebe zugewiesen bekommen.[96]

Eine weitere Möglichkeit, Handwerksbetriebe entsprechend ihrer Größe zu unterscheiden, stellt die **Produktionsmenge** dar. Diese Einteilung von Handwerksbetrieben erscheint für die direkte Aufnahme in das Kennzahlensystem dieser Arbeit (vgl. Abbildung 5) als sinnvoll, wie Abbildung 4 am Praxisbeispiel einer Bäckerei verdeutlicht. Die Betriebe sind entsprechend der Menge an verarbeitetem

[95] Vgl. Ratjen et al. (2013), S. 3 - 4.
[96] Vgl. Ratjen et al. (2013), S. 124.

Mehl in drei Größenklassen gegliedert, wobei die Kreise den Mittelwert des spezifischen Energieverbrauchs einer jeweiligen Größenklasse und die Rauten die individuellen Daten der Unternehmen darstellen. Der Abbildung ist ein Zusammenhang zwischen der Unternehmensgröße und dem spezifischen Energieverbrauch zu entnehmen: Je größer die Menge an verarbeitetem Mehl, desto geringer der spezifische Energieverbrauch. Bei den kleineren Unternehmen ist die Spannweite im Vergleich zu den übrigen Unternehmensklassen zudem deutlich breiter.[97] Ein Grund hierfür kann der stärkere Skaleneinfluss kleiner Unternehmen sein, bei größeren Unternehmen nehmen die Skalenvorteile eher ab.[98] Deshalb ist es sinnvoll, die Einteilungsgrenzen bei kleinen Unternehmen enger zu stecken, um den Einfluss der Skaleneffekte gegenüber den anderen Größenklassen abzumildern.

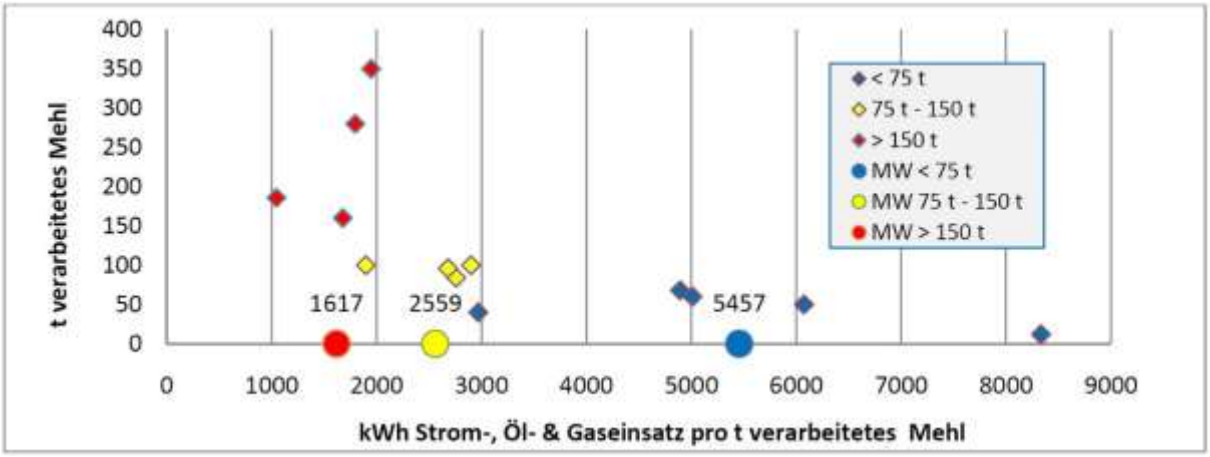


Abbildung 4: Spezifischer Energieverbrauch in Bäckereien[99]

Für die Festlegung der Bilanzgrenzen ist die **Gruppierung der Handwerksbetriebe nach ihrer Betriebsart** wünschenswert.[100] Wie in Kapitel 3.1 erläutert, sollen vor- oder nachgelagerte Prozessschritte die Bewertung der Energieeffizienz nicht beeinflussen. Im Bereich von Bäckereien wird sonst beispielsweise ein Bäcker A, der Mehl selbst herstellt und dadurch einen deutlich höheren Energieverbrauch aufweist, mit einem Bäcker B verglichen, der sein Mehl zukauft. Ähnliches kann bei Friseuren auftreten, wenn neben dem Ladenbetrieb zusätzlich Hausbesuche durchgeführt werden.[101] Eine weitere Gruppierung der Unternehmen ist für das Kennzahlensystem nicht durchzuführen. Die verbleibenden Einflussfaktoren sind im Primärenergieverbrauch und der Produktmenge zu berücksichtigen. Wie Abbildung 5 zeigt, wird das Kennzahlensystem somit in zwei Äste aufgeteilt, wobei Anhang 1 und 2 weiter aufschlüsseln, wie die Korrekturen des Primärenergieverbrauchs und der Produktmenge zu berücksichtigen sind. Anhang 1 und 2 stellen ein vereinfachtes Kennzahlensystem mit einem Hauptverbraucher und zwei Energieträgern (Öl und Strom) dar.

[97] Vgl. Kapusta (2010), S. 84 - 85.
[98] Vgl. Runst (2016), S. 21 - 23.
[99] Kapusta (2010), S. 84.
[100] Vgl. Ratjen et al. (2013), S. 55.
[101] Vgl. Runst (2016), S. 15.

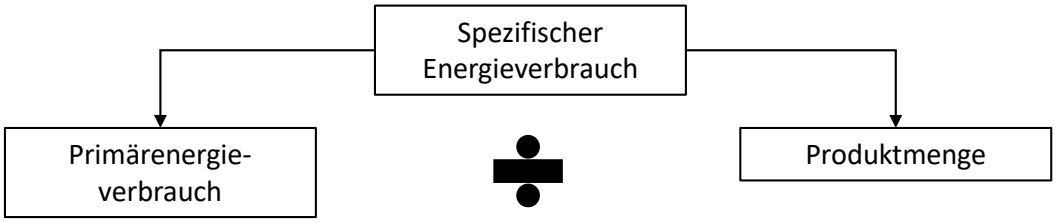


Abbildung 5: Aufteilung des spezifischen Energieverbrauchs[102]

Grundsätzlich ist für die **Integration der Korrekturfaktoren** deren Auswirkung auf den Energieverbrauch des Handwerksbetriebs zu ermitteln. Die Schwankung des spezifischen Energieverbrauchs in Folge der **wechselnden Auslastung** wird durch die Maschinen und Anlagen innerhalb des Betriebs verursacht. Deswegen muss im Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit der Energieverbrauch der Maschinen angepasst werden. Die Auswirkungen der **klimatischen Bedingungen** betreffen insbesondere die Heizung, sodass deren Energieverbrauch mittels der vorgestellten Gradtage korrigiert werden muss. Die **Qualität der Energieträger** betrifft zwar die Energieversorgung des kompletten Handwerksbetriebs, die hierzu notwendigen Korrekturen sind allerdings gesondert für jeden Energieverbraucher durchzuführen. Die **Qualität der verwendeten Rohstoffe und der produzierten Güter** ist in der Anzahl der hergestellten Güter zu berücksichtigen.[103]

Die Integration der Korrekturfaktoren in das **Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit** kann direkt auf **Werksebene nur für die Qualität der Energieträger und die Qualitätsfaktoren der Rohstoffe und Produkte durchgeführt** werden. Die Korrektur der übrigen Einflussfaktoren kann auf Werksebene dagegen nicht erfolgen, da diese die einzelnen Prozesse bzw. Maschinen betreffen. Die Energieverbräuche können aus den Rechnungen entnommen und mit den Primärenergiefaktoren multipliziert werden. Die Produktmenge kann ebenfalls direkt ermittelt und korrigiert werden, was im nachfolgenden Kapitel näher erläutert wird.

4.3 Generierung der Ergebnisse

Im dritten Schritt der DIN-Norm ist für die Anwendung des Kennzahlensystems bzw. die Generierung der Ergebnisse zunächst die Gleichartigkeit der Produkte und der eingesetzten Technologie der zu vergleichenden Handwerksbetriebe sicherzustellen. Ist diese aufgrund der vorgenommenen Einteilung, den Primärenergiefaktoren und den Korrekturfaktoren für die Produkte gewährleistet, können bei der Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs verschiedener Unternehmen dennoch Unterschiede auftreten, die aufgrund übriger Einflüsse entstehen. Der Betriebsvergleich wäre somit nicht aussagekräftig und müsste durch weitere Daten im Kennzahlensystem gestützt werden. Deshalb wird nachfolgend das Vorgehen zur Bereinigung der übrigen Einflussfaktoren entsprechend dem vierten Schritt der DIN EN 16231 erläutert.

Zunächst wird der linke Ast des im Rahmen dieser Arbeit entwickelten Kennzahlensystems (vgl. Abbildung 5 und Anhang 1) mit der **Korrektur des Primärenergieverbrauchs** vorgestellt. Wie bereits erwähnt, erschweren fehlende Informationen über den Energieverbrauch innerhalb der Handwerksbetriebe die Zuordnung der Korrekturfaktoren zu deren Verbrauchern. Damit der Energiebedarf der einzelnen Verbraucher dennoch abgeschätzt und anschließend angepasst werden kann, müssen die

[102] Eigene Abbildung.
[103] Vgl. BESS-Projekt (o. J.) S. 6 - 12.

Information über den **Energieverbrauch der Anlagen aus Branchenstatistiken** abgeleitet werden. Der Energieverbrauch muss dabei in Primärenergieeinheiten gemessen werden, da sonst die Verbrauchsangaben nicht für alle Unternehmen ermittelt werden können. Grund hierfür ist die in Kapitel 2.1.2 angesprochene Problematik, dass die Endenergieverbräuche bei verschiedenen Energieträgern nicht addiert werden dürfen.

Unter Berücksichtigung der eingeschränkten Ressourcen von Handwerksbetrieben sollte der Energiebedarf der beiden Hauptverbraucher und der Heizung mittels der Branchenstatistik bestimmt werden. Die Konzentration auf die Hauptverbraucher minimiert insbesondere die zusätzliche Datenmenge bei der Durchführung der Korrekturen, sodass die Betriebe mit geringem Aufwand den Großteil des Energieverbrauchs anpassen können. Im Rahmen dieser Einteilung nach Hauptverbrauchern findet die **Korrektur auf der Maschinenebene** statt. Die Auswahl der Hauptverbraucher ist zudem unter dem Gesichtspunkt einer zukünftigen Integration von Datenerfassungstechnologien zu sehen, sodass den Betrieben die Messung der Energieverbräuche mit geringem finanziellem Aufwand ermöglicht wird.

Zur **Anpassung des Primärenergieverbrauchs** muss dieser weiter untergliedert werden. Die Aufteilung im Kennzahlensystem wird nach dem Verbrauch der Heizung, der Hauptverbraucher im Bereich der Maschinen und Anlagen sowie den restlichen Energieverbrauchern vorgenommen. Der Primärenergiebedarf eines Hauptverbrauchers kann für die Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs der betreffenden Maschine verwendet und mit anderen Unternehmen verglichen werden. Die in Abbildung 6 dargestellte Einteilung ermöglicht die Ableitung weiterer Kennzahlen für den Vergleich auf Maschinenebene.

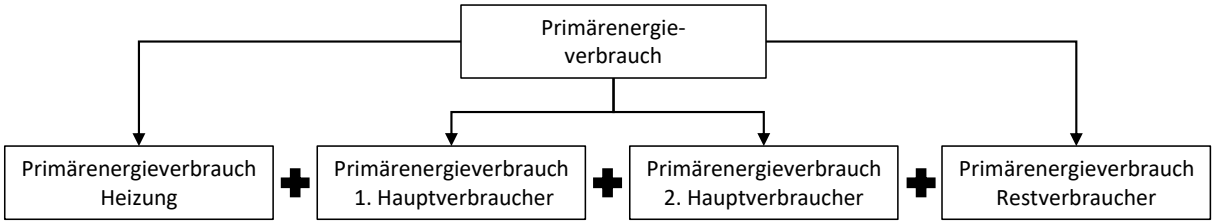


Abbildung 6: Aufteilung des Primärenergieverbrauchs[104]

Die **Heizung** ist in vielen Gewerken des Handwerks nur für einen geringen Anteil des Energieverbrauchs verantwortlich. In anderen, wie beispielsweise dem Friseur-Handwerk, macht die Heizung dagegen ca. 50 % des Energieverbrauchs aus.[105] Abgesehen von diesen gewerkespezifischen Unterschieden können Handwerksbetriebe in Regionen mit abweichenden klimatischen Bedingungen ansässig sein. Aufgrund dieser Aspekte ist es unbedingt erforderlich, die Heizung mittels der Anpassung über die Gradtage in das Kennzahlensystem zu integrieren. Dabei wird die Formel aus der VDI 3807[106] adaptiert. Wichtig ist, bei der Ermittlung des Heizungsverbrauchs nur den Anteil zu korrigieren, der für die Raumwärme benötigt wird. Der Energieverbrauch zur Bereitstellung von Warmwasser in der Produktion ist hingegen nicht mittels der Gradtage zu korrigieren, da die Produktion nicht vom Klima beeinflusst wird. Die Korrektur des Heizungsverbrauchs wird in Abbildung 7 verdeutlicht.

[104] Eigene Abbildung.
[105] Vgl. Handwerkskammer Münster (o. J.), S. 2.
[106] Vgl. VDI (2013), S. 11 - 12.

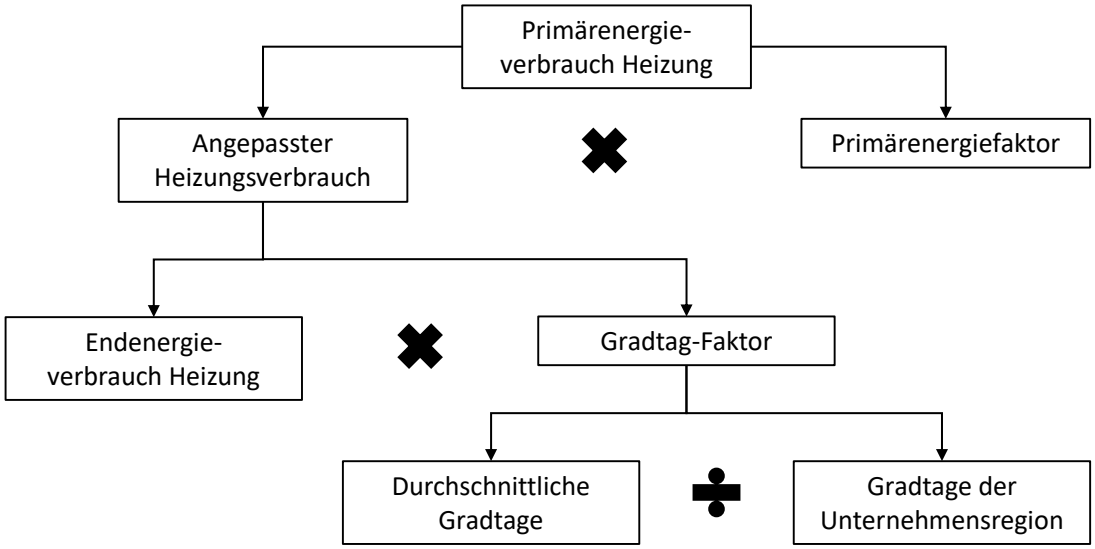


Abbildung 7: Korrektur des Heizungsverbrauchs[107]

Der Primärenergieverbrauch zur Beheizung der Betriebsfläche (vgl. Abbildung 7) wird zunächst in einen Primärenergiefaktor und in einen angepassten Heizungsverbrauch aufgeteilt. Letzterer ist das Produkt des Endenergieverbrauchs und des Gradtag-Faktors. Der Gradtag-Faktor ist für die Korrektur der klimatischen Bedingungen zuständig, indem der Heizungsbedarf einer Region mit dem durchschnittlichen Bedarf in Deutschland verglichen wird.

Beim Heizungsverbrauch sind die Einteilungen der Handwerksbetriebe gemäß ihrer Größe und Bilanzgrenzen von Bedeutung. Durch die Gruppierung nach der Unternehmensgröße und der Betriebsart wird sichergestellt, dass nur Unternehmen mit einer vergleichbaren Betriebsfläche gegenübergestellt werden. Beispielsweise wird ein Gebäude für 20 Beschäftigte nicht automatisch den doppelten Energiebedarf eines Gebäudes für 10 Beschäftigte aufweisen. Ähnliches ist bei der Eigenproduktion von Rohstoffen vorzufinden.[108] Neben dem zusätzlichen Energiebedarf für die Produktion wird die zu beheizende Betriebsfläche steigen.

Die Anpassung des Primärenergieverbrauchs der beiden **Hauptverbraucher** verläuft analog und unterscheidet sich nur in der späteren Dateneingabe. Die Korrektur des Verbrauchs wird aufgrund der hyperbolischen Abnahme des fixen Verbrauchs mit steigender Auslastung notwendig (vgl. Kapitel 3.1). Im BESS-Projekt erfolgt die Kapazitätsanpassung auf Werksebene, indem zwischen **produktionsunabhängigen**, wie dem Heizen oder dem Beleuchten, und den **produktionsabhängigen Prozessen** unterschieden wird.[109] Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird die Formel des BESS-Projekts vereinfacht in das Kennzahlensystem integriert. Ziel der Formel ist, den fixen Energieverbrauch unabhängig von der Auslastung der Maschine konstant umlegen zu können.

Im Gegensatz zum BESS-Projekt wird in dieser Studie die **Korrektur der Hauptverbraucher auf Maschinenebene** durchgeführt. Auf dieser Ebene können die Energieverbräuche bei schwankender Auslastung genauer angepasst und durchgeführte Effizienzmaßnahmen im Zeitvergleich besser analysiert werden. Eine Besonderheit tritt in Gewerken mit hohem Heizungsbedarf auf: Der Heizungsverbrauch stellt quasi einen fixen Energiebedarf dar. Deswegen ist der Anteil des fixen

[107] Eigene Abbildung.
[108] Vgl. Runst (2016), S. 15.
[109] Vgl. BESS-Projekt (o. J.) S. 8 - 9.

Energieverbrauchs, der auf die einzelnen Produkte umgelegt werden kann, wie bei den Maschinen stark von der Auslastung des Handwerksbetriebs abhängig. In diesem Fall ist zunächst der Heizungsverbrauch mittels der Gradtage anzupassen und anschließend der fixe Energiebedarf pro Produkt zu ermitteln. Dieses Vorgehen ist bei der Beleuchtung analog anzuwenden. Die Korrektur der Hauptverbraucher erfolgt entsprechend der Methode aus Abbildung 8.

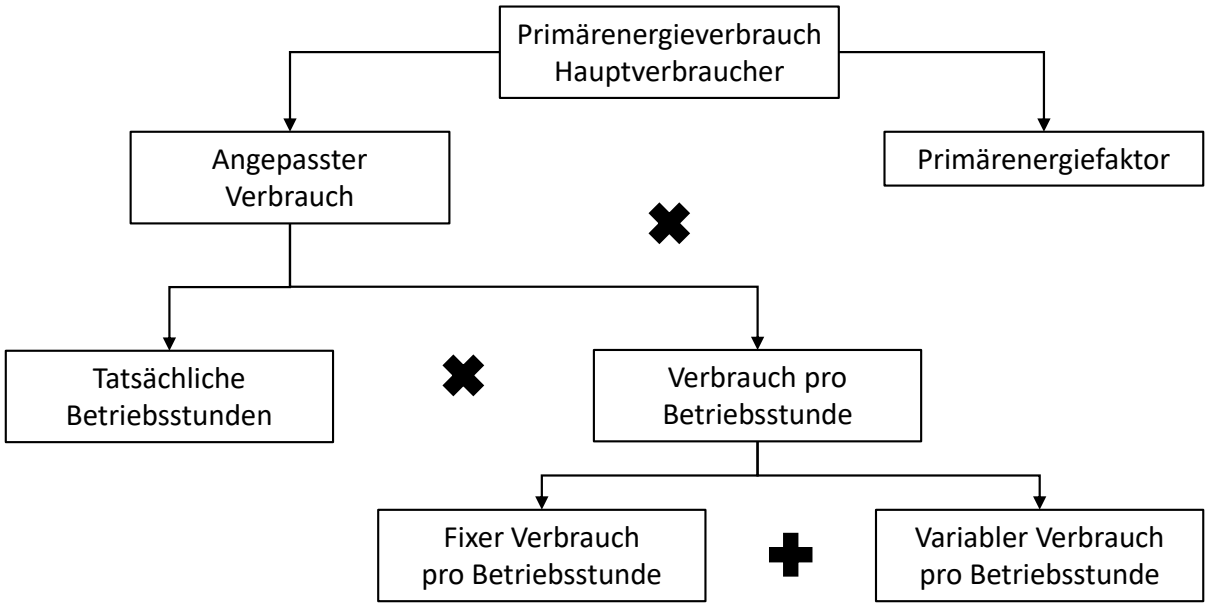


Abbildung 8: Korrektur der Kapazitätsauslastung[110]

Wie in Abbildung 8 dargestellt, wird aus dem Produkt des Primärenergiefaktors und des angepassten Verbrauchs der **Primärenergieverbrauch der Hauptverbraucher** ermittelt. Der **angepasste Verbrauch** ergibt sich aus der Multiplikation der tatsächlichen Betriebszeit mit dem Endenergieverbrauch pro Betriebsstunde. Der **Verbrauch je Betriebsstunde** besteht aus einem fixen und einem variablen Verbrauch. Dabei wird der fixe Gesamtenergieverbrauch, unabhängig von der Auslastung, durch die maximale Auslastung und der variable Gesamtenergieverbrauch durch die aktuelle Auslastung dividiert. Die maximale Auslastung entspricht der Betriebszeit, für die die Anlage ausgelegt ist. Die Ermittlung des fixen und variablen Gesamtverbrauchs wird in Kapitel 5.1 erläutert. Bei der Korrektur der Hauptverbraucher sind der unterschiedliche fixe Anteil des Energiebedarfs sowie die unterschiedliche maximale Auslastung bei der Dateneingabe zu berücksichtigten.

Für die Ermittlung des Primärenergieverbrauchs sollten abschließend die **Restverbraucher** beachtet werden. Unter Berücksichtigung, dass Handwerksbetriebe nur sehr eingeschränkte Ressourcen für das Energiemanagement zur Verfügung haben, wird die **Anpassung der Kapazitätsauslastung für die Restverbraucher im Rahmen des entwickelten Kennzahlensystems nicht durchgeführt**. Da sie nur für einen geringen Verbrauch verantwortlich sind, erscheint dieses Vorgehen als unproblematisch. Die Energieverbräuche werden lediglich, wie Abbildung 9 zeigt, mittels der Primärenergiefaktoren angepasst und für die jeweiligen Energieträger aufsummiert.

[110] Eigene Abbildung.

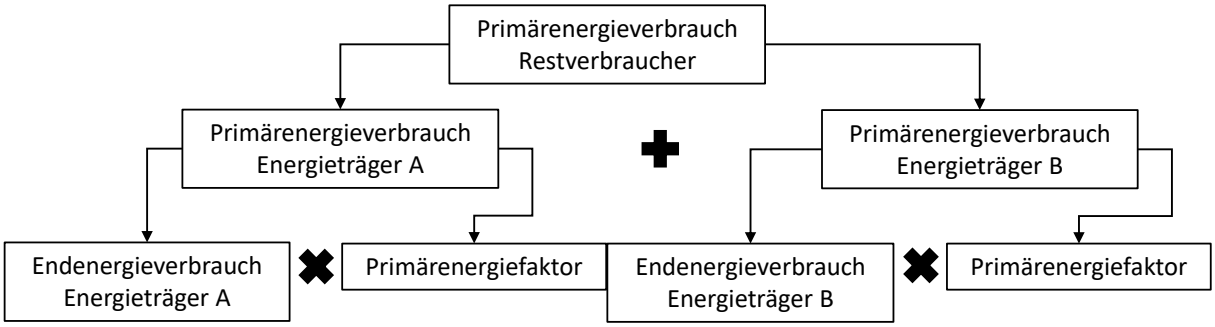


Abbildung 9: Ermittlung des Primärenergieverbrauchs der Restverbraucher[111]

Nach der Korrektur des Primärenergieverbrauchs wird im Folgenden der Nenner des spezifischen Energieverbrauchs, die **Produktmenge**, an die indidviduellen Eigenschaften des Unternehmens **angepasst**. Handwerksbetriebe bieten eine Vielzahl verschiedener Produkte an. Da diese Produkte jedoch einen unterschiedlichen Energieverbrauch aufweisen, würde der direkte Vergleich der Betriebe zu Verzerrungen führen. Zur Herstellung der Vergleichbarkeit wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit der **Produktfaktor** des BESS-Projekts, der bereits für das fleisch- und milchverarbeitende Gewerbe vorliegt, übernommen und ein weiterer Faktor entwickelt, denn eine Gruppierung der Handwerksbetriebe nach ihren Produktanteilen ist nicht mögich.[112]

Bei der Ermittlung der Korrekturfaktoren ist die Messung der Energieeffizienz pro Produkt von Vorteil, da die Bezugswerte für den Energieverbrauch aus der Produktkalkulation vorhanden sind. Innerhalb des entwickelten Kennzahlensystems der vorliegenden Arbeit wird der Korrekturfaktor für die betreffende Produktart in zwei Faktoren unterteilt (vgl. Abbildung 10). Zum einen können die unterschiedlichen Produkte eine längere Produktionszeit aufweisen oder energieintensivere Prozesse durchlaufen. Zum anderen beeinflusst die Produktqualität die Bearbeitungszeit des einzelnen Produkts. In beiden Fällen wird für die Herstellung des Produkts mehr Energie, wie in Kapitel 3.1 beschrieben, benötigt. Hochwertige Produkte werden in Folge dessen einen, im Gegensatz zu durchschnittlichen Produkten, erhöhten Energieverbrauch aufweisen.

Damit unterschiedliche Produktionszeiten und Produktionsprozesse im Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit Berücksichtigung finden können, wird der **Produktfaktor** (vgl. Abbildung 10) eingesetzt. Dieser bringt den Energieeinsatz der verschiedenen Produkte in Relation zu einem Basisprodukt. So entspricht der Energieeinsatz eines energieaufwändigeren Produkts immer dem Vielfachen des Energieeinsatzes, der zur Produktion des Basisprodukts benötigt wird.

Ein Beispielunternehmen, das einen größeren Anteil eines energieaufwändigeren Produkts als die Vergleichsgruppe fertigt, bietet somit ein Produktportfolio an, für dessen Herstellung mehr Energie verbraucht wird. Sein spezifischer Energieverbrauch liegt deswegen über dem der Vergleichsgruppe. Deshalb wird die hergestellte Menge des Beispielunternehmens mit dem Produktfaktor nach oben korrigiert, sodass der Energieverbrauch auf mehr Produkte verteilt wird und der spezifische Energieverbrauch des Beispielunternehmens sinkt. Als konkretes Beispiel kann die Herstellung von geräuchertem Fleisch angeführt werden. Im BESS-Projekt beträgt der Korrekturfaktor für geräuchertes Fleisch 5,7 pro Tonne im Vergleich zur Schlachtung von Schweinen, welche als Basisprodukt den Wert 1,0 erhalten hat.[113] Der Energieverbrauch bei der Herstellung einer Tonne geräuchertem Fleisch

[111] Eigene Abbildung.
[112] Vgl. BESS-Projekt (o. J.) S. 10 - 12.
[113] Vgl. BESS-Projekt (o. J.) S. 11.

entspricht damit der Herstellung von 5,7 Tonnen geschlachtetem Schweinefleisch. Wird ein Produkt hergestellt, das weniger Energie zur Produktion benötigt (Korrekturfaktor < 1), wird die Produktmenge gesenkt. Die Möglichkeit, den Produktfaktor einzusetzen, hängt jedoch davon ab, ob ein Unternehmen das Basisprodukt der Branche oder das Basisprodukt und das energieintensivere/-ärmere Produkt herstellt. Unternehmen, die den Produktfaktor nicht anwenden können, werden im entwickelten Kennzahlensystem zu einer Gruppe zusammengefasst und getrennt bewertet.

Die Anpassung der Produkt- und Rohstoffqualität erfolgt im entwickelten Kennzahlensystem dieser Arbeit mittels eines **Qualitätsfaktors** (vgl. Abbildung 10), der die Produktqualität eines Handwerksbetriebs mit der Branchenqualität vergleicht. Produziert ein Betrieb Produkte höherer Qualität, wird mehr Energie verbraucht. In diesem Fall wird das Beispielunternehmen, wie bereits beim Produktfaktor erläutert, einen höheren spezifischen Energieverbrauch aufweisen. Der Qualitätsfaktor korrigiert folglich die Produktmenge nach oben. Dies kann wiederum am Beispiel von geräuchertem Fleisch verdeutlicht werden. Bei der Herstellung von geräuchertem Fleisch mit höherer Qualität wird neben einem höherwertigeren Fleisch auch die Räucherzeit länger als bei geräuchertem Standardfleisch ausfallen. Der Qualitätsfaktor ist insbesondere bei Verfahren notwendig, die keine einheitliche Dauer aufweisen. Ein Beispiel aus dem Handwerk wäre die Reparatur eines Autos in einer Kfz-Werkstatt. Die Dauer einer Reparatur ist nicht standardisiert, sondern vom Reparaturumfang und der -qualität abhängig. Eine Werkstatt, die nur kurze Reparaturen anbietet, kann innerhalb der Betriebszeit mehr Reparaturen durchführen. Durch den Qualitätsfaktor müsste in diesem Fall die produzierte Menge nach unten korrigiert werden.

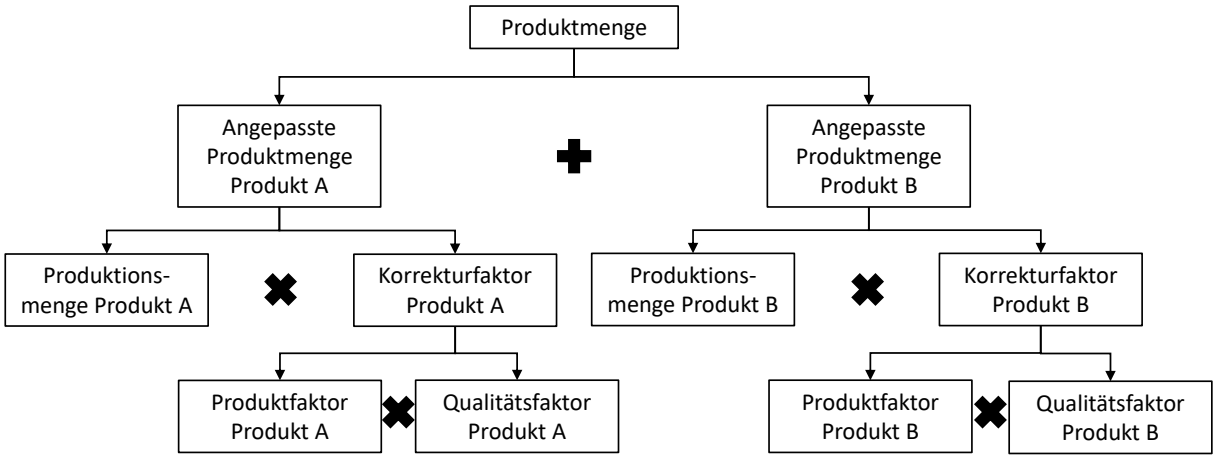


Abbildung 10: Korrektur des Produktportfolios[114]

Die Produktmenge wird für jedes Produkt getrennt angepasst. Das Kennzahlensystem kann dabei beliebig auf die verschiedenen Produkte einer Branche erweitert werden (in Abbildung 10 für zwei Produkte). Die angepasste Produktionsmenge ist die Multiplikation der tatsächlich hergestellten Menge mit dem individuellen Korrekturfaktor für das betreffende Produkt. Der Korrekturfaktor ist das Produkt vom Qualitäts- und Produktfaktor. Das Vorgehen für die Ermittlung des Korrekturfaktors wird in Kapitel 5.1 definiert.

[114] Eigene Abbildung.

Nach der Integration der übrigen Korrekturfaktoren in das entwickelte Kennzahlensystem können die Ergebnisse zur Energieeffizienz der Handwerksbetriebe schließlich generiert und beispielsweise über ein Balkendiagramm dargestellt werden. Die Betriebe können mit Hilfe des Diagramms den besten Wert innerhalb ihrer Unternehmensgruppe ermitteln und die eigene Energieeffizienz daran messen. Das Kennzahlensystem ermöglicht zudem den Vergleich der Hauptverbraucher innerhalb der des Gewerks. Dafür müssen jedoch die Energiedaten auf Maschinen- oder Prozessebene vorliegen.

So wie das Kennzahlensystem der vorliegenden Arbeit entwickelt und aufgebaut wurde, ermöglicht es Handwerksbetrieben, ihre Energieeffizienz über längere Zeiträume vergleichen zu können. Dadurch ist der fünfte Schritt der DIN-Norm erfüllt. Die Korrektur der äußeren Einflussfaktoren gewährleistet, dass allein die Effizienz des Betriebs den spezifischen Energieverbrauch beeinflusst. Das Kennzahlensystem kann dabei beliebig auf Veränderungen in der Unternehmensumwelt angepasst werden. Sollte der Handwerksbetrieb zur Effizienzsteigerung einen anderen Energieträger für die Produktion einsetzen, so sind nur der Primärenergiefaktor und der veränderte Endenergieverbrauch anzupassen. Beim Aufbau des Kennzahlensystems erfolgen die Anpassungen auf Basis des Endenergieverbrauchs. Dadurch können die gemessenen Endenergieverbräuche der Heizung und Anlagen direkt eingetragen werden.

5 Umsetzung des Kennzahlensystems in der Praxis

In diesem Kapitel werden zunächst die für das entwickelte Kennzahlensystem erforderlichen Daten sowie deren Position näher erläutert. Dabei wird auch auf das Vorgehen bei der Ermittlung der Korrekturfaktoren eingegangen. Anschließend wird die Anwendung des Kennzahlensystems in der Praxis am Beispiel einer Bäckerei und einer Kfz-Werkstatt aufgezeigt.

5.1 Datengrundlage des Kennzahlensystems

Wie bei der Entwicklung des Kennzahlensystems soll im Folgenden auch bei der Definition der benötigten Daten schrittweise vorgegangen werden. Ausgehend davon, dass ein externes Benchmarking stattfindet, der teilnehmende Handwerksbetrieb seine **Daten** also für den Unternehmensvergleich an Dritte (z.B. Betriebsberater der Handwerksorganisation) übermittelt, sind diese zu Beginn der Datenerfassung zu **anonymisieren**. Erst dann sollte das Kennzahlensystem mit den erforderlichen Daten „befüllt“ werden. Für das Kennzahlensystem muss zunächst der **Endenergieverbrauch der Energieträger** eruiert werden. Dieser ist, wie in Kapitel 2.1.2 vorgestellt, aus den Rechnungen zu ermitteln, wobei er um den nicht energetischen Verbrauch zu bereinigen ist. Der Energieverbrauch zur innerbetrieblichen Strom- und Gasherstellung muss dabei nicht abgezogen werden, da das Kennzahlensystem den kompletten Handwerksbetrieb einbezieht und dessen Bilanzgrenze somit auch die innerbetriebliche Energieerzeugung umfasst. Bei der Ermittlung des Endenergieverbrauchs ist die verkaufte Menge an Strom abzuziehen.[115] Für die Schätzungen ist der gesamte **Primärenergieverbrauch** des Handwerksbetriebs auszumachen. Dazu werden die Endenergieverbräuche der Energieträger mit den Primärenergiefaktoren multipliziert und die Primärenergieverbräuche aller Energieträger schließlich aufaddiert.

Da es für Handwerksbetriebe zu aufwändig ist, die **Primärenergiefaktoren** für das Kennzahlensystem zu bestimmen, muss auf bestehende Ergebnisse zurückgegriffen werden. In Anhang 3 sind deshalb die verwendbaren Faktoren aufgelistet. Sie sind im Kennzahlensystem entsprechend der individuellen Energieträger der Verbraucher auszuwählen und einzutragen. Weiterhin müssen die Handwerksbetriebe die **Menge ihrer verkauften Produkte** angeben. Dazu sind vor Beginn des Benchmarkings die charakteristischen **Produktarten** der Branche aus dem PRODCOM-Code[116] zu entnehmen und das **Basisprodukt** auszuwählen. Die Einteilung in Produktarten ist auch für die spätere Bestimmung der Korrekturfaktoren erforderlich.

Die Implementierung der übrigen Einflussgrößen erfordert weitere Unternehmensdaten. Zunächst sind die **Mitarbeiteranzahl** oder die **verarbeitete Rohstoffmenge** für die Einteilung der Handwerksbetriebe entsprechend ihrer Größe notwendig. Außerdem sind Angaben zur **Betriebsart** für die Festlegung der Bilanzierungsgrenzen erforderlich. Diesbezüglich muss das Kennzahlensystem eine Auswahl möglicher Betriebsarten zur Verfügung stellen. Vor der Durchführung des Benchmarkings ist anhand von Studien[117] der **branchenübliche Anteil, den Anlagen und Maschinen** am Primärenergiebedarf der Handwerksbetriebe ausmachen, zu ermitteln. Dabei sind die vorgegebenen Betriebsarten zu beachten. Bei Handwerksbetrieben, die Rohstoffe selbst produzieren, weichen die **Hauptverbraucher und deren Anteile** von jenen ab, die Rohstoffe zukaufen. Aus den prozentualen Angaben der Studien und dem ermittelten gesamten Primärenergieverbrauch der Handwerksbetriebe sind die **Primärenergie-**

[115] Vgl. Ratjen et al. (2013), S. 58.
[116] Vgl. Eurostat (o. J. b).
[117] Diese Studien müssen von der Handwerksorganisation erstellt werden, da aktuell keine Studien vorhanden sind, die den Primärenergieverbrauch und dessen Aufteilung innerhalb der Unterehmen abbilden.

verbräuche der Heizung, der beiden **Hauptverbraucher** und der **übrigen Verbraucher** abzuschätzen. Bei den Restverbrauchern muss vom gesamten Primärenergieverbrauch eines Energieträgers der Anteil des Hauptverbrauchers eines Energieträgers abgezogen werden. Anhang 4 soll im Hinblick auf die Berechnung der Verbräuche ein Beispiel liefern.

Bei der **Korrektur des Klimas** mit Hilfe der Gradtagzahl ergab die Auswertung des BESS-Projekts in Kapitel 3.3, dass Unternehmen selten die benötigten Daten übermitteln. Um Handwerksbetriebe diesbezüglich zu entlasten, ist der Primärenergieverbrauch der Heizung für das entwickelte Kennzahlensystem lediglich aus den Studien[118] zu entnehmen und in Endenergie umzurechnen. Ferner sind für die Korrektur nur die Werte des Deutschen Wetterdienstes heranzuziehen, der die Heizgradtage für bis zu 500 Messstationen innerhalb Deutschlands ermittelt.[119] [120] Die teilnehmenden Handwerksbetriebe können somit die Heizgradtage der nächstgelegenen Wetterstation verwenden.[121] Ist dagegen der Endenergieverbrauch der Heizung gemessen worden, kann dieser direkt ins System eingetragen werden.

Die **Korrektur der Kapazitätsauslastung** ist, wie in Kapitel 3.3 erläutert, ebenfalls nur selten durchgeführt worden. Im BESS-Projekt musste der Anteil des fixen Energieverbrauchs am Gesamtverbrauch mittels einer linearen Regression ermittelt werden. Handwerksbetrieben fehlt es jedoch sowohl am statistischen Knowhow als an den erforderlichen Kenntnissen über die Energieverbräuche. Damit die teilnehmenden Unternehmen aber dennoch die Korrektur der Auslastung durchführen können, werden für das entwickelte Kennzahlensystem mehrere Möglichkeiten vorgeschlagen. Einerseits könnten sich Handwerksbetriebe auf die Hauptverbraucher beschränken. Durch **einzelne Verbrauchsmessungen** ihrer Anlagen könnten sie den fixen Endenergieverbrauch ermitteln, evtl. unter Rückgriff auf in den Anlagen eingebaute Messgeräte.[122] Zur Bestimmung des fixen und variablen Endenergieverbrauchs pro Produkt wird weiterhin die **Kapazität der Anlage** benötigt. Dazu sind die maximale und die aktuelle Betriebszeit der Anlage zu eruieren. Der fixe und variable Energieverbrauch wird anschließend durch die jeweilige Betriebszeit dividiert und in das Kennzahlensystem eingesetzt.

Alternativ kann zur Entlastung der Handwerksbetriebe ein **Schätzwert** für den Anteil des fixen Endenergieverbrauchs am gesamten Endenergieverbrauch der Hauptverbraucher festgelegt werden. Der definierte Prozentsatz ist allerdings nicht zu hoch anzusetzen, da davon ausgegangen werden kann, dass der Endenergieverbrauch hauptsächlich von der Produktion beeinflusst wird.[123] Für das Benchmarking der Handwerksbetriebe wird ein Anteil von 30 % vorgeschlagen. Damit trotz der Festlegung dieses Anteils die betriebsindividuellen Eigenschaften berücksichtigt werden, kann der fixe Anteil in einer Spannweite von 20 % bis 40 % schwanken. Für die genaue Festlegung des unternehmensspezifischen Werts wird der in Kapitel 3.1 vorgestellte Zusammenhang zwischen modernen Anlagen und einem erhöhten fixen Anteil herangezogen: Die Beurteilung, inwieweit die Anlagen eines Handwerksbetriebs dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, erfolgt über das Durchschnittsalter und die vorgesehenen Nutzungsdauern der Anlagen, welche in den Tabellen der Absetzung für Abnutzung vorzufinden sind. Für die Berechnung wird die folgende Gleichung genutzt:

---

[118] Da auch in diesem Bereich keine Studien vorliegen, ist die Handwerksorganisation gefordert, durch entsprechende Anstrengungen einen Datenpool zu entwickeln.
[119] Vgl. Deutscher Wetterdienst (o. J .a).
[120] Vgl. Deutscher Wetterdienst (o. J. b).
[121] Vgl. VDI (2013), S. 13.
[122] Vgl. Layer et al. (1999), S. 27.
[123] Vgl. BESS-Projekt (o. J.) S. 9.

$$Fixer\ Anteil^{124} = höchster\ Prozentsatz - Spannweite\ der\ Werte * \frac{Anlagenalter}{Nutzungsdauer}$$

Zur Anwendung der Formel wird auf das Rechenbeispiel in Anhang 4 verwiesen. Dort sind die Werte und deren Einsetzen in die Formel beschrieben. Die Werte der Gleichung können dabei auf die verschiedenen Anlagen angepasst werden. Dazu sind einzelne Stichproben der Anlagen mit unterschiedlichem Anlagenalter zu erfassen und daraus die Werte für den fixen Anteil zu adaptieren. Beispielsweise kann die Spannweite zwischen Höchstwert und Mindestwert des fixen Anteils einer Anlage bei einigen Anlagen deutlich geringer ausfallen. Insgesamt wird Handwerksbetrieben, die neuere Anlagen betreiben, beim Benchmarking mit dem erarbeiteten Kennzahlensystem ein höherer Prozentsatz zugewiesen. Erfolgt die Korrektur der Auslastung mittels der Schätzwerte aus der Branchenstatistik und obiger Gleichung, ist der Primärenergiebedarf des Hauptverbrauchers in Endenergie umzurechnen und entsprechend des unternehmensspezifischen Anteils in einen fixen und variablen Verbrauch aufzuteilen. Danach wird wie bei den Verbrauchsmessungen vorgegangen. Tritt in einem Gewerk die Heizung bzw. die Beleuchtung als Hauptverbraucher auf, ist die maximal herstellbare und die aktuelle Produktmenge für die Kapazitätsauslastung heranzuziehen.

Im vorgestellten BESS-Projekt werden **Korrekturfaktoren** für die verschiedenen **Produkte** fest vorgegeben. Diese Vorgehensweise wird im Rahmen der vorliegenden Arbeit nicht übernommen, da sie die unterschiedlichen Produktionsprozesse der Handwerksbetriebe nicht berücksichtigt. Zur Abschätzung des Energieeinsatzes kann beispielsweise die Produktionszeit herangezogen werden. Wie das Beispiel der Kfz-Werkstatt aus Kapitel 5.3 zeigt, ist diese Herangehensweise jedoch nicht sinnvoll, da das Waschen und die Reparatur von Fahrzeugen mittels unterschiedlicher Anlagen erfolgt. Deshalb werden für die Abschätzung des Energieeinsatzes in der vorliegenden Arbeit die **durchschnittlichen Fertigungskosten** herangezogen. Diese beinhalten sowohl die Dauer als auch die Energiekosten der Fertigungsprozesse. Zur Berechnung des Produktfaktors einer Produktart wird folgende Gleichung verwendet.

$$Produktfaktor\ für\ Produkt\ A^{125} = \frac{durchschnittliche\ Fertigungskosten\ Produkt\ A}{Fertigungskosten\ Basisprodukt}$$

Für den Vergleich der **Qualität** sind die Herstellkosten der Handwerksbetriebe geeignet, denn diese enthalten die Material- und Fertigungskosten, d.h. darin sind sowohl die Kosten für die Rohstoffe als auch die Bearbeitungszeit des Produkts einkalkuliert. Die Selbstkosten oder der Verkaufspreis hingegen wären nicht für die Bewertung einsetzbar, da diese die Verwaltungs- und Vertriebskosten bzw. den Gewinnzuschlag beinhalten und damit nicht ausschließlich den Herstellprozess abbilden. Aus den ermittelten Herstellkosten werden die Durchschnittskosten für das betreffende Produkt berechnet:

$$Qualitätsfaktor\ Produkt\ A^{126} = \frac{durchschnittliche\ Herstellkosten\ des\ Handwerksbetriebs}{durchschnittliche\ Herstellkosten\ des\ Gewerks}$$

[124] Eigene Gleichung.
[125] Eigene Gleichung.
[126] Eigene Gleichung.

Die Bildung der durchschnittlichen Herstellkosten eines Unternehmens ist notwendig, sobald mehrere Produkte (z. B. Brot und Brötchen) oder unterschiedliche Bearbeitungszeiten (z. B. Reparatur eines Autos) in einem Produkt zusammengefasst werden. Werden von einer Werkstatt beispielsweise hauptsächlich kurze Reparaturen durchgeführt, sind die Herstellkosten im Vergleich zum Wert des restlichen Gewerks geringer. Die Anzahl an Reparaturen wird, wie bei der Korrektur der Produktportfolios beschrieben, nach unten angepasst. Die ermittelten Werte für den Produktfaktor und den Qualitätsfaktor werden schließlich in das Kennzahlensystem eingetragen.

5.2 Anwendung des Kennzahlensystems am Beispiel einer Bäckerei

Die Praxisanwendung des Kennzahlensystems erfolgt zunächst am Beispiel von Bäckereien, da diese zu den Handwerken mit sehr hohen Energiekosten zählen. Charakteristisch für die Produktion von Backwaren ist die Vielzahl an kleinen Teilprozessen, von denen jedoch nur wenige energieintensiv sind. Zu den energieintensiven Prozessen zählen das Backen, das Haltbarmachen sowie das Kühlen. Die Backöfen sind aufgrund der hohen Betriebstemperatur hauptsächlich für den Energiebedarf verantwortlich. Sie werden in der Regel mit Gas oder Strom betrieben.[127]

Die typische Bäckerei ist nach dem **NACE-Code der Klasse 10.71** (Herstellung von Backwaren) zugeordnet. Diese beinhaltet die Produktion von Brot und Brötchen sowie Feinbackwaren, wie beispielsweise Kuchen oder Torten.[128] Zu Beginn des Benchmarkings mit dem entwickelten Kennzahlensystem sind die Bäckereien nach ihrer **Mitarbeiterzahl** oder der **verarbeiteten Rohstoffmenge** einzuteilen. Für die Klassifizierung der Betriebe entsprechend der Zahl ihrer Beschäftigten wird vorgeschlagen, nach den Vorschlägen der EU-Kommission vorzugehen. Hier sind KMU entsprechend ihrer Teamgröße einer von drei Gruppen zugewiesen (vgl. Tabelle 1, Kapitel 2.3.2).

Außerdem sind die Bäckereien entsprechend ihrer **Betriebsart** zu kategorisieren. Die Literatur schlägt dabei vor zu beachten, ob die Unternehmen Verkaufsräume oder einen Restaurantbereich betreiben.[129] Für die Umsetzung des Kennzahlensystems wird diese Empfehlung angepasst. Handwerksbetriebe sollen angeben, ob sie einen zusätzlichen Restaurantbereich betreiben und sie Rohstoffe, wie z. B. Mehl, selbst herstellen.

Für die Durchführung der Berechnungen sind die **Primärenergieanteile** der Verbraucher zu ermitteln. Hauptverbraucher von Bäckereien sind die Öfen und die Kühlkammern[130], die im Kennzahlensystem angepasst werden. Die Statistiken können, wie in Kapitel 5.1 beschrieben, vom Betriebsberater der Handwerksorganisation auf die Betriebsarten angepasst werden. Für die Bäckereien der Klasse 10.71 stellen Brote und Brötchen das Basisprodukt dar. Die Herstellung von Feingebäck ist aufgrund der Backflächenauslastung im Vergleich zur Brot- oder Brötchenherstellung aufwändiger.[131] Da Konditoreien zu den Bäckereien zählen, tritt bei der Anpassung des Produktportfolios die in Kapitel 4.3 angesprochene Problematik auf, dass diese das Basisprodukt nicht herstellen und somit der Produktfaktor nicht berechnet werden kann. Diese Einschränkung des Kennzahlensystems kann jedoch durch eine Gruppierung entsprechend der Betriebsart umgangen werden. Nach der Gruppierung der Unternehmen werden die Unternehmenswerte in das Kennzahlensystem eingetragen und der spezifische Energiever-

[127] Vgl. Fleiter / Schlomann / Eichhammer (2013), S. 526 - 527.
[128] Vgl. Eurostat (2008), S. 124.
[129] Vgl. Ratjen et al. (2013), S. 136.
[130] Vgl. Kapusta (2011), S. 39.
[131] Vgl. Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (2003), S. 32.

brauch ermittelt. Im Anhang 4 erfolgt ein Rechenbeispiel zur Anwendung des Kennzahlensystems mit einem Hauptverbraucher entsprechend der Gruppierung der Bäckereien.

5.3 Anwendung des Kennzahlensystems am Beispiel einer Kfz-Werkstatt

Als weiteres Beispiel werden Kfz-Werkstätten aufgegriffen, da so die Anwendbarkeit der Methodik des Kennzahlensystems in einem Gewerk aufgezeigt werden kann, das keinen einheitlichen Rohstoff verwendet. Die unterschiedliche Energie- und Ressourcennutzung der Prozesse stellt eine Herausforderung für das Kennzahlensystem dar. Zu den Tätigkeitsfeldern von Werkstätten zählen die Beratung, die Reparatur und Reinigung der Fahrzeuge sowie der Handel von Fahrzeugen.[132] Nach dem NACE-Code ist die typische Werkstatt von Kraftwagen in der Klasse 45.2 und die Werkstatt für Krafträder der Klasse 45.4 zugeordnet.[133] Für das Benchmarking sind die Handwerksbetriebe in diese zwei Klassen einzuteilen. Werkstätten, die Teil eines Autohauses sind, werden ebenfalls der Klasse 45.2 zugewiesen.

Grundsätzlich wird die meiste Energie von Kfz-Werkstätten für die Heizung benötigt. Weitere Hauptverbraucher sind die Beleuchtung und die Prozesswärme für Lackierarbeiten. Die Betriebsart der Werkstatt beeinflusst die Verteilung der Hauptverbraucher. Werkstätten mit Schauraum weisen einen höheren Anteil des Heizungsverbrauchs auf, als Werkstätten mit Lackieranlagen.[134] Hauptverbraucher im Kennzahlensystem sind je nach Betriebsart die Heizung, die Beleuchtung oder die Lackieranlagen.

Zur Durchführung des Benchmarkings sind die Unternehmen zunächst nach ihrer Unternehmensgröße zu klassifizieren. Hierfür ist die Mitarbeiterzahl (vgl. Tabelle 1) heranzuziehen, da eine Einteilung nach der Menge an verarbeiteten Rohstoffen nicht möglich ist. Weiterhin müssen die Werkstätten nach ihrer Betriebsart eingeteilt werden. Dabei können die Betriebe in reine Werkstätten, Werkstätten mit Lackierkabine, Werkstätten mit Schauraum und Werkstätten mit Schauraum und Lackierkabine eingeteilt werden.[135] Da nach dem NACE-Code keine Produktklassifizierung vorhanden ist, sind die Produktarten aus der Betriebsart abzuleiten: Vorstellbar wären hier beispielsweise die Produkte Reparatur, Waschen, Lackieren und der Handel von Fahrzeugen. Die Reparatur von Fahrzeugen wird in jeder Werkstatt durchgeführt und stellt die Hauptaufgabe dar. Deswegen könnte diese als Basisprodukt zur Ermittlung des Produktfaktors ausgewählt werden. Anschließend erfolgen die Berechnungen wie bereits in Anhang 4 für die Bäckereien vorgestellt.

[132] Vgl. Zentralverband des Deutschen Handwerks e. V. (o. J.).
[133] Vgl. Eurostat (2008), S. 225 - 226.
[134] Vgl. Kapusta (2011), S. 108 - 109.
[135] Vgl. Ratjen et al. (2013), S. 151.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Zu Beginn der Arbeit wurden die Grundlagen des Energiemanagements und der Energieeffizienz vorgestellt. Dazu wurden der Energiefluss von der Primärenergie bis zur Nutzenergie sowie die verschiedenen Erfassungsebenen für die Kennzahlen des Energiecontrollings beschrieben. Insgesamt wurde auch auf die Problematik verwiesen, dass Handwerksbetriebe in ihren Unternehmen nur selten ein Energiemanagementsystem integriert und nur rudimentäre Kenntnisse über den innerbetrieblichen Energiefluss haben. Im Rahmen der Arbeit musste also damit umgegangen werden, dass die Datengrundlage für die Bewertung der Energieeffizienz nur auf Werksebene vorliegt. Für die Bewertung der Energieeffizienz wurden – in Anlehnung an Beispiele aus der Industrie – die Kennzahlen „spezifischer Energieverbrauch“ und „Energieintensität“ vorgestellt.

Nach der Definition des Energiecontrollings und der Energieeffizienz wurden die Anforderungen des Kennzahlensystems festgelegt. Neben den formalen waren dabei die technischen Anforderungen zu berücksichtigen. Diese wurden aus der VDI 4661 sowie der DIN EN 16231 abgeleitet. Anschließend wurden die Methoden des Energy Star und des BESS-Projekts analysiert. Insbesondere das BESS-Projekt erschien für das Benchmarking der Energieeffizienz in Handwerksbetrieben geeignet, da dessen Vorgehen die Situation von KMU berücksichtigt.

Bei der Entwicklung des Kennzahlensystems wurde entsprechend der DIN EN 16231 vorgegangen. Ausgehend von der Zielformulierung wurden der Geltungsbereich des Benchmarkings sowie die Maßnahmen zur Datenerhebung formuliert. Bei der Berücksichtigung der Einflussfaktoren wurden zwei Vorgehensweisen angewandt. Zum einen erfolgte eine Gruppierung der Handwerksbetriebe, damit der Unternehmensvergleich nicht von der Größe und der Betriebsart beeinflusst wird. Zum anderen wurden Korrekturfaktoren für die übrigen Einflussgrößen in das Kennzahlensystem eingebunden. Dabei stellten die Energiedaten auf Werksebene ein Problem dar, da die Korrekturen nicht den entsprechenden Anlagen zugeordnet werden konnten. Deswegen wurde der Energieverbrauch schließlich auf Basis von Schätzungen ermittelt und angepasst.

Abschließend erfolgte die Darstellung der für das Kennzahlensystem erforderlichen Daten sowie deren Ermittlung und Integration. Das Vorgehen zur Anwendung des Kennzahlensystems wurde am Beispiel einer Bäckerei und einer Kfz-Werkstatt beschrieben. Diese Praxisbeispiele stellten sicher, dass die entwickelten Methoden in verschiedenen Gewerken anwendbar sind. Der Fokus der Praxisbeispiele lag dabei insbesondere auf der Gruppierung der Unternehmen und den Vorbereitungen zur Durchführung des Benchmarkings, da die Berechnungen simultan ablaufen. Diese unterscheiden sich nur bei der Auswahl und den Anteilen der Hauptverbraucher sowie den verschiedenen Korrekturfaktoren für die Produkte.

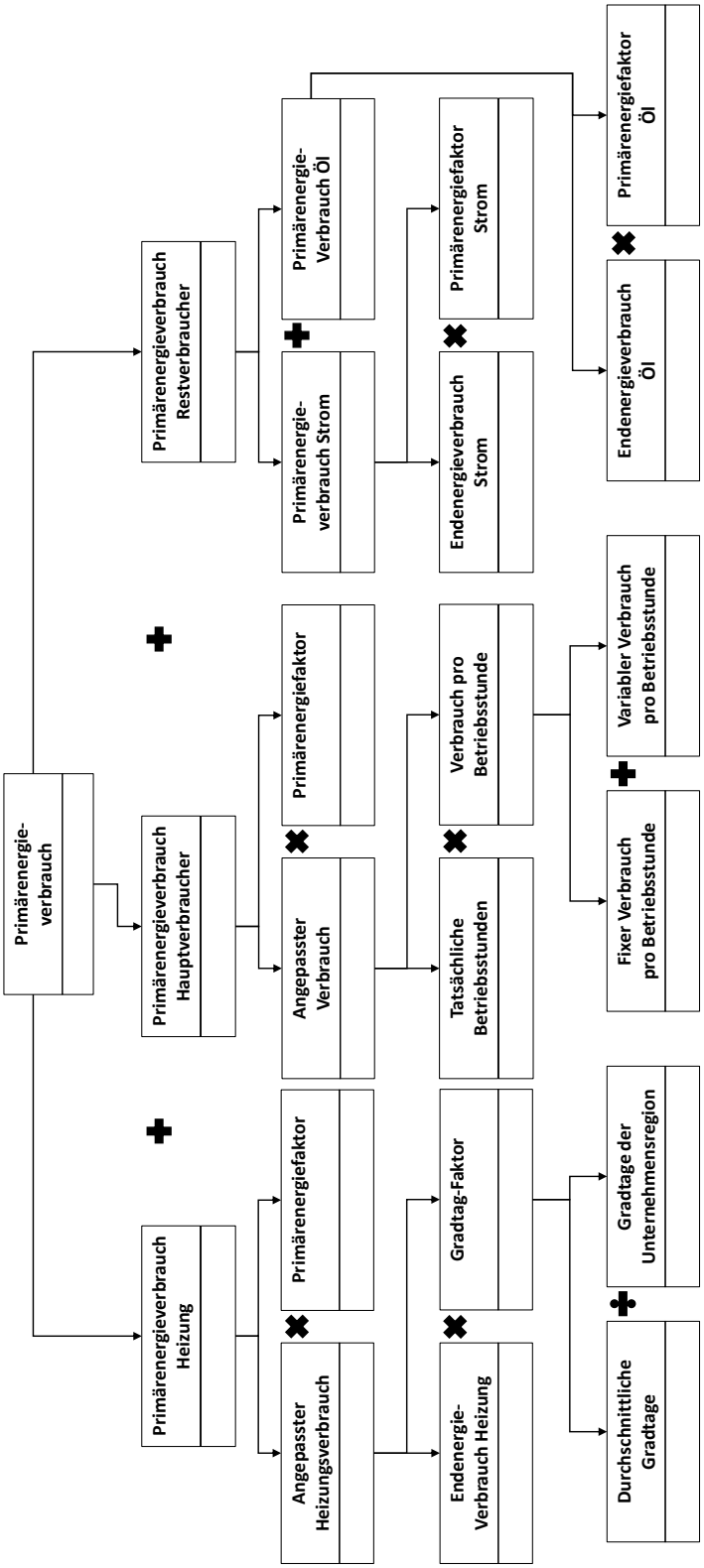
Beim Einsatz des Kennzahlensystems ist zu beachten, dass die derzeitige Datengrundlage der Handwerksbetriebe die exakte Korrektur aller Einflussfaktoren nicht zulässt. Deswegen kann im Rahmen des Benchmarkings die Energieeffizienz nur grob eingeschätzt werden. Weist ein Betrieb einen hohen spezifischen Energieverbrauch auf, sind mittels Energieberatungen Maßnahmen durchzuführen und deren Auswirkungen auf den Energieverbrauch zu messen. Wie bei der Integration der Korrekturfaktoren beschrieben, müssen die einzelnen Faktoren und deren Auswirkungen auf den spezifischen Energieverbrauch geprüft werden. Insbesondere ist dafür zu sorgen, dass realisierte Effizienzsteigerungen nicht ausgeblendet werden. Dazu sind die theoretischen Ansätze des Kennzahlensystems in der Praxis zu prüfen.

Für den weitergehenden Einsatz des Kennzahlensystems ist die Erfassung zusätzlicher Energiedaten wünschenswert. Dadurch kann der Energiefluss innerhalb der Handwerksbetriebe erfasst und die Kor-

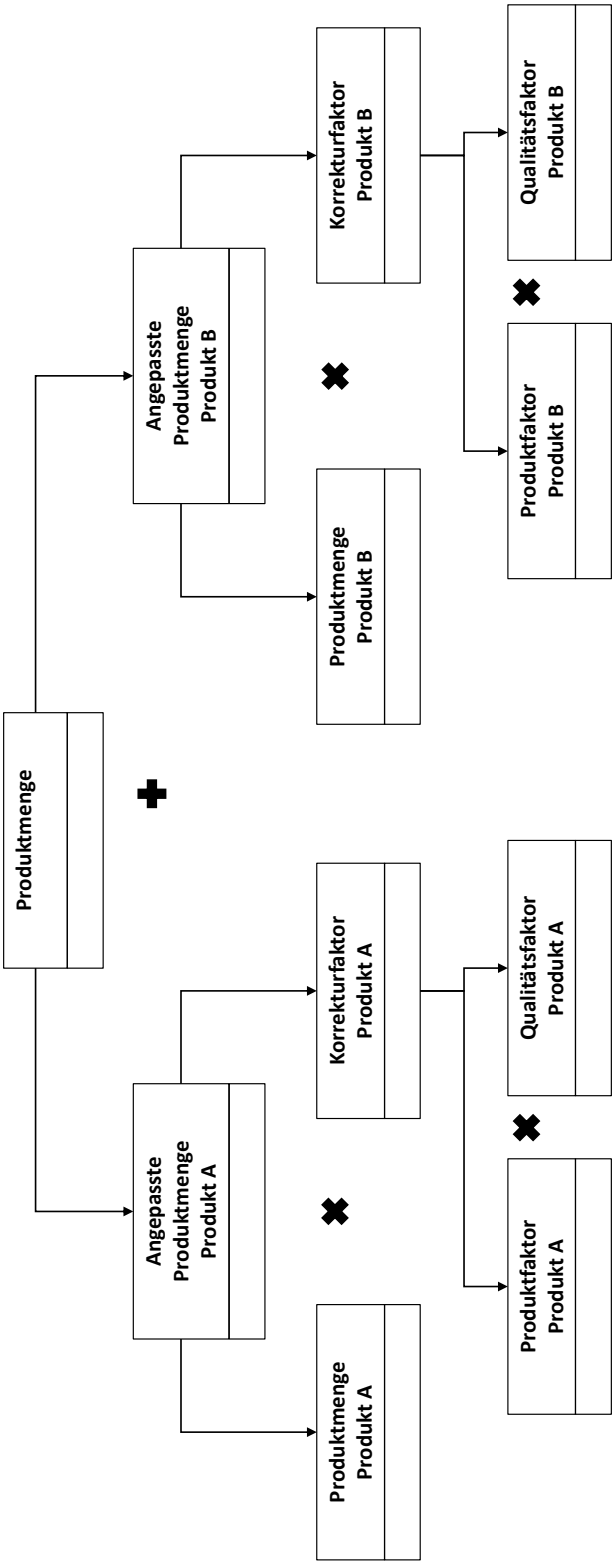
rektur der Einflussfaktoren exakter durchgeführt werden. Mittels einer Datenerfassung auf Prozess- oder Maschinenebene könnten die Bilanzgrenzen enger gesetzt und ein genauerer Vergleich der einzelnen Vorgänge durchgeführt werden. Zur Steigerung der Aussagekraft des Benchmarkings könnten im weiteren Verlauf zusätzliche Gruppierungen der Unternehmen nach der Betriebsart oder der Unternehmensgröße durchgeführt und zusätzliche Korrekturfaktoren entwickelt werden.

Anhang

Anhang 1: Korrektur des Primärenergieverbrauchs



Anhang 2: Korrektur der Produktmenge



Anhang 3: Primärenergiefaktoren

Energieträger		Primärenergiefaktoren f_p	
		insgesamt	nicht erneuerbarer Anteil
		A	B
Fossile Brennstoffe	Heizöl EL	1,1	1,1
	Erdgas H	1,1	1,1
	Flüssiggas	1,1	1,1
	Steinkohle	1,1	1,1
	Braunkohle	1,2	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,5	0,5
	Bioöl	1,5	0,5
	Holz	1,2	0,2
Nah-/Fernwärme aus KWK[b]	fossiler Brennstoff	0,7	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,7	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	1,3	0,1
Strom	allgemeiner Strommix	2,8	2,4
	Verdrängungsstrommix	2,8	2,8
Umweltenergie	Solarenergie	1,0	0,0
	Erdwärme, Geothermie	1,0	0,0
	Umgebungswärme	1,0	0,0
	Umgebungskälte	1,0	0,0
Abwärme innerhalb des Gebäudes	aus Prozessen, siehe 3.1.32	1,0	0,0

[a] Bezugsgröße Endenergie: Heizwert H_1

b Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %

Anhang 4: Berechnungsbeispiel für eine Bäckerei

Heizung	
Energieträger	Öl
Verbrauchsanteil am Primärenergieverbrauch	15 %
Gradtage Unternehmen	400
durchschnittliche Gradtage	500

Ofen	
Energieträger	Strom
Verbrauchsanteil am Primärenergieverbrauch	55%
Anlagenalter	1 Jahr
Nutzungsdauer	8 Jahre
Spannweite	20 % - 40 %
tatsächliche Auslastung	185 h
maximale Auslastung	200 h

Basisprodukt	Brote
Anzahl	500 Stück
Fertigungskosten	1,00 €
Herstellkosten	2,00 €
durch. Herstellkosten	2,30 €

Produkt A	Torten
Anzahl	150 Stück
Fertigungskosten	5,00 €
Herstellkosten	8,00 €
durch. Herstellkosten	7,80 €

Primärenergiefaktoren	
Öl	1,1
Strom	2,8

Energieverbrauch	Unternehmen
Öl	500 kWh
Strom	1000 kWh

$$\text{Berechnung Gesamtenergeiverbrauch} = 500\ \text{kWh} * 1{,}1 + 1000\ \text{kWh} * 2{,}8 = 3350\ \text{kWh}$$

$$Berechnung\ des\ Primärenergieverbrauchs\ Heizung = 3350 * \frac{15}{100} = 502{,}5\ kWh$$

$$\text{Berechnung des Endenergieverbrauchs Heizung} = \frac{502{,}5\ kWh}{1{,}1} = 456{,}82\ kWh$$

$$Berechnung\ des\ Primärenergieverbrauchs\ Ofen = 3350 * \frac{55}{100} = 1842{,}5\ kWh$$

$$\text{Berechung Endenergieverbrauch Ofen} = \frac{1842{,}5\ kWh}{2{,}8} = 658{,}04\ \text{kWh}$$

$$\text{Berechnung des Restverbrauchs an Öl} = 500\ \text{kWh} - 456{,}82\ \text{kWh} = 43{,}18\ kWh$$

$$\text{Berechnung des Restverbrauchs an Strom} = 1000\ \text{kWh} - 658{,}04\ \text{kWh} = 341{,}96$$

$$\text{Berechnung des fixen Energieanteils des Ofen} = 40\ \% - 20\ \% * \frac{1}{8} = 37{,}5\ \%$$

Berechnung des fixen Energieverbrauchs des Ofens

$$= 658{,}04\ \text{kWh} * \frac{37{,}5}{100} = 246{,}77\ \text{kWh}$$

Berechnung des variablen Energieverbrauchs des Ofens

$$= 658{,}04\ \text{kWh} * \frac{62{,}5}{100} = 411{,}27\ \text{kWh}$$

Berechnung des fixen Energieverbrauchs pro Betriebsstunde

$$= \frac{246{,}77}{200\ \text{h}} = 1{,}23\ \text{kW}$$

Berechnung des variablen Energieverbrauchs pro Betriebsstunde

$$= \frac{411{,}27\ \text{kWh}}{185\ \text{h}} = 2{,}22\ \text{kW}$$

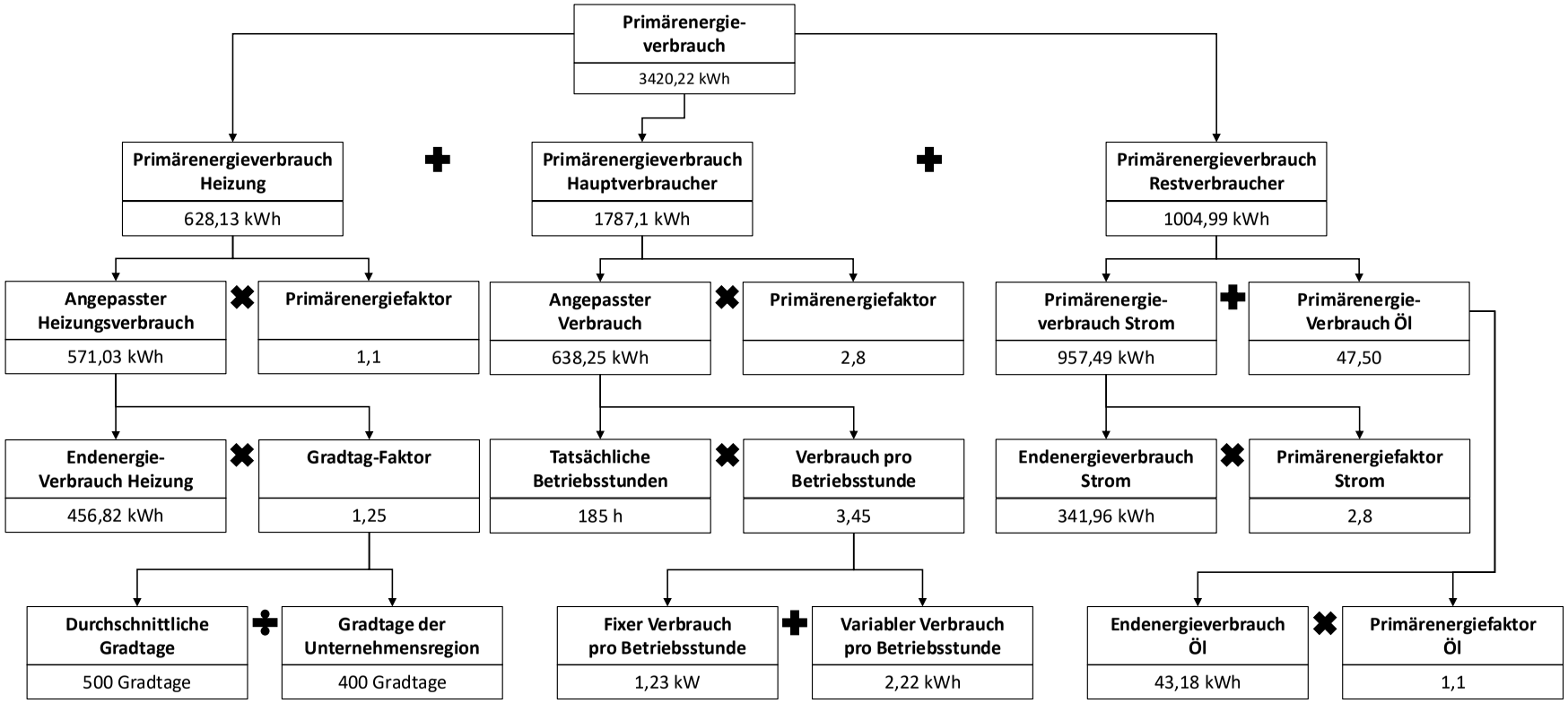
$$\text{Berechnung des Produktfaktors für die Torten} = \frac{5\ €}{1\ €} = 5$$

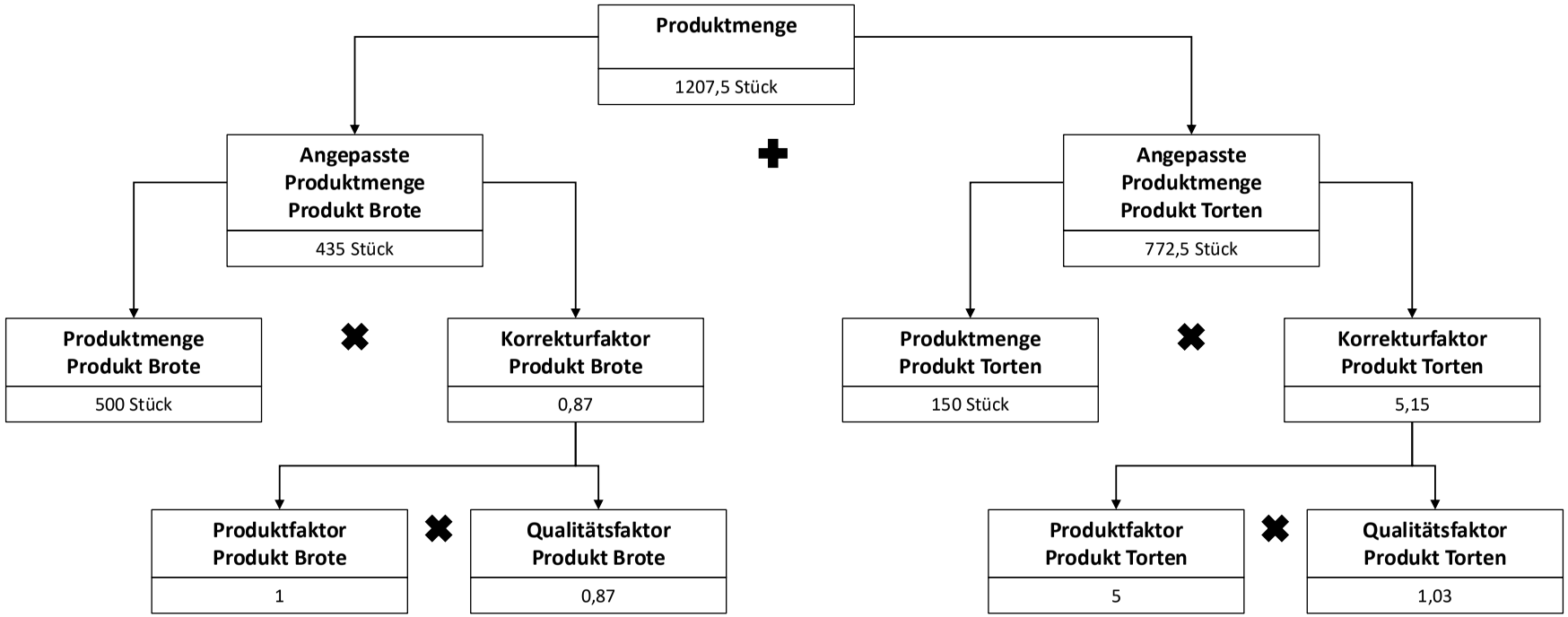
$$\text{Berechnung des Qualitätsfaktors für die Brote} = \frac{2\ €}{2{,}3\ €} = 0{,}87$$

$$\text{Berechnung des Qualitätsfaktors für die Torten} = \frac{8\ €}{7{,}8\ €} = 1{,}03$$

Die ermittelten Werte werden in das Kennzahlensystem eingetragen. Daraus wird der Primärenergieverbrauch von 3420,22 kWh und die Produktmenge von 1207,5 Stück ermittelt.

$$\text{Ermittlung des spezifischen Energieverbrauchs} = \frac{3420{,}22\ \text{kWh}}{1207{,}5\ \text{Stück}} = 2{,}83\ \text{kWh/Stück}$$


Primärenergie-verbrauch
3420,22 kWh
Primärenergieverbrauch Heizung
628,13 kWh
Primärenergieverbrauch Hauptverbraucher
1787,1 kWh
Primärenergieverbrauch Restverbraucher
1004,99 kWh
Angepasster Heizungsverbrauch
571,03 kWh
Primärenergiefaktor
1,1
Angepasster Verbrauch
638,25 kWh
Primärenergiefaktor
2,8
Primärenergie-verbrauch Strom
957,49 kWh
Primärenergie-Verbrauch Öl
47,50
Endenergie-Verbrauch Heizung
456,82 kWh
Gradtag-Faktor
1,25
Tatsächliche Betriebsstunden
185 h
Verbrauch pro Betriebsstunde
3,45
Endenergieverbrauch Strom
341,96 kWh
Primärenergiefaktor Strom
2,8
Durchschnittliche Gradtage
500 Gradtage
Gradtage der Unternehmensregion
400 Gradtage
Fixer Verbrauch pro Betriebsstunde
1,23 kW
Variabler Verbrauch pro Betriebsstunde
2,22 kWh
Endenergieverbrauch Öl
43,18 kWh
Primärenergiefaktor Öl
1,1


Produktmenge
1207,5 Stück
Angepasste Produktmenge Produkt Brote
435 Stück
Angepasste Produktmenge Produkt Torten
772,5 Stück
Produktmenge Produkt Brote
500 Stück
Korrekturfaktor Produkt Brote
0,87
Produktmenge Produkt Torten
150 Stück
Korrekturfaktor Produkt Torten
5,15
Produktfaktor Produkt Brote
1
Qualitätsfaktor Produkt Brote
0,87
Produktfaktor Produkt Torten
5
Qualitätsfaktor Produkt Torten
1,03

Literaturverzeichnis

Àlvarez, Iria (2013): Branchenorientierte und IT-gestützte Energieeffizienz und Benchmarking in KMU-Netzwerken, in: IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement - Konferenzband zu den 5. BUIS-Tagen, hrsg. v. Jorge Marx Gómez, Corinna Lang und Volker Wohlgemuth, Berlin u.a. 2013, S. 21 - 33.

Bayrisches Landesamt für Umweltschutz (2003): Bäckerhandwerk - Energiesparen - Kosten senken!, URL: https://www.lfu.bayern.de/energie/co2_minderung/doc/leitfaden_baecker.pdf, 22.01.17, 12:30 Uhr.

BESS-Projekt (o. J.): Erläuterung des Web-basierten BESS Benchmarking Systems, URL: http://www.energymanagement.at/fileadmin/elearning/Benchmarking/Benchmarking_Erlaeuterung.pdf, 22.01.17, 12:30 Uhr.

Boyd, Gale (2005): A Method for Measuring the Efficiency Gap between Average and Best Practice Energy Use - The Energy Star Industrial Energy Performance Indicator, in: Journal of Industrial Ecology, Heft 3 (9) 2005, S. 51 - 65.

Boyd, Gale / Dutrow, Elizabeth / Tunnessen, Walt (2008): The evolution oft he Energy Star® energy performance indicator for benchmarking industrial plant manufacturing energy use, in: Journal of Cleaner Production, Heft 6 (16) 2008, S. 709 - 715.

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2014): Mehr aus Energie machen - Nationaler Aktionsplan Energieeffizienz, URL: https://www.bmwi.de/BMWi/Redaktion/PDF/M-O/nationaler-aktionsplan-energieeffizienznape,property=pdf,bereich=bmwi2012,sprache=de,rwb=true.pdf, 22.01.17, 12:30 Uhr.

Bunse, Katharina / Vodicka, Matthias / Schönsleben, Paul / Brülhart, Marc / Ernst, Frank O. (2011): Integrating energy efficiency performance in production management – gap analysis between industrial needs and scientific literature, in: Journal of Cleaner Production, Heft 6 - 7 (19) 2011, S. 667 - 679.

Deutscher Wetterdienst (o. J. a): Kostenfreie Gradtagzahlen/Gradtage, URL: http://www.dwd.de/DE/leistungen/gtz_kostenfrei/gtz_kostenfrei.html, 22.01.17, 12:30 Uhr.

Deutscher Wetterdienst (o. J. b): Vorläufige Gradtagzahlen für ausgewählte Orte in Deutschland, URL: http://www.dwd.de/DE/leistungen/_config/leistungsteckbriefPublication.pdf?view=nasPublication&nn=16102&imageFilePath=852410871656101047359141498438028586034844062790513670761603149160129472275995347657887454244211914610518351794509948093874033795764888236346441209386131180948469890154987511793533795084360639149607339378687109888771021733246228372857984534351756319 7&download=true, 06.03.17, 10:30 Uhr.

DIN (2012): DIN EN 16231 - Energieeffizienz-Benchmarking-Methodik; Deutsche Fassung EN 16231:2012, Berlin 2012.

EU-Kommission (2003): Empfehlung der Kommission vom 6. Mai 2003 betreffend die Definition der Kleinstunternehmen sowie der kleinen und mittleren Unternehmen, in: Amtsblatt der Europäischen Union, vom: 20.05.2003, L124/36 - L 124/41, URL: http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32003H0361&from=DE, 22.01.17, 12:30 Uhr.

Eurochambers - The European Association of Chambers of Commerce and Industry (2010): Energy Efficiency in SMEs: Success Factors and Obstacles, URL: http://www.eurochambres.eu/Content/Default.asp?PageID=1&DocID=2852, 22.01.17,12:30 Uhr.

Eurostat (2008): NACE Rev. 2 - Statistische Systematik der Wirtschaftszweige in der Europäischen Gemeinschaft, URL: http://ec.europa.eu/eurostat/documents/3859598/5902453/KS-RA-07-015-E.PDF/680c5819-8a93-4c18-bea6-2e802379df86?version=1.0,22.01.17, 12:30 Uhr.

Eurostat (o. J. a): Prodcom - Produktionsstatistiken, URL: http://ec.europa.eu/eurostat/de/web/prodcom, 22.01.17, 12:30 Uhr.

Eurostat (o. J. b): EXCEL-Tabellen (NACE REV. 2) - jährliche Prodcom-Daten 2015 - Label, URL: http://ec.europa.eu/eurostat/documents/120432/120476/Website_snapshot_2015_N2.xlsx/41d99763-855a-4d70-aa78-c54a75ff6d5c, 22.01.17, 12:30 Uhr.

Farla, Jacco / Blok, Kornelis / Schipper, Lee (1997): Energy efficiency developments in the pulp and paper industry - A cross-country comparison using physical production data, in: Energy Policy, Heft 7 - 9 (25) 1997, S. 745 - 758.

Fleiter, Tobias / Schlomann, Barbara / Eichhammer, Wolfgang (2013): Energieverbrauch und CO_2-Emissionen industrieller Prozesstechnologien - Einsparpotenziale, Hemmnisse und Instrumente, URL: http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/x/de/publikationen/Umweltforschungsplan_FKZ-370946130.pdf, 22.01.17, 12:30 Uhr.

Handwerkskammer Münster (o. J.): Der energieeffiziente Friseursalon, URL: http://www.mittelstand-energiewen-de.de/fileadmin/user_upload_mittelstand/MIE_vor_Ort/Der_energieeffiziente_Friseursalon.pdf, 22.01.17, 12:30 Uhr.

Hessel, Volker (2014): Energiekennzahlen als Grundlage des Energiecontrollings, in: Der Controlling Berater, Bd. 33 Energiecontrolling, hrsg. v. Ronald Gleich und Andreas Klein, Freiburg u. a. 2014, S. 43 - 58.

Horváth, Péter (2011): Controlling, 12. Auflage, München, 2011.

Institut für Mittelstandsforschung (o. J. a): Mittelstand im Überblick, URL: http://www.ifm-bonn.org/statistiken/mittelstand-im-ueberblick/#accordion=0&tab=1, 22.01.17, 13:00 Uhr.

Institut für Mittelstandsforschung (o. J. b): KMU-Definition der Europäischen Kommission, URL: http://www.ifm-bonn.org/definitionen/kmu-definition-der-eu-kommission/, 22.01.17, 13:00 Uhr.

IREGIA e. V. / Sächsische Energieagentur GmbH / Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie / Technische Universität Chemnitz - Professur Fabrikplanung und Fabrikbetrieb (2009): Verbesserung der Energiekompetenz in KMU - Leitfaden für das Energie-Benchmarking, URL: http://docplayer.org/5179481-Verbesserung-der-energiekompetenz-in-kmu-iec-sme-leitfaden-fuer-das-energie-benchmarking.html, 22.01.17, 13:30 Uhr.

Kals, Johannes (2010): Betriebliches Energiemanagement - Eine Einführung, Stuttgart 2010.

Kapusta, Friedrich (2010): KMU-Initiative zur Energieeffizienzsteigerung - Begleitstudie: Kennwerte zur Energieeffizienz in KMU, URL: https://www.klimafonds.gv.at/assets/Uploads/Studien/08053KMU-Branchenkennwerte-Endbericht2QklimafondsJuli2011.pdf, 22.01.17, 13:00 Uhr.

Kapusta, Friedrich (2011): Auswertung der Ergebnisse der KMU-Scheck-Beratungen für sechs ausgewählte Branchen - Fleischer, Bäcker, Drucker, Metallverarbeiter, Tischler, KFZ-Betriebe, URL: http://www.klimaaktiv.at/dam/jcr:0884946a-44c6-44f5-8183-d8b6001138cd/KMU_Scheckauswertung%20produzierende%20Betriebe.pdf, 22.01.17, 13:00 Uhr.

Küpper, Hans-Ulrich / Friedl, Gunther / Hofmann, Christian / Hofmann, Yvette / Pedell, Burkhard (2013): Controlling - Konzeption, Aufgaben, Instrumente, 6. Auflage, Stuttgart, 2013.

Layer, Günther / Matula, Frank / Saller, Alexander / Rahn, Rüdiger (1999): Ermittlung von Energiekennzahlen für Anlagen, Herstellungsverfahren und Erzeugnisse - Zielsetzung, Durchführung, Methodik, Kennzahlen, URL: https://www.ffe.de/download/langberichte/Kennzahlen.pdf, 22.01.17, 13:00 Uhr.

Löffler, Thomas (2011): Energiekennzahlen für Betriebsvergleiche - Abschlussbericht, URL: http://www.saena.de/download/Unternehmen/11_01_31_Endbericht.pdf, 22.01.17, 13:00 Uhr.

May, Gökan / Barletta, Ilaria / Stahl, Bojan / Taisch, Marco (2015): Energy management in production: A novel method to develop key performance indicators for improving energy efficiency, in: Applied Energy, Heft 149 2015, S. 46 - 61.

May, Gökan / Taisch, Marco / Prabhu, Vittal V. / Barletta, Ilaria (2013): Energy Related Key Performance Indicators - State oft he Art, Gaps and Industrial Needs, in: Advances in Production Management Systems - Sustainable Production and Service Supply Chains, hrsg. v. Vittal Prabhu, Marco Taisch und Dimitris Kirtsis, Berlin u. a. 2013, S. 257 - 267.

Meyer, Andrea (2013): Referenzmodell für eine branchenorientierte Energieeffizienzsoftware für KMU, in: IT-gestütztes Ressourcen- und Energiemanagement - Konferenzband zu den 5. BUIS-Tagen, hrsg. v. Jorge Marx Gómez, Corinna Lang und Volker Wohlgemuth, Berlin 2013, S. 11 - 19.

Miller, Michael / Bubeck, Steffen / Hufendiek, Kai (2016): Zur Methodik von Effizienzbewertungen im energiewirtschaftlichen Kontext, in: Zeitschrift für Energiewirtschaft, Heft 3 (40) 2016, S. 105 - 125.

Patterson, Murray G. (1996): What is energy efficiency - Concepts, indicators and methodological isssues, in: Energy Policy, Heft 5 (24) 1996, S. 377 - 390.

Phylipsen, G.J.M / Blok, Kornelis / Worrell, Ernst (1997): International comparison of energy efficiency - Methodologies for the manufacturing industry, in: Energy Policy, Heft 7 - 9 (25) 1997, S. 715 - 725.

Ratjen, Georg / Lackner, Petra / Kahlenborn, Walter / Gsellmann, Julia (2013): Energieeffizienz-Benchmarking - Methodische Grundlagen für die Entwicklung von Energieeffizienz-Benchmarkingsystemen nach EN 16231, URL: https://www.adelphi.de/de/system/files/mediathek/bilder/endbericht_energie-effizienz-benchmarking_1_0.pdf, 22.01.17, 13:00 Uhr.

Runst, Petrik (2016): Energiekosten, Energieeffizienz und Nachhaltigkeit im Handwerk - Eine Auswertung der ZDH-Energieumfrage, URL: http://www.ifh.wiwi.uni-goettingen.de/sites/default/files/ifh%20gbh%207%202016.pdf, 22.01.17, 13:30 Uhr.

Safner, Boris (2015): Primärenergiefaktoren - Der Zusammenhang von Primärenergie und Endenergie in der energetischen Bewertung, URL: https://www.bdew.de/internet.nsf/id/06FBC70ECF24F3A7C1257E51003DA425/$file/705_2015-04-22_Grundlagenpapier-Primaerenergiefaktoren.pdf, 22.01.17, 13:30 Uhr.

Schulze, Mike / Gleich, Ronald (2014): Energiecontrolling: Grundlagen, Aufgaben, Instrumente und Organisation, in: Der Controlling Berater, Bd. 33 Energiecontrolling, hrsg. v. Ronald Gleich und Andreas Klein, Freiburg u. a. 2014, S. 27 - 42.

Schwartz, Michael / Braun, Marlene (2013): Energiekosten und Energieeffizienz im Mittelstand, URL: https://www.kfw.de/PDF/Download-Center/Konzernthemen/Research/PDF-Dokumente-Fokus-Volkswirtschaft/Fokus-Nr.-40-Dezember-2013-Energieeffizienz-im-Mittelstand.pdf, 22.01.17, 13:30 Uhr.

Scofield, John H. (2014): ENERGY STAR Buidling Benchmarking Scores: Good Idea, Bad Science, URL: http://aceee.org/files/proceedings/2014/data/papers/3-725.pdf, 22.01.17,13:30 Uhr.

Sorrell, Steve / O'Malley, Eoin / Schleich, Joachim / Scott, Sue (2004): Understanding Barriers to Energy Efficiency, in: The Economics of Energy Efficiency - Barriers to cost-effective investment, hrsg. v. Steve Sorrell, Eoin O'Malley, Joachim Schleich und Sue Scott, Cheltenham 2004, S. 25 - 93.

Tajthy, Miett (2009): Expanding the Benchmarking and Energy management Schemes in SMEs to more Members States and candidate countries - Publishable Final Report, URL: https://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/exbess_publishable_report.pdf, 22.01.17, 13:30 Uhr.

Tan, Yee Shee / Tjandra, Tobias Bestari / Song, Bin (2015): Energy Efficiency Benchmarking Methodology for Mass and High-Mix Low-Volume Productions, in: Procedia CIRP, (29) 2015, S. 120 - 125.

VDI (2013): VDI 3807 Blatt 1 - Verbrauchskennwerte für Gebäude - Grundlagen, Düsseldorf 2013.

VDI (2014): VDI 4661 - Energiekenngrößen - Grundlagen - Methodik, Düsseldorf 2014.

Wajer, Boudewijn Huegnes / Helgerud, Hans Even / Lackner, Petra (2007): Benchmarking and energy management schemes in SMEs, URL: http://www.eceee.org/library/conference_proceedings/eceee_Summer_Studies/2007/Panel_7/7.370/paper, 22.01.17, 13:30 Uhr.

Waltenberger, Georg (2005): Energiemanagement in der Industrie - Die energiewirtschaftlichen Grundlagen, Lohmar 2005.

Wanke, Andreas / Trenz, Stefan (2001): Energiemanagement für mittelständische Unternehmen - Rationeller Energieeinsatz in der Praxis - Arbeitsschritte - Planungshilfen - Lösungsbeispiele, Köln 2001.

Wilson, Bruce / Trieu, Luan Ho / Bowen, Bruce (1994): Energy efficiency trends in Australia, in Energy Policy, Heft 4 (22) 1994, S. 287 - 295.

Wohinz, Josef W. / Moor, Michael (1989): Betriebliches Energiemanagement - Aktuelle Investitionen in die Zukunft, Wien u. a. 1989.

Zentralverband des Deutschen Handwerks e. V. (o. J.): Gewerke / KFZ / Einführung, URL: http://www.energieeffizienz-handwerk.de/gewerke/242/Einf%C3%BChrung, 22.01.17, 13:30.