

Bachelorarbeit in der Angewandten Informatik

Registriernummer: AI-2024-BA-030

**Konzeption und Entwicklung einer datenbankseitigen Abbildung von
frei definierbaren Bilanzräumen im Zusammenhang mit dem
Energiemanagementsystem EMS-EDM PROPHET® nach ISO 50001.**

Fabian Heinlein

in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut Angewandte Systemtechnik (IOSB-AST)

Abgabedatum: 28.02.2024

Prof. Dr. Marcel Spehr
Sven Möller

Kurzfassung

Abstract

Vorwort

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	i
Abstract	ii
Vorwort	iii
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	1
1.2 Problemstellung	2
1.3 Ziel der Arbeit	3
1.4 Aufbau der Arbeit	3
2 Stand der Forschung und Theoretische Grundlagen	6
2.1 Bilanzräume im Kontext der Energiebilanzierung	6
2.1.1 Grundlagen der Energiebilanzierung	6
2.1.2 Bilanzraumkonzept	9
2.2 Energiemanagement nach ISO 50001	13
2.2.1 Bewertung der Energiebezogenen Leistung	13
2.2.2 Identifikation wesentlicher Energieeinsätze	17
2.2.3 Methodik zur Erfüllung von ISO 50001 Anforderungen	19
3 Konzeption und implementation in EMS-EDM Prophet®	21
4 Evaluation	22
5 Fazit	23
A Anhang	26

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Angesichts wachsender Umweltbelastungen und der Notwendigkeit nachhaltiger Praktiken spielt das Energiemanagement eine immer bedeutendere Rolle. Diese Arbeit untersucht die Entwicklung einer datenbankseitigen Lösung zur Abbildung frei definierbarer Bilanzräume im Energiemanagementsystem EMS-EDM PROPHET® nach DIN EN ISO 50001:2018-12. Sie wird durch das Potenzial, bei der Verbesserung der energiebezogenen Leistung und Energieeffizienz von Organisationen im tertiären Wirtschaftssektor durch die Erfüllung ausgewählter Kriterien der DIN EN ISO 50001:2018-12 zu unterstützen, motiviert. Bilanzräume stellen das zentrale Konzept der Arbeit dar und werden im Rahmen dieser als Einheiten betrachtet, die zur digitalen Abbildung von Organisationsstrukturen im Energiemanagement und als administrative Grenze zur Bilanzierungsrechnung dienen. Die Adressierung der Arbeit auf die freie definierbare Gestaltung der Bilanzräume soll eine Möglichkeit bieten, der Diversität von Organisationen innerhalb des tertiären Wirtschaftssektors gerecht zu werden und einen Einsatz der Forschungsergebnisse in solchen Organisationen mit dem EDM-EMS-Prophet® ermöglichen. Die Untersuchung soll zur Weiterentwicklung nachhaltiger Energiemanagementpraktiken beitragen und Einblicke in die Integration technischer Lösungen in bestehende Systeme bieten.

Ein wesentlicher Fokus dieser Arbeit liegt auf der DIN EN ISO 50001:2018-12, einer Norm der Internationalen Organisation für Normung (ISO), die Anforderungen an Energiemanagementsysteme festlegt. Diese Norm ist universell einsetzbar, unabhängig von Größe, Art oder Standort der Organisation (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 10), und dient der fortlaufenden Verbesserung der energiebezogenen Leistung. (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 7). Um die Anforderungen der DIN EN ISO 50001:2018-12 zu erfüllen, müssen Organisationen den kontinuierlichen Fortschritt ihrer energiebezogenen Leistung nachweisen, wobei die Norm keine spezifischen Zielniveaus vorgibt. (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 10).

Die Umsetzung der DIN EN ISO 50001:2018-12 in Organisationen bringt sowohl operationale als auch organisatorische Herausforderungen mit sich [S. 11](Marimon und Casadesús, 2017). Dennoch lag im Jahr 2023 in 24.924 Organisationen weltweit ein Zertifikat nach DIN EN ISO 50001:2018-12 vor (International Organization for Standardization, 2023). Dies ist bemerkenswert, da die Erfüllung der Normanforderungen voraussichtlich etwa 60 % des globalen Energieverbrauchs beeinflussen kann (**International Organization for Standardization. 2011**, zitiert nach Marimon und Casadesús, 2017, S. 1). Darüber hinaus entstehen für Organisationen durch die Einführung der Norm signifikante Vorteile.

Zum einen können nach Aussagen der DIN EN ISO 50001:2018-12 (2018, S. 9) ökonomische Vorteile wie Energieeinsparungen erzielt werden, wodurch Organisationen einen Wettbewerbsvorteil aufgrund sinkender Energiekosten erlangen können. Zum anderen ergeben sich operationale Vorteile wie eine gesteigerte Produktivität, verbesserte Qualität und ein strukturierter Ansatz zur Prozessoptimierung (Marimon und Casadesús, 2017). Des Weiteren kann die Umsetzung der DIN EN ISO 50001:2018-12 dazu beitragen, die allgemeinen Klimaschutzziele zu erreichen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a). Dies unterstreicht die gesellschaftliche Bedeutung der Norm, insbesondere angesichts der Her-

ausforderungen des Klimawandels.

Die Umsetzung der DIN EN ISO 50001:2018-12 basiert auf dem PDCA-Zyklus (Plan, Do, Check, Act), der Organisationen einen strukturierten Rahmen für die fortlaufende Verbesserung der energiebezogenen Leistung bieten soll (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 7f.). Während die Norm in erster Linie Anforderungen auf Managementebene formuliert, verweist sie auch auf technische Normen wie die E DIN ISO 50006:2024-07, die unter anderem spezifische Anforderungen an Energieleistungskennzahlen und energetische Ausgangsbasen definiert (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, 2024).

1.2 Problemstellung

Problembeschreibung

Forschungsfrage: "Welche strukturellen Erweiterungen und Anpassungen müssen auf Datenbankebene in EMS-EDM PROPHET® vorgenommen werden, um das Energiemanagementsystem zur Abbildung von frei definierbaren Bilanzräumen zu ermächtigen, die Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors bei der Erfüllung von Anforderungen der ISO 50001 unterstützt?"

Die DIN EN ISO 50001:2018-12 stellt Organisationen vor die Herausforderung, eine fortlaufende Verbesserung ihrer energiebezogenen Leistung nachzuweisen. In diesem Kontext spielen die Anforderungen an ein Energiemanagementsystem eine zentrale Rolle. Bilanzräume, die auf dem thermodynamischen Konzept der Bilanzierung basieren, bieten Potenzial, Organisationen bei der Erfüllung der Normvorgaben zu unterstützen, indem sie systematisch in das Energiemanagementsystem integriert werden.

Das Energiemanagement EMS-EDM PROPHET® steht vor dem Problem, frei definierbare Bilanzräume abzubilden und somit zur Erfüllung von Teilen der Anforderungen der DIN EN ISO 50001:2018-12 beizutragen. Um dieses Problem zu lösen, sind strukturelle Änderungen und Erweiterungen der Datenbank notwendig. Somit besteht das zentrale Problem dieser Arbeit darin, Anpassungen und Erweiterungen am Datenbanksystem von EMS-EDM Prophet® zur Abbildung frei definierbarer Bilanzräume zu konzipieren und zu implementieren um Teile der von der DIN EN ISO 50001:2018-12 gestellten Anforderungen, die im Rahmen dieser Arbeit erarbeitet werden zu erfüllen.

Die Problemlösung umfasst alle Aspekte, die auf Grundlage der Vorgaben der Norm sowie praktischer Gegebenheiten konzipiert und auf Datenbankebene umgesetzt werden müssen, um EMS-EDM PROPHET® so zu erweitern, dass das System in der Lage ist, Organisationen bei der Erfüllung der ISO 50001 zu unterstützen. Dies gilt insbesondere für Anforderungen, die durch die Abbildung von Bilanzräumen adressiert werden können.

Aufgrund der Anwendbarkeit der DIN EN ISO 50001:2018-12 auf alle Organisationen ist die freie Definierbarkeit der Bilanzräume ein Qualitätskriterium des zu entwerfenden Systems und spielt bei der Beantwortung der Forschungsfrage eine zentrale Rolle. Die breite Anwendbarkeit der Norm impliziert außerdem die Notwendigkeit, praktische Herausforderungen beim Einsatz der Lösung zu berücksichtigen und Anwendungsgebiete des entworfenen Konzepts zu betrachten, um der praktischen Relevanz dieser Arbeit gerecht zu werden.

Die Menge aller Organisationen für die die DIN EN ISO 50001:2018-12 eine Relevanz hat ist aufgrund ihrer Breiten Anwendbarkeit sehr groß und divers. Das wirkt sich auch auf die Anforderungen an die zu entwerfende Problemlösung aus. Um den Umfang der Arbeit zu reduzieren und die Präzision und Tiefe der Arbeit zu erhöhen befasst sich diese Forschungsarbeit mit Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors.

Praktische Relevanz des Problemraums

Das beschriebene Problem weist eine praktische Relevanz auf, da es die Herausforderungen der DIN EN ISO 50001:2018-12 im Energiemanagement von Organisationen adressiert. Die bestehenden Anforderungen der DIN EN ISO 50001:2018-12 und der aktuelle Zustand von EMS-EDM Prophet® stellen praxisnahe Qualitätskriterien an die Abbildung von Bilanzräumen. Eine Herausforderung besteht darin, ein Konzept zur Änderung und Erweiterung des bestehenden Datenbankmodells zu entwickeln, das diese Anforderungen

erfüllt und gleichzeitig praxisnah und umsetzbar ist. Die Berücksichtigung von aus der Praxis abgeleiteten Anforderungen ist dabei unerlässlich. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit einer Methodik, die sowohl theoretische als auch praktische Aspekte integriert. Die Integration der Lösung in EMS-EDM Prophet® stellt sicher, dass sie in bestehenden Organisationen nutzbar ist und deren Energiemanagement unterstützt.

Wissenschaftliche Relevanz des Problemraums

Die Problemstellung weist eine wissenschaftliche Relevanz auf, da im Zuge der Erarbeitung einer Lösung zum einen theoretische Grundsätze des Energiemanagements und der Energiebilanzierung und zum anderen Lösungen verwandter Problemstellungen analysiert werden. Dies soll eine fundierte Lösung der Problembeschreibung ermöglichen, die auf den wissenschaftlichen Grundlagen des Problemraums basiert. Dabei werden die in EMS-EDM Prophet® bestehenden Methoden des Datenmanagements um erarbeitete Ansätze zur Abbildung von Bilanzräumen erweitert. Diese Erweiterungen tragen zur wissenschaftlichen Diskussion über Datenmanagementstrategien im Energiemanagement bei und bieten neue Perspektiven für die Integration des Konzepts: Bilanzraum in datenbankbasierte Systeme. Darüber hinaus fördert die Arbeit den interdisziplinären Austausch zwischen den Bereichen Energiemanagement und Datenbankmodellierung, indem sie theoretische Konzepte des Energiemanagements unter Berücksichtigung des Anwendungsgebiets durch ein erarbeitetes Konzept der Datenbankmodellierung abbildet. Die entwickelten methodischen Ansätze und Modelle können als Grundlage für zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen dienen und die Weiterentwicklung von Energiemanagementsystemen hinsichtlich der Abbildung und Nutzung des Konzepts: Bilanzraum unterstützen.

1.3 Ziel der Arbeit

Das Ziel dieser Arbeit ist die Konzeption, Implementation und Evaluation eines Prototyps, der durch strukturelle Anpassungen und Erweiterungen des EMS-EDM Prophet® die Abbildung frei definierbarer Bilanzräume ermöglicht. Der Prototyp soll einen Mehrwert zur Erfüllung der Anforderungen der DIN EN ISO 50001:2018-12 bieten und in Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors, die EMS-EDM Prophet® nutzen, anwendbar sein. Der erarbeitete Prototyp soll auf den theoretischen Grundlagen des Energiemanagements basieren und bewährte Ansätze aus dem Forschungsgebiet Energiebilanzierung datenbankseitig abbilden. Des Weiteren soll der Prototyp einen Mehrwert zur Erfüllung von ISO 50001 Anforderungen hinsichtlich der Bestimmung von wesentlichen Energieeinsparungen und der Bewertung der energiebezogenen Leistung bieten und den Umfang der im Rahmen des EMS-EDM Prophet® adressierten ISO 50001 Anforderungen erweitern. Außerdem soll der Prototyp praktische Herausforderungen und Gegebenheiten im Anwendungskontext berücksichtigen.

Zur Evaluation des Prototyps soll die Bilanzraumstruktur der Organisation: Fraunhofer IOSB-AST in Ilmenau erarbeitet und im entworfenen Prototyp abgebildet werden. Der angewendete Prototyp soll hinsichtlich der Erfüllung von DIN EN ISO 50001:2018-12 Anforderungen, und der korrekten Abbildung der theoretischen Grundlagen auf qualitative und quantitative Qualitätskriterien evaluiert werden. Im Rahmen der Evaluierung soll die freie Definierbarkeit im Anwendungsgebiet: Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors betrachtet werden.

1.4 Aufbau der Arbeit

Diese Arbeit ist so konzipiert, dass Sie die theoretischen Grundlagen des Problemraums erfasst und Nutzen sowie Herausforderungen im Anwendungsgebiet: EMS nach DIN EN ISO 50001:2018-12 erarbeitet. Basierend auf den theoretischen Grundlagen im Anwendungsbereich und den bestehenden Methoden und Ansätzen des Datenmanagements in EMS-EDM Prophet® wird eine Lösung der Forschungsfrage auf Datenbankebene des Energiemanagementsystems konzipiert, implementiert und evaluiert. Der Aufbau der Arbeit

umfasst drei Hauptabschnitte: die theoretischen Grundlagen und der Stand der Wissenschaft, die Konzeption und Implementation, und die Evaluation.

1. Theoretische Grundlagen und Stand der Wissenschaft

Die praxisnahe Problemstellung erfordert eine anwendungsorientierte Forschung unter Berücksichtigung der Interdisziplinarität. Im theoretischen Teil der Arbeit werden zwei Themenbereiche betrachtet: Grundlagen der Energiebilanzierung unter Nutzung von Bilanzräumen und Energiemanagementsysteme nach DIN EN ISO 50001:2018-12. In beiden Themenbereichen findet die Erarbeitung der Grundlagen unter Beachtung des Anwendungsgebiets: Organisation im tertiären Wirtschaftssektor statt.

Für die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen des Energiemanagements werden im ersten Hauptabschnitt der Arbeit die DIN EN ISO 50001:2018-12, damit verbundene Normen und Basiswissen aus für den Problemraum relevanter Fachliteratur analysiert. Außerdem werden wissenschaftliche Arbeiten aus verwandten Problemräumen analysiert und in den Kontext dieser Arbeit gesetzt. Auf dieser Basis werden theoretische Konzepte und Anforderungen aus dem Problemraum abgeleitet, die für die Lösung der Forschungsfrage relevant sind.

Der erste Hauptabschnitt der Arbeit hat somit eine zentrale Bedeutung zum Erreichen der Interdisziplinarität der Forschung. Die umfangreiche Erarbeitung von Konzepten des Energiemanagements, Anforderungen von Anforderungen der ISO 50001 und den Einsatzmöglichkeiten von Bilanzräumen zur praxisnahen Erfüllung dieser Anforderungen auf Basis der Konzepte stellen eine detaillierte Analyse des Anwendungsbereichs dieser Forschung dar. Diese detaillierte Analyse, ohne technische Perspektive der Datenbankmodellierung, ist notwendig um der Interdisziplinarität des Problemraums aus Sicht des Energiemanagements und der Energiebilanzierung gerecht zu werden. Die erarbeiteten Grundlagen des Anwendungsbereichs: Energiemanagement wird im nächsten Hauptabschnitt, der Konzeption und Implementation, aufgegriffen und aus einer technischen Sicht des Datenbankmanagements betrachtet.

2. Konzeption und Implementation des Prototyps

Basierend auf den Forschungsergebnissen des theoretischen Teils der Arbeit wird im zweiten Kapitel der Arbeit eine Lösung für den Problemraum konzipiert und implementiert. Um der Interdisziplinarität aus Sicht der Datenbankmodellierung gerecht zu werden, wird der IST-Zustand des EMS-EDM Prophet® analysiert und es werden bereits bestehende Ansätze der Datenbankmodellierung die den Problemraum adressieren aufgezeigt. Unter Berücksichtigung der aufgezeigten Ansätze wird der Prototyp zur Problemlösung konzipiert und EMS-EDM Prophet® implementiert. Im Zuge dessen ist die Konzeption und Integration von Ansätzen des Datenbankmanagements, die noch nicht im EMS-EDM Prophet® bestehen notwendig. Das Konzept adressiert die im ersten Hauptabschnitt erarbeiteten Erkenntnisse des Anwendungsbereichs: Energiemanagement und Energiebilanzierung und stellt eine Datenbankseitige Abbildung der Grundsätze unter den erarbeiteten Anforderungen der ISO 50001 im Kontext von Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors zur Verfügung.

3. Evaluation des Prototyps

Im dritten Hauptabschnitt der Arbeit wird der entworfene Prototyp evaluiert. Im Zuge dessen wird die Bilanzraumstruktur des Fraunhofer IOSB-AST in Ilmenau erarbeitet und im entworfenen Prototyp abgebildet. Anhand dieses praktischen Beispiels wird getestet wie korrekt die im ersten Hauptabschnitt erläuterten Methoden des Energiemanagements und der Energiebilanzierung umgesetzt wurden, und wie der Prototyp in der Praxis bei der Erfüllung von ISO 50001 Anforderungen Organisationen unterstützen kann. Dieser Abschnitt der Evaluation findet unter Nutzung quantitativer Qualitätskriterien statt.

Des Weiteren wird grundsätzlich betrachtet, wie im Rahmen der Interdisziplinarität die im ersten Hauptabschnitt erarbeiteten Erkenntnisse aus Sicht des Energiemanagements technisch durch den konzipierten und implementierten Prototyp abgebildet wurde. Dabei wird auch analysiert ob und wie die im ersten Hauptabschnitt erörterten

Anforderungen der ISO 50001 auf Datenbankebene umgesetzt wurden sind. Dieser Abschnitt der Evaluation findet unter Nutzung qualitativer Qualitätskriterien statt.

Kapitel 2

Stand der Forschung und Theoretische Grundlagen

2.1 Bilanzräume im Kontext der Energiebilanzierung

2.1.1 Grundlagen der Energiebilanzierung

Anwendungskontext der Energiebilanz

Bilanzierung ist ein Konzept, welches in unterschiedlichen Einsatzbereichen Verwendung findet. Die DIN EN ISO 50001:2018-12 setzt den Schwerpunkt auf die fortlaufende Verbesserung der energiebezogenen Leistung (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 0.2). Folglich hat vor allem die Energiebilanz im Energiemanagement nach der DIN EN ISO 50001:2018-12 eine große Relevanz und rückt in den Fokus dieser Forschungsarbeit. Auch die Festlegung auf Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors hat Auswirkungen auf die Betrachtungsweise der Bilanzierung. Denn in Organisationen mit immateriellen Dienstleistungen spielt die Gebäudeenergie eine vorrangige Rolle zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung (Alberto Fichera et al., 2020, S. 3). Dies lässt sich beispielhaft an der Abbildung (2.1) darstellen.

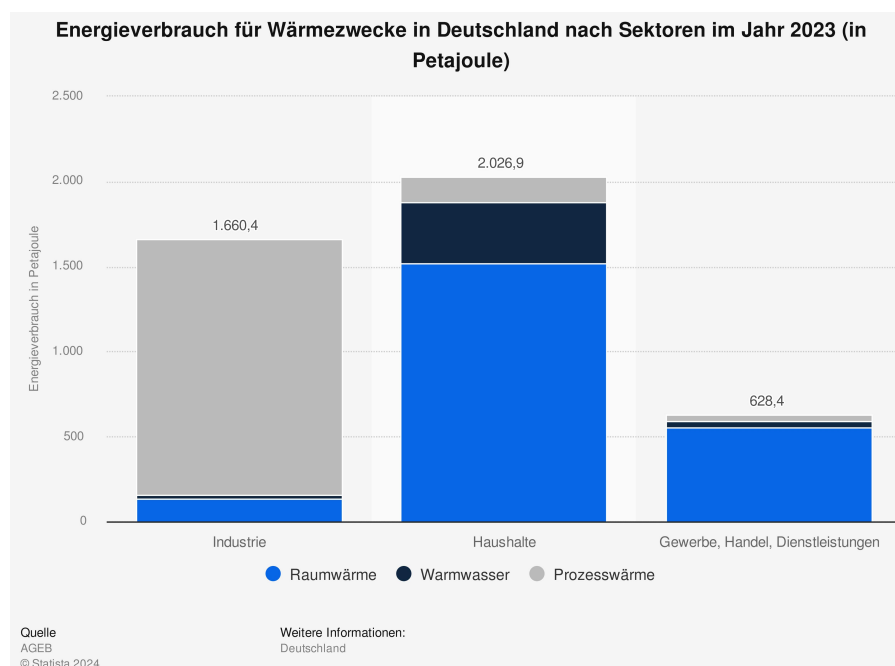


Abbildung 2.1: Energieverbrauch für den Wärmezweck in Deutschland (Dargestellt von AGE B (2024))

Die Abbildung 2.1 zeigt den Energieverbrauch für Wärmezwecke in Deutschland im Jahr 2023, aufgeschlüsselt nach Sektoren. Während der industrielle Sektor einen hohen Anteil an prozessbezogener Wärme aufweist, spielt im Dienstleistungssektor die Raumwärme eine dominante Rolle. Diese Statistik bekräftigt die Aussage von Fichera (2020, S. 3), dass bei der Verbesserung der energiebezogenen Leistung in Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors energiebezogene Prozesse und Technologien im Gegensatz zur Gebäudeenergie eine untergeordnete Bedeutung haben.

Im Rahmen der Bestimmung des Gesamtenergiebedarfs eines Gebäudes über den Lebenszyklus wird vor allem der Gebäudebetrieb betrachtet (Musall, 2015, S. 133). Die sogenannte Graue Energie wird üblicherweise als kumulierter, nicht erneuerbarer Primärenergieaufwand beschrieben, der alle vor- und nachgelagerten Prozesse der verwendeten Baustoffe und Materialien sowie der technischen Anlagen umfasst (Musall, 2015, S. 133). Die Arbeit grenzt sich von der Energiebilanzierung der grauen Energie ab und legt den Fokus auf den Gebäudebetrieb. Im folgenden wird folglich die Energiebilanzierung im Rahmen des Gebäudebetriebs von Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors betrachtet.

Konzept

Im beschriebenen Kontext rückt die verfahrenstechnische Perspektive der Bilanzierung in den Fokus. In der Verfahrenstechnik wird eine Bilanz in drei Bilanzgleichungen unterteilt: die Massenbilanz, die Energiebilanz und die Impulsbilanz (Rönsch, 2015, S. 66). Wie im Kontext bereits erörtert liegt der Fokus im Problemraum dieser Arbeit auf der Energiebilanz. Die Energiebilanz beruht auf dem Energieerhaltungssatz (Rönsch, 2015, S. 66), der das Prinzip der Erhaltung der Energie ausdrückt (Baehr und Kabelac, 1966, S. 57). Der Energieerhaltungssatz bezieht sich auf alle Erscheinungsformen, in denen Energie auftritt, und besagt, dass es unmöglich ist, Energie zu erzeugen oder zu vernichten (Baehr und Kabelac, 1966, S. 57). Für zu bilanzierende Systeme bedeutet dies, dass die Energie in einem abgeschlossenen, adiabaten System über die Zeit konstant ist (Rönsch, 2015, S. 66). Adiat bedeutet dass das System keine Wärme mit seiner Umgebung austauscht (Rönsch, 2015, S. 66). Für Systeme, die in der Lage sind, Energie zu speichern, impliziert diese Eigenschaft dass die darin gespeicherte Energie gleich der Differenz aus ein- und austretenden Energieströmen ist (Rönsch, 2015, S. 66f.). Für offene, nicht-adiabate Systeme ohne Speichereigenschaft gilt, dass die Differenz der ein- und austretenden Energieströme null ist (Rönsch, 2015, S. 66f.). Das von Rönsch (2015, S. 66f.) beschriebene Verhalten eines Systems bezüglich der Energiespeicherung lässt sich mathematisch vereinfacht mit der Gleichung (2.1) darstellen:

$$E_{\text{gespeichert}} = \sum E_{\text{eingang}} - \sum E_{\text{ausgang}} \quad (2.1)$$

$E_{\text{gespeichert}}$: Im System gespeicherte Energie.

E_{eingang} : Energie eines eintretenden Energiestroms.

E_{ausgang} : Energie eines austretenden Energiestroms.

Für offene, nicht-adiabate Systeme ohne Energiespeicher gilt:

$$E_{\text{gespeichert}} = 0$$

In diesem Fall ist die zugeführte Energie gleich der abgegebenen Energie (vgl. Gleichung (2.2)).

$$\sum E_{\text{eingang}} = \sum E_{\text{ausgang}} \quad (2.2)$$

Rönsch (2016) kategorisiert somit zu bilanzierende System in speicherfähige und nicht speicherfähige Systeme. Gleichung (2.2) beschreibt das Verhalten der ein- und austretenden Energieströme, welches für alle nicht speicherfähigen Systeme gelten muss. Folglich stehen Energiespeicher im Zusammenhang mit der Energiebilanz eines Systems und müssen bei der Bilanzierung berücksichtigt werden. Energiespeicher können immer dann

eingesetzt werden wenn Energie bereitsteht aber nicht unmittelbar genutzt wird (Rathgeber et al., 2018, S. 1). Der Speicher kann Energie aufnehmen und zu einem späteren Zeitpunkt wieder abgeben (Rathgeber et al., 2018, S. 1). Energiespeicher werden nach Form der bereitgestellten Energien zwischen: Elektrizität, mechanische Energie, chemische Energie und Thermische Energie (Rathgeber et al., 2018, S. 1).

Ein weiterer Ansatz zur Bilanzierung aus verfahrenstechnischer Perspektive wird durch die von Ahrendts (2014, Kapitel 1.5) aufgestellte Bilanzgleichung eines thermodynamischen Systems adressiert. Der Gleichung liegt der Fakt zugrunde, dass sich für jede mengenartige Zustandsgröße, die über die Grenze eines Systems transportiert wird, eine Bilanz aufstellen lässt (Ahrendts und Kabelac, 2014, Kapitel 1.5). Die Bilanzgleichung (vgl. Gleichung (2.3) und (2.4)) bildet die ein- und austretende Ströme sowie im System enthaltene Energiequellen und -senken auf die Geschwindigkeit der Änderung des Bestands der zu bilanzierenden Zustandsgröße im System ab (Ahrendts und Kabelac, 2014, Kapitel 1.5).

$$\frac{dX_j}{d\tau} = \left(\sum \dot{X}_{j,e} - \sum \dot{X}_{j,a} \right) + (\dot{X}_{j,Quell} - \dot{X}_{j,Senk}) \quad (2.3)$$

X_j : Zustandsgröße.

τ : Zeitintervall.

$X_{j,e}$: Über die Systemgrenze zufließende Zustandsgröße.

$X_{j,a}$: Über die Systemgrenze abfließende Zustandsgröße.

$X_{j,Quell}$: Quellen der Zustandsgröße im System.

$X_{j,Senk}$: Senken der Zustandsgröße im System.

$$\dot{X}_j = \lim_{\Delta\tau \rightarrow 0} \Delta X_j / \Delta\tau \quad (2.4)$$

X_j : Zustandsgröße.

ΔX_j : Menge der Größe X_j im Zeitintervall $\Delta\tau$.

$\Delta\tau$: Zeitintervall.

Die Gleichung (2.3) in Verbindung mit (2.4) beschreibt die Geschwindigkeit der Änderung des Bestands der Größe X_j als Summe der Differenzen zwischen den über die Systemgrenze zu- und abfließenden Strömen der Zustandsgröße X_j sowie den Quell- und Senkströmen der Zustandsgröße X_j innerhalb des Systems. Zur zweckmäßigen Anwendung der Gleichung (2.3) ist die Auswahl einer zweckmäßigen Zustandsgröße notwendig. In einem thermodynamischen System wird der augenblickliche Zustand durch die Zustandsgrößen beschrieben, wobei diese in intensive und extensive Zustandsgrößen unterschieden werden (Konstantin und Konstantin, 2023, S. 66). Die innere Energie U mit der Basiseinheit Joule ist eine extensive Zustandsgröße (Konstantin und Konstantin, 2023, S. 65) und rückt in den Fokus, da es sich um eine energetische Zustandsgröße handelt. Die Wahl der inneren Energie als Zustandsgröße impliziert dass es sich bei den zu- und abfließenden Ströme des Systems um Energieströme handelt, und dass Energiequellen und -senken betrachtet werden. Im Rahmen der Formel (2.3) wird der Strom einer Zustandsgröße X_j in Gleichung (2.4) definiert. Der Strom einer Zustandsgröße wird als Menge der Zustandsgröße in einem infinitesimal kleinen Zeitintervall definiert, welches im Grenzwert gegen 0 geht. Folglich wird ein Strom von Ahrendts (2014) als Menge einer Zustandsgröße zu einem bestimmten Zeitpunkt definiert. Ein Bilanzzeitraum ist der Zeitraum für den die Bilanzierung durchgeführt wird (Hall et al., 2014, S. 117). Da die Größe der bilanzierten Zustandsgröße Zeitabhängig ist (vgl. Gleichung (2.3) und (2.4)) muss ein Bilanzzeitraum zur Bilanzierung der Zustandsgröße festgelegt werden.

Die Gleichungen (2.1), (2.3) und (2.4) formulieren eine grundlegende mathematische Beschreibung einer Bilanz im Kontext der Thermodynamik und Verfahrenstechnik. Im Folgenden werden die in (2.1) und (2.3) mit (2.4) beschriebenen Einheiten einer Bilanz zur Erarbeitung eines Bilanzraumkonzepts im Anwendungskontext des Problemraums analysiert.

2.1.2 Bilanzraumkonzept

System- und Bilanzraumgrenzen

Eine Bilanz bezieht sich auf das von der Systemgrenze eingeschlossene Kontrollgebiet (Ahrendts und Kabelac, 2014, Kapitel 1.5). Die Systemgrenze kann dabei unter Berücksichtigung der Zweckmäßigkeit frei definiert werden (Ahrendts und Kabelac, 2014, Kapitel 1.5). Die Berechnung der in einen Bilanzraum ein- und austretenden Ströme wird als Bilanzierung bezeichnet (Rönsch, 2015, S. 65). Folglich kann das thermodynamische System welches von Ahrendts (2014) und Rönsch (2015) beschrieben wurde durch das Konzept: Bilanzraum abstrahiert und dargestellt werden.

Einen Ansatz zur Definition von Bilanzräumen liefert Miller (2016, S. 105) mit der Konkretisierung von Bewertungsräumen mittels Kriterien der Bilanzgrenze, dem Aggregationsniveau und der Bewertungseinheit. Das definierte System dient der Bewertung der Nutzung der Ressourcen, und bewertet die Effizienz (vgl. Gleichung (2.5)) eines Systems (Miller et al., 2016, S. 107).

$$\text{Effizienz} := \frac{\text{Erreichter Nutzen}}{\text{Aufwand}} \quad (2.5)$$

Der Aufwand umfasst nach Miller (2016, S. 108f.) unterschiedliche Ressourcen. Im Kontext energiewirtschaftlicher Fragestellungen liegt der Fokus auf der Ressource Energie (Miller et al., 2016, S. 108f.). Der Nutzen ist vom Untersuchungsgegenstand abhängig und wird im Kontext der energiewirtschaftlichen Fragestellung häufig über Energiedienstleistungen operationalisiert (Miller et al., 2016, S. 107). Die Befriedigung des Nutzens impliziert einen entstehenden Nutzenergiebedarf zur Erfüllung der Energiedienstleistung (Miller et al., 2016, S. 107). Sowohl die Ressourcen des Aufwands als auch die Energiedienstleistung auf der Nutzenseite werden durch eine Bewertungseinheit formalisiert (Miller et al., 2016). Die in (2.5) aufgestellte Nutzen-Aufwand-Relation stellt die Grundlage der Definition der Bilanzraumgrenze dar. Die Bilanzraumgrenze lässt sich somit in die aufwandsseitige Bilanzgrenze, die alle zu bilanzierenden Ressourcen umfasst, und die nutzenseitige Bilanzgrenze, die sich auf die zu bilanzierende Energiedienstleistung bezieht (Miller et al., 2016, S. 111).

Das von Miller (2016) beschriebene Konzept zeigt eine weitere Perspektive auf die in (2.3) und (2.4) formalisierte Bilanzierung. Sie betrachtet die Energieeffizienz des durch die Bilanzgrenzen eingeschlossenen Bewertungsraums und teilt eine Bilanz in Aufwands- und Nutzenseite. Aufwandsseitig sind die in (2.3) zufließenden Ströme, also die dem System zugeführten Ressourcen der Zustandsgröße, zu betrachten. Nutzenseitig müssen abfließende Ströme betrachtet werden. Die abfließenden Ströme werden durch den Nutzenergiebedarf zur Befriedigung einer Energiedienstleistung repräsentiert.

Untersuchungsgegenstand und Nutzengrößen

Der Untersuchungsgegenstand ist von Zentraler Bedeutung im von Miller (2016) beschriebenen Konzept: Bewertungsräume. Auf Grundlage des Untersuchungsgegenstands ist eine Auswahl angemessener Nutzengrößen mit entsprechenden Bewertungseinheiten notwendig. Da auch die Definition der Systemgrenze vom Untersuchungsgegenstand beeinflusst wird (Miller et al., 2016, S. 109), gilt die Zweckmäßigkeit der Systemgrenze auch für die zu untersuchenden Nutzengrößen. Die DIN EN ISO 50001:2018-12 gibt mit dem Ziel der fortlaufenden Verbesserung der energiebezogenen Leistung eine Vorgabe zur zweckmäßigen Definition der Nutzengrößen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 11). Die Vornorm DIN V 18599-1:2018-09, herausgegeben vom Deutschen Institut für Normung e. V. (2018, S. 1), behandelt die energetische Bewertung von Gebäuden und stellt ein Verfahren zur Durchführung der Gesamtenergiebilanz des Untersuchungsgegenstands: Gebäude bereit (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b, S. 9). Die Vornorm betrachtet neben dem Gebäude auch Gebäudezonen als Untersuchungsgegenstände (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b). Der Untersuchungsgegenstand der Norm und ihre Ausrichtung auf die energetische Bewertung erfüllt folglich die Zweckmäßigkeit hinsichtlich der Anwendung in Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors und der DIN EN ISO 50001:2018-12.

Im Rahmen der energetischen Bewertung von Gebäuden betrachtet die DIN V 18599-1:2018-09 die Bilanzierung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs (Deutsches Institut

für Normung e. V., 2018b). Das von Miller (2016) entworfene Konzept legt seinen Fokus auf den Nutzenergiebedarf. Die Vornorm definiert die Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasseraufbereitung und Beleuchtung von Gebäuden oder Gebäudezonen als relevante Energiedienstleistungen zur energetischen Bewertung von Gebäuden (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b). Im Rahmen der Vornorm wird der Nutzenergiebedarf als Überbegriff für Nutzwärmebedarf, Nutzkältebedarf, Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwasser, Beleuchtung und Befeuchtung definiert (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b, Kapitel 3.1.3). Der durch eine Energiedienstleistung entstehende Nutzenergiebedarf muss durch Energiemengen gedeckt werden, welche von der DIN V 18599-1:2018-09 in abhängigigkeit zur Energiedienstleistung wie folgt definiert wird.

- **Nutzenergie für Beleuchtung:** Die Energiemenge, die zur Ausreichenden Beleuchtung des Gebäudes beziehungsweise der Gebäudezone aufgewendet werden muss (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b, Kapitel 5.3.1).
- **Wärmeenergie:** Die Wärmemenge, die dem Gebäude beziehungsweise der Gebäudezone zusätzlich (bedarfs-)geregelt zugeführt wird, um die vorgegebene Sollinnentemperatur einzuhalten (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b, Kapitel 5.3.1).
- **Kälteenergie:** Die Kälteeinträge, die dem Gebäude bzw. der Gebäudezone zusätzlich (bedarfs-)geregelt zugeführt werden, um die vorgegebene Sollinnentemperatur einzuhalten (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b, Kapitel 5.3.1).
- **Nutzenergie für die Trinkwarmwasseraufbereitung:** Die Energiemenge, die zum Erwärmen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten der Luft in einer raumluftechnischen Anlage zu- bzw. abgeführt werden muss, um den erforderlichen Zuluftzustand zu erreichen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b, Kapitel 5.3.1).
- **Nutzenergie für die Luftaufbereitung:** Die Energiemenge, die zum Erwärmen, Kühlen, Befeuchten und Entfeuchten der Luft in einer raumluftechnischen Anlage zu- bzw. abgeführt werden muss, um den erforderlichen Zuluftzustand zu erreichen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b, Kapitel 5.3.1).

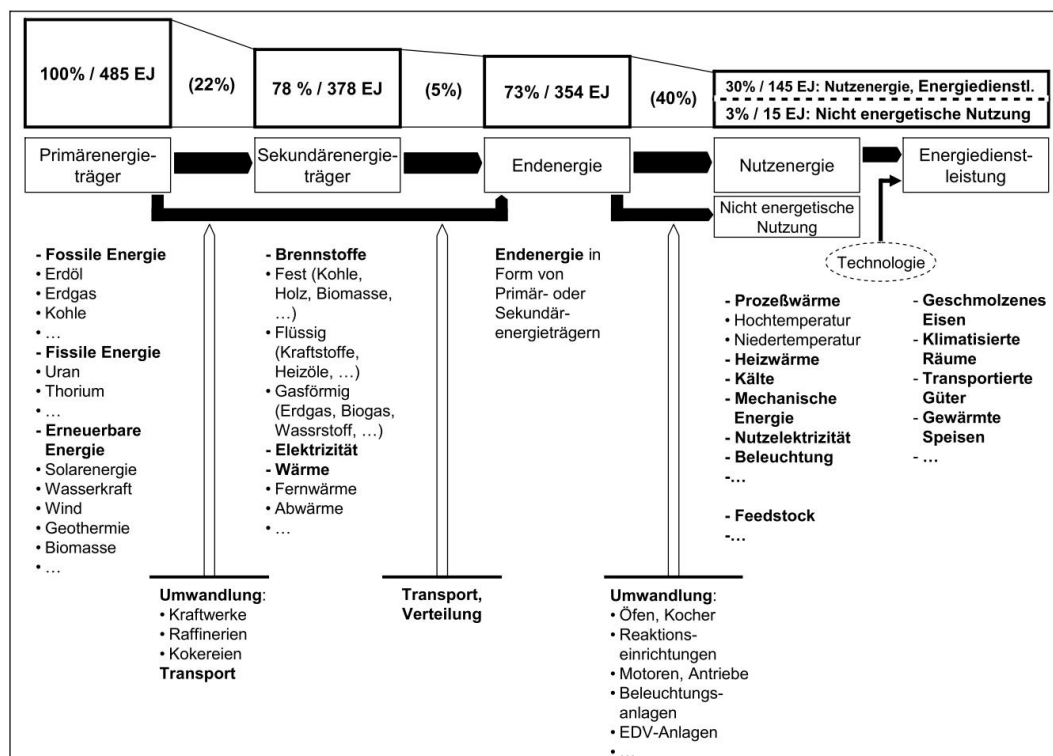


Abbildung 2.2: Energiewertschöpfungskette. (Dargestellt von Posch (2011, S. 45))

Die in Abbildung (2.2) visualisierte Energiewertschöpfungskette, ordnet die Nutzenergie als Energieform die aus der umwandlung von Endenergie in einen Energieträger der Nutzenergie zur erfüllung von Energiedienstleistungen dient, ein. Da die Endenergie die Energiemenge ist, die dem Bilanzraum zur bestimmungsgemäßen Nutzung bereitgestellt wird (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018b, Kapitel 3.1.2), deckt diese Energieform die Energiemenge der Ressourcen auf der Aufwandsseite der Bilanzierung nach Miller (2016). Folglich muss der nutzenseitige Nutzenergiebedarf, welcher durch die befriedigung von Energiedienstleistungen entsteht durch die aufwandsseitige Endenergie gedeckt werden. Bei der Umwandlung der Energieformen sind die in Abbildung (2.2) dargestellten Umwandlungs- und Transportverluste zu beachten.

Abbildung (2.3) ordnet die mithilfe der DIN V 18599-1:2018-09 erfassten Nutzengrößen des Untersuchungsgegenstands in das von Miller (2016) erarbeitete Konzept der Bewertungsräume ein und erweitert dieses um den Einfluss der Endenergie.

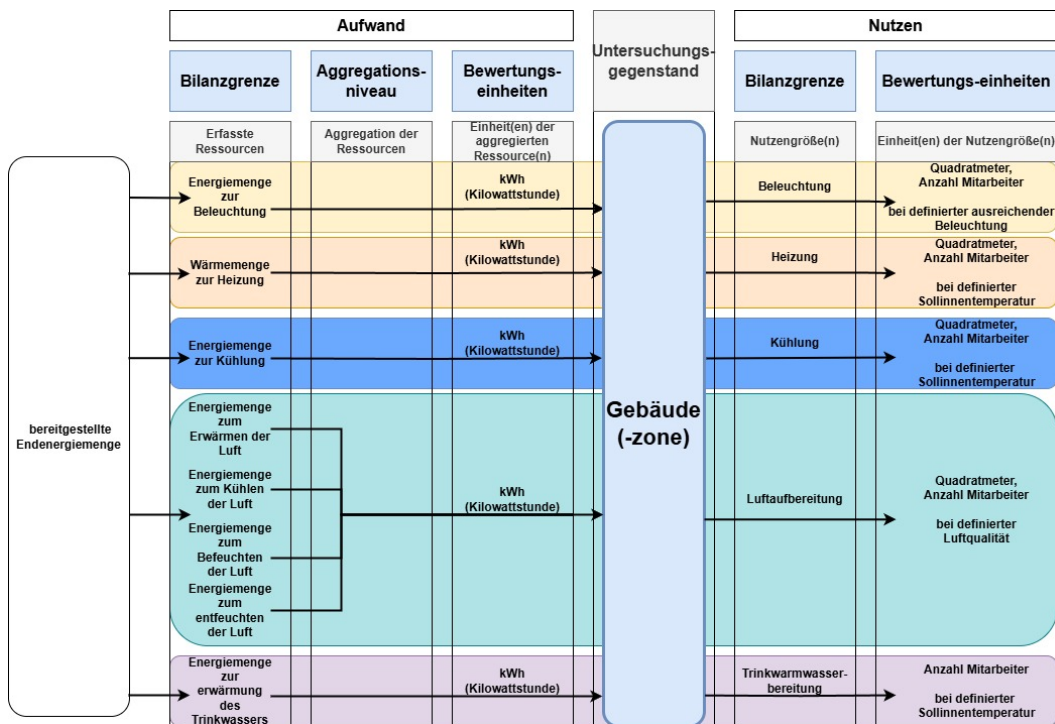


Abbildung 2.3: Bilanzgrenzen Aufwandsseitig/Nutzenseitig. (Eigene Darstellung basierend auf Miller (2016) und DIN V 18599-1:2018-09 (2018))

Energieströme und Bewertungseinheiten

In Gleichung (2.3) wird zwischen zu- und abfließenden Energieströmen des Systems unterschieden. Im in Abbildung (2.3) visualisierten Bilanzraumkonzept bilden die über die Bilanzgrenze zuströmenden Endenergiemengen zur deckung des Nutzenergiebedarfs die zufließenden Energieströme ab. Diese Energiemengen werden nach dem Konzept von Miller (2016) durch die aufwandsseitigen Ressourcen zur befriedigung der Dienstleistungen erfasst. Aufwandsseitige Ressourcen können zu einer Ressource mit einer Bewertungseinheit zusammengefasst werden (Miller et al., 2016, S. 112). Die zufließenden Energieströme werden mit der Bewertungseinheit: kWh und deren Vielfachem bilanziert, da diese Einheit bei Energiebilanzen in der Regel für alle Energieformen bevorzugt verwendet wird (Konstantin und Konstantin, 2023, S. 65).

Im Bilanzraumkonzept der Abbildung (2.3) werden die abfließenden Energieströme durch die befriedigte Energiedienstleistung abgebildet. Da eine Energiedienstleistung nicht als Energiemenge erfasst werden kann, ist eine Konkretisierung der Energiedienstleistung durch eine angemessene Bewertungseinheit, welche vom Untersuchungsgegenstand impliziert wird, notwendig (Miller et al., 2016). Diese Bewertungseinheit ist keine Energieeinheit und

kann beispielsweise bei der Untersuchung der Temperierung von Räumen die Quadratmeteranzahl des Bilanzraums bei einer definierten Soll-Temperierung sein (Miller et al., 2016).

Energiequellen und -senken

Gleichung (2.3) unterscheidet neben zu- und abfließenden Energieströmen auch zwischen Energiequellen und -senken. Quell- und Senkenströme treten in einer Energiebilanz nach dem ersten Hauptsatz der Thermodynamik nicht auf, da Energie eine Erhaltungsgröße ist (Ahrendts und Kabelac, 2014, S. 14). Im Rahmen der DIN EN ISO 50001:2018-12 bezieht sich der Begriff Energieaufwand auf verschiedene Arten von Energie, die erworben, gespeichert, aufbereitet, in einer Einrichtung oder einem Prozess verwendet oder zurückgewonnen werden können (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.5.1). Energie kann im Rahmen der Norm als Elektrizität, Brennstoff, Dampf, Wärme, Druckluft oder vergleichbares Medium auftreten (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.5.1). Folglich können alle Energieströme, in denen Energie in eine Energieform umgewandelt wird, die nicht die genannten Kriterien erfüllt, als Energiesenken betrachtet werden. Analog dazu können alle Energieströme, bei denen Energie, die nicht den von der Norm aufgestellten Kriterien entspricht, in eine nach ISO 50001 definierte Energieform umgewandelt wird, als Energiequellen betrachtet werden. In der Praxis stellen die in Abbildung (2.2) dargestellten Umwandlungs- und Transportverluste Energiesenken dar. Energiequellen können beispielsweise PV-Anlagen sein, da diese die Energie des Sonnenlichts, welche im Rahmen der DIN EN ISO 50001:2018-12 nicht als Energiemedium betrachtet wird, in für die Organisation nutzbare Endenergie in Form von Elektrizität umwandeln und zur Verfügung stellen.

Bilanzraumstrukturen

Bisher wurde die strukturelle Definition von Bilanzräumen unter Berücksichtigung praktischer Herausforderungen gemäß der DIN EN ISO 50001:2018-12 in Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors betrachtet. Eine Betrachtung der Beziehungen zwischen Bilanzräumen, beziehungsweise deren Hierarchie weist auch eine Relevanz zur Erfüllung der DIN EN ISO 50001:2018-12 auf. So kann ein Bilanzraum in mehrere Teilbilanzräume zerlegt werden (Engelmann, 2015, S. 310). Dies kann durch die Disaggregation in einzelne Prozesse, Anlagen oder räumlich getrennte Bereiche realisiert werden (Engelmann, 2015, S. 310), wobei die Disaggregation in Prozesse bei Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors, aufgrund der niedrigen Energielast für Prozesse (vgl. Abbildung (2.1)), eine geringere Relevanz hat. Analog zur Zerlegbarkeit eines Bilanzraums lässt sich auch der Untersuchungsgegenstand eines Bilanzraums hierarchisch aufgliedern (Miller et al., 2016, S. 109). Die in Abbildung (2.3) dargestellten Bilanzgrenzen für den Untersuchungsgegenstand Gebäude können also folglich in räumlich getrennte Gebäudezonen, wie zum Beispiel Etagen oder Räume, zerlegt werden (vgl. Abbildung (2.4)).

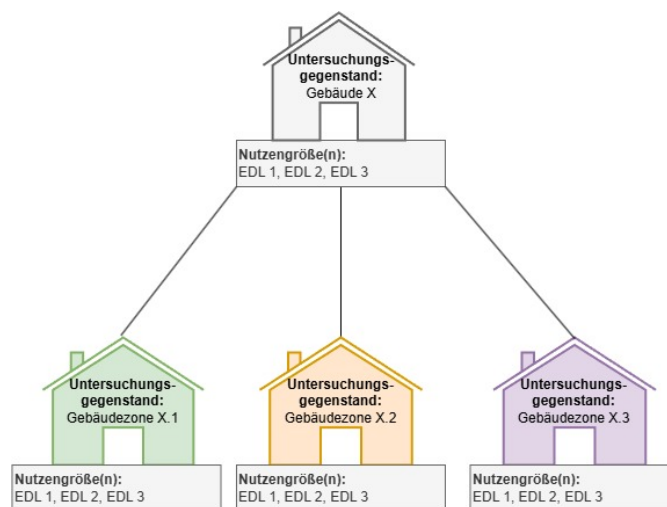


Abbildung 2.4: Disaggregation eines Untersuchungsgegenstands. (Eigene Darstellung)

Zur Erfassung der Energiedaten einer Organisation bedarf es einer detaillierten und aussagekräftigen Analyse der Unterscheidung nach Verbrauchsarten (Hohnhold und Kai, 2013, S. 14). Dabei ist die Disaggregation der Daten von der Größe der Organisation und dem Zweck der Analyse abhängig (Hohnhold und Kai, 2013, S. 14f.). Zur Analyse der Verbrauchsarten kann es also auch sinnvoll sein, Bilanzräume anhand ihrer definierten Nutzengrößen zu disaggregieren. In (2.5) ist ein Beispiel für eine Disaggregation nach Nutzengrößen zur Analyse der Unterscheidung nach Verbrauchsarten visualisiert.

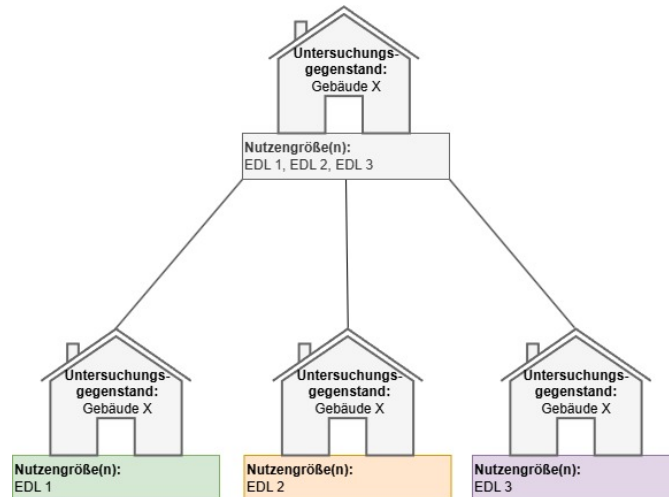


Abbildung 2.5: Disaggregation eines Bilanzraums nach Nutzengrößen. (Eigene Darstellung)

2.2 Energiemanagement nach ISO 50001

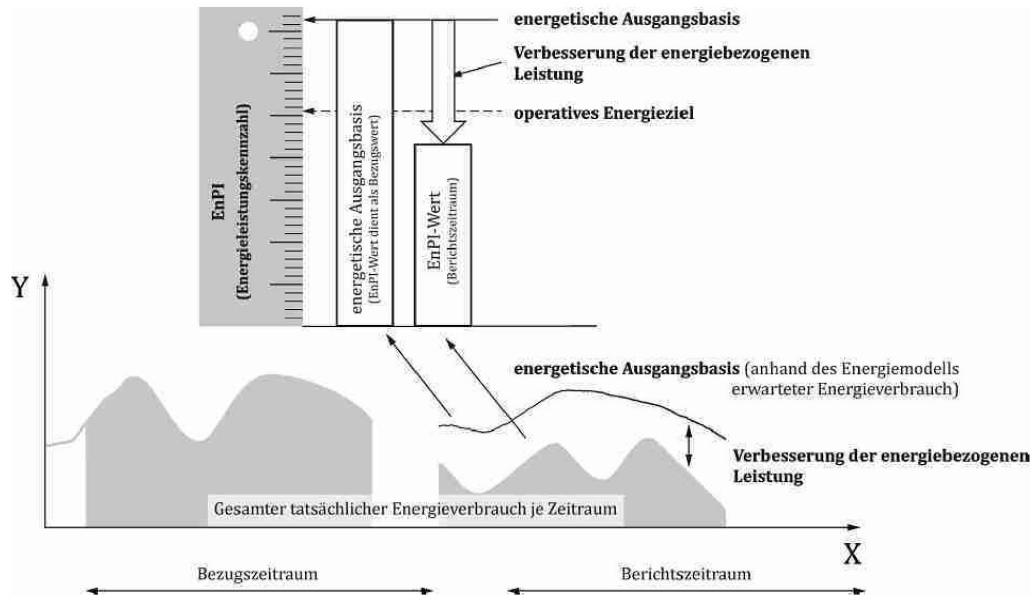
2.2.1 Bewertung der Energiebezogenen Leistung

Definition von Energieleistungskennzahlen

Im Rahmen der Planungsphase des PDCA-Zyklus verpflichtet die DIN EN ISO 50001:2018-12 Organisationen zur Festlegung von Energieleistungskennzahlen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 7). Eine Energieleistungskennzahl, auch EnPi (en: energy performance indicator) genannt, ist ein Maß oder eine Einheit der energiebezogenen Leistung, wie Sie von der Organisation festgelegt ist (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.4.4), und ist somit ein Maßstab für den Vergleich der energiebezogenen Leistung (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel A.6.4). Eine Energieleistungskennzahl wird durch einen EnPI-Wert zu einem bestimmten Zeitpunkt oder über einen bestimmten Zeitraum quantifiziert (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.4.5). EnPI-Werte finden Verwendung in der gesamten Organisation und in verschiedenen Teilen der Organisation (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 13). EnPIs ermöglichen einen Vergleich zwischen unterschiedlichen Untersuchungsgegenständen, können zeitliche Veränderungen der energiebezogenen Leistung darstellen und dienen als Zielvorgaben und zur Erfolgskontrolle (Hohnhold und Kai, 2013, S. 2). Sie bilden nach Hohnhold (2013, S. 2) den Mittelpunkt jeder Bewertung von Energieeffizienz und verdichten Informationen über den Energieverbrauch und dessen Struktur in einer Organisation. Folglich bilden EnPIs und EnPI-Werte die Grundlage der energiebezogenen Leistung und deren Verbesserung, und sind somit eine Eingangsgröße für die Managementbewertung der energiebezogenen Leistung in der Prüfungsphase des PDCA-Zyklus (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 9.3.3).

Energieleistungskennzahlen hängen mit energetischen Ausgangsbasen zusammen und können Organisationen in die Lage versetzen eine Verbesserung der energiebezogenen Leistung, anhand von verbesserungen bei EnPI-Werten im zeitlichen Verlauf im Verhältnis zur entsprechenden energetischen Ausgangsbasis, nachzuweisen (Deutsches Institut

für Normung e. V., 2018a, Kapitel 0.3). Eine Energetische Ausgangsbasis, auch EnB (en: energy baseline) ist von der DIN EN ISO 50001:2018-12 definiert als quantifizierbarer(e) Referenzpunkt(e) für einen Vergleich der energiebezogenen Leistung und beruht auf Daten aus einem festgelegten Zeitabschnitt und/oder auf Bedingungen wie von der Organisation festgelegt (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.4.7).



Legende

X Zeit

Y Energieverbrauch

Abbildung 2.6: Beispiel für die konzeptuelle Beziehung zwischen der energiebezogenen Leistung, EnPIs, EnBs, EnPI-Werten und operativen Energiezielen. (Darstellung der E DIN ISO 50006:2024-07 (2024, S. 14))

Die E DIN ISO 50006:2024-07 zeigt ein Beispiel für die Beziehungen zwischen der energiebezogenen Leistung, EnPIs, EnBs, EnPI-Werten und operativen Energiezielen in Abbildung (2.6) auf. Hier wird der Energieverbrauch über einen Bezugszeitraum als Energieleistungskennzahl definiert. Die energetische Ausgangsbasis stellt anhand des Energiemodells den erwarteten Energieverbrauch. Das operative Energieziel gibt den Zielwert des EnPI-Werts im Bezugszeitraum an. Die Differenz zwischen dem EnB und der EnPI ergibt die Verbesserung der Energiebezogenen Leistung. Neben der Auskunft über die relevanten Bestandteile zum Nachweis der energiebezogenen Leistung, gibt das Beispiel (vgl. Abbildung (2.6)) zwei Perspektiven auf die Auswertung der genannten Komponenten. So wird in der unteren Visualisierung die Verbesserung der energiebezogenen Leistung über einen Bezugszeitraum in einem Zeit-Energieverbrauch-Graphen dargestellt. Diese Art der Visualisierung ermöglicht Erkenntnisgewinne bezüglich des zeitabhängigen Verhaltens des EnPI-Werts und kann unter anderem zur Identifikation des einflusses zeitabhängiger relevanter Variablen wie saisonaler Wetterbedingungen genutzt werden. Die obere Visualisierung aggregiert die EnPI-Werte und die EnB über den Bezugszeitraum zu einzelnen Werten. Anhand dieser Werte kann die Erfüllung oder nicht-Erfüllung des operativen Energieziels im Bezugszeitraum evaluiert werden.

Arten von Kennzahlen aus statistisch-methodischer Perspektive

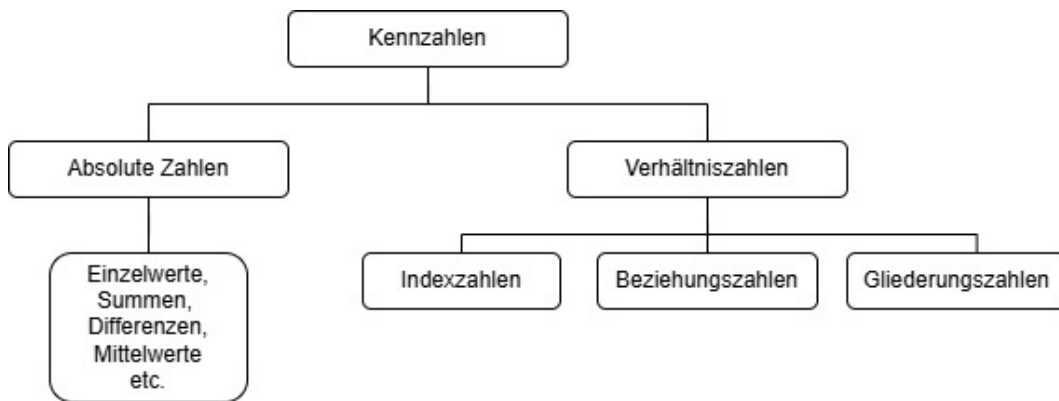


Abbildung 2.7: Arten von Kennzahlen. (Eigene Darstellung basierend auf Hohnhold (2013, S. 4))

Grundsätzlich lassen sich Kennzahlen aus statistisch-methodischer Sicht in zwei Klassen unterteilen: absolute Zahlen und Verhältniszahlen (vgl. Abbildung (2.7)). Absolute Zahlen werden durch Einzelwerte, Summen, Differenzen oder Mittelwerten abgebildet und eignen sich aufgrund der absoluten Betrachtung auf Aufwandsseite nicht zur Bewertung der Energieeffizienz (Hohnhold und Kai, 2013, S. 2). So fällt auch der im oberen Teil der Abbildung (2.6) dargestellte über den Bezugszeitraum aggregierte Energieverbrauch in die Klassifizierung einer absoluten Kennzahl (Hohnhold und Kai, 2013, S. 2). Obwohl absolute Zahlen nicht zur Bewertung der Energieeffizienz geeignet sind, können sie wie in Abbildung (2.6) visualisiert Auskunft über die Verbesserung der energiebezogenen Leistung geben.

Verhältniszahlen bilden einen Quotienten aus zusammenhängenden Größen und sind dadurch besser zur Analyse der Energieeffizienz geeignet (Hohnhold und Kai, 2013, S. 3). Die Auswahl der Bezugsgrößen zur Bildung der Verhältniszahlen hängt von der untersuchten Organisation und der untersuchten Branche ab (Hohnhold und Kai, 2013, S. 3). Eine Subkategorie der Verhältniszahlen sind Gliederungszahlen, welche einen Quotienten aus einer Teilmenge und dazugehörigen Grundgesamtheit bilden (Hohnhold und Kai, 2013, S. 3). Der Energieverbrauch einer Gebäudezone im Verhältnis zum Energieverbrauch des Gebäudes ist ein Beispiel für eine solche Gliederungszahl. Neben den Gliederungszahlen gibt es noch Beziehungszahlen, welche zwei unterschiedliche Maße in Relation zueinander setzen um eine Kausalität zu beschreiben (Hohnhold und Kai, 2013, S. 3). Im Bilanzraumkonzept von Miller (2016) für Organisationen im tertiären Wirtschaftssektor (vgl. Abbildung (2.3)) kann der Quotient aus dem aufwandsseitigen, durch Ressourcen gedeckten Nutzenergiebedarf und der nutzenseitigen Energiedienstleistung, die mit der Bewertungseinheit quantifiziert wird, als Beziehungszahl zur Bewertung der Energieeffizienz dieser Dienstleistung herangezogen werden. Indexzahlen sind Verhältniszahlen, welche gleichartige Größen in Relation zueinander und dienen dazu Veränderungen, zum Beispiel über die Zeit, abzubilden (Hohnhold und Kai, 2013, S. 3f.). Der im unteren Teil der Abbildung (2.6) Zeit-Energieverbrauch Graph bildet eine Indexzahl ab, da er die Größe: Energieverbrauch in Relation zur Zeit setzt und somit die zeitliche Veränderung der Größe abbildet.

Grenzen von Energieleistungskennzahlen

Um die Vergleichbarkeit von Energiekennzahlen zu gewährleisten müssen die Bilanzräume von Anlagen, Prozessen und Bereichen bekannt sein (Engelmann, 2015, S. 310). Der Bilanzraum beeinflusst eine Energiekennzahl durch seine räumliche und zeitliche Abgrenzung (Hohnhold und Kai, 2013, S. 6). Die E DIN ISO 50006:2024-07 formuliert konkrete Anforderungen, die bei der Festlegung von Grenzen eines EnPI zu beachten sind. So müssen bei der Definition einer EnPI-Grenze nach E DIN ISO 50006:2024-07 folgende Aspekte berücksichtigt werden.

- Die organisatorische Verantwortlichkeiten im Bezug auf das Energiemanagement, einschließlich des Umfangs, in dem die Organisation Einfluss auf ihre energiebezogene Leistung hat beziehungsweise diese steuern kann (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, Kapitel 5.3).
- Die wesentlichen Energieeinsätze (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, Kapitel 5.3).
- Einrichtungen, Ausrüstungen, Systeme oder energieverbrauchende Prozesse die die Organisation zu isolieren sowie zu steuern wünscht (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, Kapitel 5.3).
- Die Einfachheit der Eingrenzung der EnPI-Grenze durch die Messung von Energieverbrauch und relevanten Variablen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, Kapitel 5.3).
- Die Grenze des Energiemanagementsystems (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, Kapitel 5.3).
- Die verfügbaren Daten zum Energieverbrauch und zu relevanten Variablen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, Kapitel 5.3).

Daraus ergeben sich die drei primären Grenzniveaus: einzeln, systembezogen und organisatorisch (vgl. Abbildung (2.8)) (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, Kapitel 5.3).

EnPI-Grenzniveaus	Beschreibung und Beispiele
Einzeln (Einrichtung/Ausrüstung/energieverbrauchender Prozess)	Die EnPI-Grenze kann um die physische Umgrenzung einer Einrichtung, der Ausrüstung oder des energieverbrauchenden Prozesses festgelegt werden, welche die Organisation isolieren und managen will. BEISPIEL 1 Der Energieeinsatz für dampferzeugende Anlagen, getrennt von anderen Energieeinsätzen.
Systembezogen	Die EnPI-Grenze kann um die physische Umgrenzung einer Gruppe sich gegenseitig beeinflussender Einrichtungen, Ausrüstungsgegenstände oder energieverbrauchender Prozesse festgelegt werden, welche die Organisation steuern und verbessern will. BEISPIEL 2 Die Dampfproduktion und die Ausrüstung für den Dampfeinsatz, z. B. Trockner.
Organisatorisch	Die EnPI-Grenze kann um Organisation festgelegt werden, wobei auch die Verantwortlichkeit für das Energiemanagement durch Einzelpersonen, Teams, Gruppen oder Geschäftseinheiten mit einbezogen wird, die von der Organisation zugewiesen wurde. BEISPIEL 3 Für eine Fabrik/Fabriken oder eine Abteilung der Organisation erworbener Dampf.

Abbildung 2.8: Die drei EnPI-Grenzniveaus. (Darstellung der E DIN ISO 50006:2024-07 (2024, S. 16))

In Organisationen die keine materiellen Güter Produzieren, also alle Organisationen des tertiären Wirtschaftssektors, eignen sich Gebäude am besten zur Abgrenzung der EnPIs (Alberto Fichera et al., 2020, S. 9). Auf dem ersten Grenzniveau (Einzeln, vgl. Abbildung (2.8)) kann eine Energieleistungskennzahl definiert werden, indem der Energieeinsatz zur Bereitstellung einer spezifischen Energiedienstleistung durch eine einzelne Anlage erfasst wird. Da die Energiedienstleistung als energieverbrauchender Prozess gilt, dient sie als Grundlage zur Eingrenzung der EnPI. Systembezogen kann folglich eine Energieleistungskennzahl definiert werden, indem der Energieeinsatz zur Bereitstellung einer zusammenhängenden Energiedienstleistung unter Berücksichtigung mehrere miteinander verbundene Prozesse oder Anlagen, die gemeinsam zur Erbringung dieser Energiedienstleistung beitragen erfasst werden. Organisatorisch können EnPI-Grenzen anhand der organisatorischen Struktur, also zum Beispiel der Einteilung eines Gebäudes in Gebäudezonen und Arbeitsgruppen und -teams festgelegt werden.

2.2.2 Identifikation wesentlicher Energieeinsätze

Analyse und Unterscheidung von Energieeinsätzen

Die DIN EN ISO 50001:2018-12 verpflichtet Organisationen im Rahmen der Planungsphase des PDCA-Zyklus zur Identifikation von wesentlichen Energieeinsätzen auf Grundlage der vorher durchgeführten Datenanalyse (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 25). Die Norm definiert einen Energieeinsatz als Anwendung von Energie zum Beispiel für Energiedienstleistungen wie Lüftung oder Heizung, und bezeichnet den Begriff mitunter als Endnutzung von Energie (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.5.4). Der Energieeinsatz ergibt sich aus dem Produkt des spezifischen Energieeinsatzes und der Menge der nachgefragten Energiedienstleistungen (vgl. Gleichung (2.6)) (Miller et al., 2016, S. 120). Der Spezifische Energieeinsatz ergibt sich aus dem Kehrwert der Energieeffizienz (vgl. Gleichung (2.5)) (Miller et al., 2016, S. 120).

$$\text{Energieeinsatz} := \text{Spezifischer Energieeinsatz} \cdot \text{Menge Energiedienstleistung} \quad (2.6)$$

$$\text{Spezifischer Energieeinsatz} := \frac{\text{Aufwand}}{\text{Erreichter Nutzen}} \quad (2.7)$$

Betrachtet man beispielsweise eine Heizungsanlage als nutzenseitige Energiedienstleistung im Untersuchungsgegenstand Gebäudezone. So könnte man den erreichten Nutzen mit der Grundfläche konkretisieren. Der Aufwand wird durch den im Bilanzzeitraum anfallenden Nutzenergiebedarf zur befriedigung der Energiedienstleistung: Heizung gemessen. Der Spezifische Energieeinsatz ist somit der im Bilanzzeitraum entstandene Nutzenergiebedarf zum Heizen pro Quadratmeter.

Ein wesentlicher Energieeinsatz, auch SEU (en: significant energy use), wird von der Norm als Energieeinsatz der wesentlichen Anteil am Energieverbrauch hat und/oder erhebliches Potential für eine Verbesserung der energiebezogenen Leistung bietet definiert (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.5.6). SEUs können Anlagen beziehungsweise Standorte, Systeme, Prozesse oder eine Einrichtungen sein (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.5.6). Zur Definition von Kriterien zur Identifikation von SEUs macht die Norm keine Angaben und verpflichtet die Organisation die die Norm anwendet zur Entscheidung was als wesentlicher Energieeinsatz anzusehen ist (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 38). Neben Energieerzeugungsanlagen und Umwandlungsanlagen gibt es Anlagenkategorien für Klimatisierungsanlagen, Lüftungsanlagen, Bleuchungsanlagen sowie Informations- und Kommunikationstechnik (Hohnhold und Kai, 2013, S. 14).

Eine differenzierte Darstellung der Verbrauchsstrukturen nach Anlagenkategorien beziehungsweise einzelner Anlagen ermöglicht das identifizieren von wesentlichen Energieeinsätzen und liefert somit auch Ansatzpunkte zur Verbesserung der Energieeffizienz (Fink et al., 1997 zitiert nach Hohnhold und Kai, 2013, S. 8). Die in Abbildung (2.5) dargestellte Disaggregation eines Bilanzraums nach Nutzengrößen kann bei der Analyse der Verbrauchsstrukturen innerhalb eines Untersuchungsgegenstands im Rahmen der Datenanalyse beitragen.

Abbildung (2.9) zeigt Beispielhaft wie die Disaggregation von Bilanzräumen zur Identifikation von wesentlichen Energieeinsätzen beitragen kann. Der durch die aufwandsseitigen Ressourcen gedeckte Nutzenergiebedarf der bilanzierten Energiedienstleistung kann als absolute Energieleistungskennzahl zur Bewertung des Energieeinsatzes für die Energiedienstleistung betrachtet werden. Der Energieeinsatz kann mit der durch die Bewertungseinheit quantifizierten Energiedienstleistung in relation gesetzt werden um den Spezifischen Energieeinsatz (vgl. Gleichung (2.7)) zu ermitteln, welcher als Beziehungszahl kategorisiert werden kann und somit geeignet zur Bewertung der Energieeffizienz ist. Die Integration einer Gliederungszahl als EnPI welche den Energieeinsatz eines Bilanzraums einer Energiedienstleistungen in Relation zum Energieeinsatz eines Bilanzraums aller Energiedienstleistungen setzt kann (vgl. Gleichung (2.8)) den Vergleich des Anteils einzeln Energiedienstleistungen am Gesamtenergieverbrauch unterstützen.

$$\text{Anteil Gesamtenergieverbrauch} := \frac{\text{Energieverbrauch Bilanzraum}}{\text{Gesamtenergieverbrauch}} \quad (2.8)$$

In diesem Beispiel macht die Heizungsanlage des Hauptgebäudes mit einem Energieeinsatz von 18.750 kWh 62,5 % des Gesamtenergieverbrauchs aus und hat somit einen wesentlich Größeren Anteil am Gesamtenergieverbrauch als die Kühlungsanlage des Hauptgebäudes, welche mit einem Energieeinsatz von 3.750 kWh nur 12,5 % des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht. Mit $125 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ hat die Heizung den höchsten spezifischen Energieeinsatz und somit die geringste Energieeffizienz und die Kühlung mit $25 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ den geringsten spezifischen Energieeinsatz und somit die höchste Energieeffizienz.

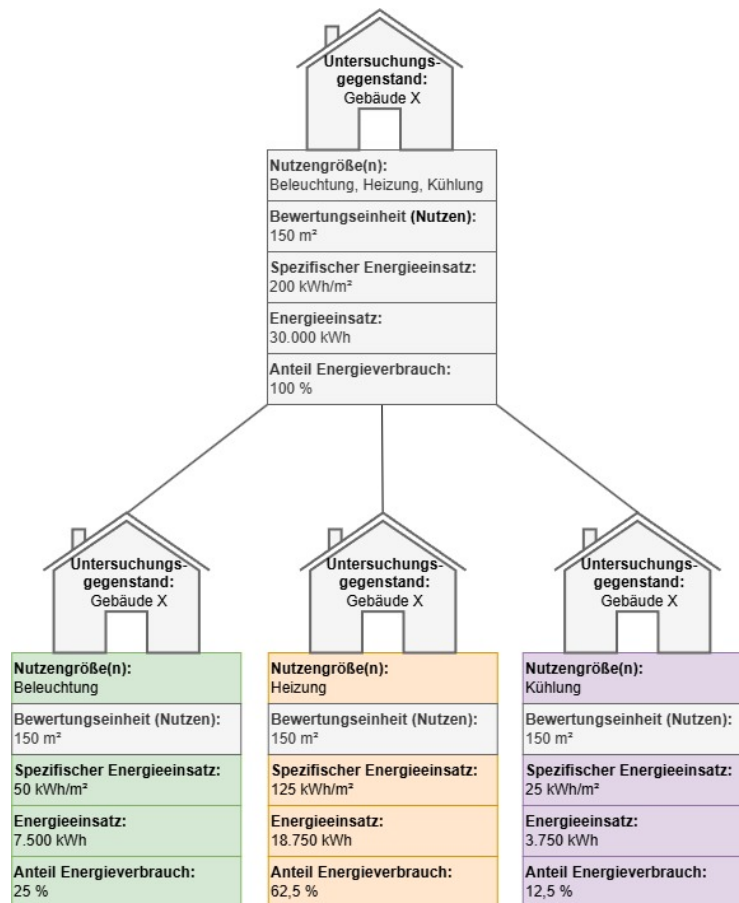


Abbildung 2.9: Beispiel: Disaggregation nach Nutzengrößen. (Eigene Darstellung)

Eine Analyse der Gebäudezonen innerhalb eines Gebäudes durch Disaggregation nach Untersuchungsgegenstand wie sie in (2.4) visualisiert ist kann zur Identifikation wesentlicher Energieeinsätze durch die Analyse und Unterscheidung von Energieeinsätzen innerhalb von Gebäude(-zonen) beitragen.

Abbildung (2.10) visualisiert beispielhaft, wie eine Disaggregation des Untersuchungsgegenstands zur Analyse und Unterscheidung von Energieeinsätzen innerhalb eines Untersuchungsgegenstands beitragen kann. Zur Bewertung der einzelnen Bilanzräume werden die selben Energieleistungskennzahlen wie in Abbildung (2.9) genutzt, allerdings wird der Bilanzraum anhand des Untersuchungsgegenstands disaggregiert. In diesem Beispiel macht die Gebäudezone 2 mit einem Energieeinsatz von 18.000 kWh 60% des Gesamtenergieverbrauchs des Gebäudes aus während Gebäudezone 3 mit einem Energieeinsatz von 3.000 kWh nur 10% des Gesamtenergieverbrauchs ausmacht. Der spezifische Energieeinsatz ist in Gebäudezone 2 mit $300 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ am höchsten und somit ist die Energieeffizienz am geringsten. In Gebäudezone 3 ist mit $100 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2}$ der spezifische Energieeinsatz am niedrigsten und die Energieeffizienz somit am höchsten.

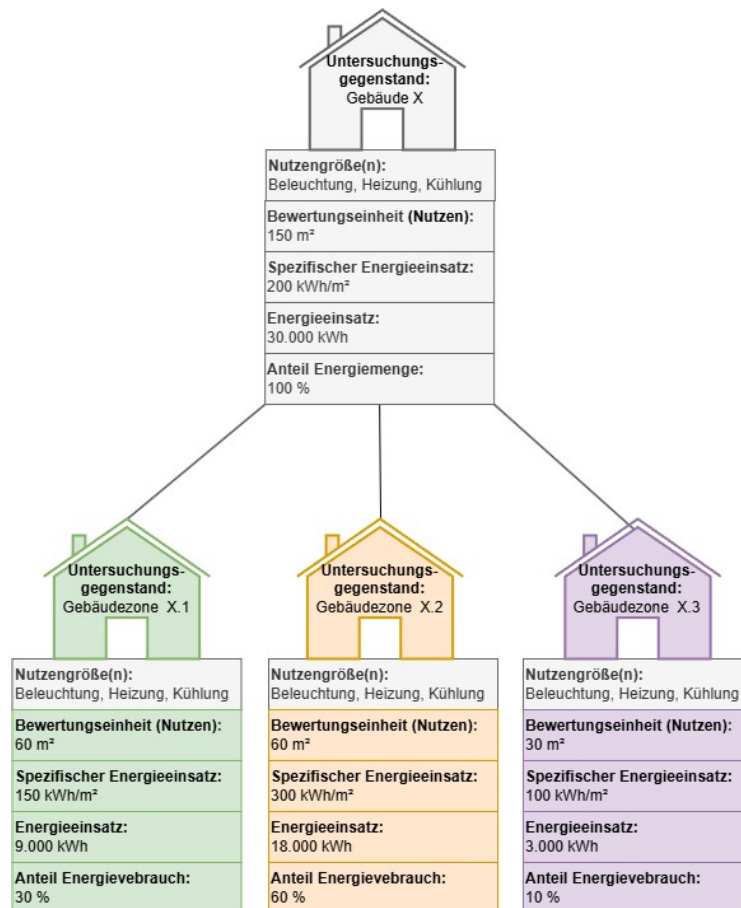


Abbildung 2.10: Beispiel: Disaggregation nach Untersuchungsgegenstand. (Eigene Darstellung)

2.2.3 Methodik zur Erfüllung von ISO 50001 Anforderungen

Integration von relevanten Variablen

Relevante Variablen werden von der DIN EN ISO 50001:2018-12 (Kapitel 3.4.9) als quantifizierbarer Faktor, der die energiebezogene Leistung wesentlich beeinflusst sich routinemäßig ändert definiert. Die relevanten Variablen dürfen gemäß E DIN ISO 50006:2024-07 entweder direkt gemessen oder aus Messungen abgeleitet werden (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 18). Beispiele für relevante Variablen sind Wetterbedingungen, Betriebsbedingungen wie Innenraumtemperatur oder Lichtstärke und Arbeitsstunden (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, Kapitel 3.4.9). Die Integration von relevanten ist einer der Grundlegenden Anforderungen zur Erfüllung von Anforderungen der DIN EN ISO 50001:2018-12. So sollen im Rahmen der Bestimmung der EnPI-Grenzen Organisationen die für die einzelnen Grenzen relevanten Variablen bestimmen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 17). Für die statistische Analyse der EnPI-Werte ist es notwendig dass der Energieverbrauch und die Daten der zugehörigen relevanten Variablen die gleichen Zeitintervalle umfassen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 20). Zur Ermittlung wesentlicher Energieeinsätze ist ebenfalls nicht nur die Messung deren Energieverbrauchs notwendig, sondern auch die Messung und Überwachung der relevanten Variablen bezüglich SEUs (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 23). Die Erfassung dient unter anderem der Bewertung der energiebezogenen Leistung unter gleichwertigen Bedingungen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 8). Die Auswirkungen der relevanten Variablen werden unter Anwendung des Prozesses der Normalisierung berücksichtigt (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 8).

Datengetriebener Ansatz

Die DIN EN ISO 50001:2018-12 schreibt einen Datengetriebenen Ansatz vor indem Sie von Organisationen welche die Norm umsetzen möchten fordert dass ein Plan zur Überwachung und Messung der Hauptmerkmale erstellt und dokumentiert wird (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 30ff.). Um die genauen Vorgaben der DIN EN ISO 50001:2018-12 zur Ermittlung von Energieeinsätzen zu formulieren, wurde die E DIN ISO 50006:2024-07 veröffentlicht, welche sich mit der Messung der energiebezogenen Leistung im Rahmen der DIN EN ISO 50001:2018-12 befasst (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 1).

Organisationen sollen nach E DIN ISO 50006:2024-07 (Kapitel 5.1) Arten des Energieeinsatzes identifizieren und zum einen deren aktuellen, sowie früheren Energieverbrauch, zum anderen die aktuelle und frühere Energieeffizienz auf Basis von Messungen und anderen Daten bewerten. SEUs werden dann anhand der Analyse dieser Informationen, unter Berücksichtigung von Faktoren die die energiebezogene Leistung beeinflussen, identifiziert (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, Kapitel 5.1). Die Komplexität der Umsetzung ist dabei nicht vorgeschrieben und kann von einfachen Zählwerten bis hin zu umfangreichen Werten aus Überwachungs- und Messsystemen mit Softwareanwendung reichen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 36). Folglich bestimmt die Komplexität der Energiedatensammlung auch die potentielle Komplexität der Abbildung und Energiebilanzierung des Organisationskontext über Bilanzräume. Die Datengetriebenen Ermittlung von Energieeinsätzen in Bilanzräumen fordert folglich die Energiedatensammlung der Energieeinsätze, zu der auch die DIN EN ISO 50001:2018-12 Vorgaben macht.

Bei der Auswahl von EnPIs sollen Organisationen ihre vorhandenen Fähigkeiten zur Messung und Überwachung in Bezug auf den Energieverbrauch und relevante Variablen berücksichtigen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 21). So muss eine Organisation die Energieflüsse die eine EnPI-Grenze überschreiten messen, wobei die gemessenen Daten sowohl die zugelieferte als auch vor Ort erzeugte Energie berücksichtigt die die EnPI-Grenze überschreitet und gespeichert wird (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 17). Folglich beeinflusst die Komplexität der Energiedatensammlung die Menge der abbildbaren Energieleistungskennzahlen. Eine Organisation soll also die sich auf den Energieverbrauch beziehenden Daten und relevanten Variablen für jede EnPI spezifizieren und erfassen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 18). Falls einige EnPIs aufgrund begrenzter Daten oder anderen Hürden nicht messbar sein, soll die Organisation die EnPIs bewerten und in Folge überarbeiten oder zusätzliche Zähler, Messungen oder Modellierungsverfahren einführen (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 18).

Die DIN EN ISO 50001:2018-12 (2018, Kapitel 6.6, A.6.6) stellt Qualitätskriterien an die Energiedatensammlung in Organisationen. Die Norm verpflichtet Organisationen dazu, Hauptmerkmale ihrer Tätigkeiten, die sich auf die energiebezogene Leistung auswirken, zu identifizieren und diese in geplanten Zeitabständen zu messen, zu überwachen und zu analysieren (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 23). So muss eine geeignete Abtastzeit der Datensammlung gewählt werden (Deutsches Institut für Normung e. V., 2024, S. 20), und im Rahmen von Analysen müssen Einschränkungen der Daten wie Genauigkeit, Präzision und Konsistenz der Energiedatenerfassung Rechnung getragen werden (Deutsches Institut für Normung e. V., 2018a, S. 37). Da sich die DIN EN ISO 50001:2018-12 auf die Veränderung der energiebezogenen Leistung bezieht ist die Wiederholbarkeit ein wichtigeres Qualitätskriterium der Energiedatensammlung als die Präzision der Messung (Szajdzicki, 2017, S. 3).

Kapitel 3

Konzeption und implementation in EMS-EDM Prophet®

Kapitel 4

Evaluation

Kapitel 5

Fazit

Literaturverzeichnis

- Ahrendts, J., & Kabelac, S. (2014). *Das Ingenieurwissen: Technische Thermodynamik*. Springer.
- Alberto Fichera, Rosaria Volpe & Emanuele Cutore. (2020). Energy performance measurement, monitoring and control for buildings of public organizations: Standardized practises compliant with the ISO 50001 and ISO 50006. *Developments in the Built Environment*, 4. <https://doi.org/10.1016/j.dibe.2020.100024>
- Baehr, H. D., & Kabelac, S. (1966). *Thermodynamik* (Bd. 12). Springer.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2018a). DIN EN ISO 50001:2018-12, Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2018); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2018.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2018b). DIN V 18599-1:2018-09, Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger.
- Deutsches Institut für Normung e. V. (2024). E DIN ISO 50006:2024-07 Energiemanagementsysteme - Bewertung der Energieleistung anhand von Energieleistungskennzahlen und energetischen Ausgangsbasen (ISO 50006:2023); Text Deutsch und Englisch. <https://doi.org/10.31030/3543690>
- Engelmann, D. (2015). Energiedatenmanagement. In *Energiemanagement: Für Fachkräfte, Beauftragte und Manager* (S. 285–320). Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-02834-3{textunderscore}5>
- Fink, S., Gaßner, M., Günther-Pomhoff, C., Schaefer, H., & Münzer, T. (1997). *Leitfaden für das betriebliche Energiemanagement*. Umweltbundesamt. <https://www.yumpu.com/de/document/read/10679612/leitfaden-fur-das-betriebliche-energiemanagement>
- Hall, M., Dorusch, F., & Geissler, A. (2014). Optimierung des Eigenverbrauchs, der Eigendeckungsrate und der Netzbelastung von einem Mehrfamiliengebäude mit Elektromobilität. *Bauphysik*, 36(3), 117–129.
- Hohnhold & Kai. (2013). Steigerung der Energieeffizienz durch Energiemanagement: Ausgestaltungs- und Anwendungsmöglichkeiten in der Praxis. <https://hdl.handle.net/10419/88105>
- International Organization for Standardization. (2023). ISO Survey 2023. <https://www.iso.org/the-iso-survey.html>
- Konstantin, P., & Konstantin, M. (2023). *Praxisbuch Energiewirtschaft: Energieumwandlung, -Transport und -beschaffung, Übertragungsnetzausbau und Kernenergieausstieg* (5. Aufl. 2023). Springer Berlin / Heidelberg.
- Marimon, F., & Casadesús, M. (2017). Reasons to Adopt ISO 50001 Energy Management System. *Sustainability*, 9(10), 1740. <https://doi.org/10.3390/su9101740>
- Miller, M., Bubeck, S., & Hufendiek, K. (2016). Zur Methodik von Effizienzbewertungen im energiewirtschaftlichen Kontext. *Zeitschrift für Energiewirtschaft*, 40(3), 105–125. <https://doi.org/10.1007/s12398-016-0180-9>
- Musall, E. (2015). *Klimaneutrale Gebäude: internationale Konzepte, Umsetzungsstrategien und Bewertungsverfahren für Null-und Plusenergiegebäude*. Universität Wuppertal. urn:nbn:de:hbz:468-20160205-115728-8
- Rathgeber, C., Helm, M., & Hiebler, S. (2018). Energiespeicher für die Energiewende: Salzhydratbasierte Niedertemperatur-Latentwärmespeicher. *Chemie Ingenieur Technik*, 90(1-2), 193–200. <https://doi.org/10.1002/cite.201700049>

- Rönsch, S. (2015). *Anlagenbilanzierung in der Energietechnik: Grundlagen, Gleichungen und Modelle für die Ingenieurpraxis*. Springer. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-658-07824-9>
- Szajdzicki, K. (2017). Measuring & maintaining energy efficiency: SMART approach to implementing ISO 50001. *2017 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering and 2017 IEEE Industrial and Commercial Power Systems Europe (EEEIC / I&CPS Europe)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/EEEIC.2017.7977657>

Anhang A

Anhang

Selbstständigkeitserklärung