

Bachelorarbeit in der Angewandten Informatik

Registriernummer: AI-2024-BA-030

**Konzeption und Entwicklung einer datenbankseitigen Abbildung von
frei definierbaren Bilanzräumen im Zusammenhang mit dem
Energiemanagementsystems 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	ii
Abstract	iii
Vorwort	iv
1 Einleitung	1
1.1 Hintergrund und Motivation	1
1.2 Problemstellung	2
1.2.1 Forschungsfragen	2
1.2.2 Praktische Relevanz des Problemraums	4
1.2.3 Wissenschaftliche Relevanz des Problemraums	4
1.3 Ziel der Arbeit	4
1.4 Aufbau der Arbeit	6
2 Theoretische Grundlagen	8
2.1 Modellierung von Bilanzräumen	8
2.1.1 Grundlagen von Bilanzräumen	8
2.1.2 Bilanzräume im Energiemanagementsystem	10
2.1.3 Ansätze zur Datenbankseitigen Modellierung	10
2.2 Bewertung der energiebezogenen Leistung eines Bilanzraums	10
2.2.1 Grundlagen der Energiebezogenen Leistung	10
2.2.2 Energieleistungskennzahlen	10
2.2.3 Energetische Ausgangsbasen	10
2.2.4 Ansätze zur Datenbankseitigen Auswertung	10
2.3 Technische Anforderungen im Organisationskontext	10
2.3.1 Grundlagen der technischen Anforderungen	10
2.3.2 Energiedatensammlung nach ISO 50001	10
2.3.3 Stammdatenverwaltung nach ISO 50001	10
2.3.4 Umsetzung im Organisationskontext	10
3 Konzeption und implementation in EMS-EDM Prophet®	11
3.1 Einleitung	11
3.2 Ausgangszustand: EMS-EDM Prophet®	11
3.3 Anforderungen	11
3.3.1 Modellierung von Bilanzräumen	11
3.3.2 Abbildung von Metriken zur Bewertung von Bilanzräumen	11
3.3.3 Technische Anforderungen und Datenkommunikation	11
3.4 Umsetzungskonzept für EMS-EDM Prophet®	11
3.4.1 Systemarchitektur	11

3.4.2	Datenmodell und Datenbankdesign	11
3.4.3	Technische Umsetzung und Datenkommunikation	11
3.4.4	EnPI Abbildung	11
3.4.5	Test- und Validierungskonzept	11
3.4.6	Sicherheitskonzept	11
3.4.7	Bedingungen und Anforderungen an die Laufzeitumgebung	11
3.5	Technische Realisierung	11
3.6	Umsetzungsablauf	12
3.7	Ergebnis	12
3.7.1	Anforderungsumsetzung	12
3.7.2	Vergleich zum bestehenden System	12
4	Evaluation	13
4.1	Einleitung	13
4.1.1	Ziel der Evaluation	13
4.1.2	Methodik	13
4.2	Metriken und Kennzahlen	13
4.2.1	Definition der Erfolgsmessung	13
4.2.2	Quantitative Metriken	13
4.2.3	Qualitative Metriken	13
4.3	Experimenteller Aufbau	13
4.3.1	Beschreibung des Experimentes	13
4.3.2	Testumgebung und -bedingungen	13
4.3.3	Datensätze und Szenarien	13
4.4	Durchführung und Ergebnisse	13
4.4.1	Durchführung	13
4.4.2	Quantitative Ergebnisse	13
4.4.3	Qualitative Ergebnisse	13
4.5	Vergleich mit alternativen Ansätzen	13
4.6	Diskussion der Ergebnisse	13
4.7	Zusammenfassung der Evaluation	13
5	Fazit	14
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	14
5.2	Ausblick auf zukünftige Arbeiten	14
A	Anhang	16

Kapitel 1

Einleitung

1.1 Hintergrund und Motivation

Angesichts wachsender Umweltbelastungen und der Notwendigkeit nachhaltiger Praktiken spielt das Energiemanagement eine immer bedeutendere Rolle. Ein Bestandteil des Energiemanagements ist die Abbildung von Bilanzräumen, die zu der Erfassung und Analyse des Energieverbrauchs und der Energieeffizienz beitragen. Diese Arbeit widmet sich der Entwicklung einer datenbankseitigen Lösung zur Abbildung frei definierbarer Bilanzräume im Energiemanagementsystem EMS-EDM PROPHET® nach ISO 50001. Ziel ist es, eine Lösung zu schaffen, die den Anforderungen der ISO 50001 gerecht wird und somit zur Verbesserung der Effizienz des Energiemanagements in Organisationen beiträgt. Die Untersuchung trägt zur Weiterentwicklung nachhaltiger Energiemanagementpraktiken bei und bietet wertvolle Einblicke in die Integration technischer Lösungen in bestehende Systeme.

Ein wesentlicher Fokus dieser Arbeit liegt auf der ISO 50001:2018, 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, und dient der fortlaufenden Verbesserung der energiebezogenen Leistung. [International Organization for Standardization, n. d., S. 7, 10]. Um die Anforderungen der ISO 50001 zu erfüllen, müssen Organisationen den kontinuierlichen Fortschritt ihrer energiebezogenen Leistung nachweisen, wobei die Norm keine spezifischen Zielniveaus vorgibt. [International Organization for Standardization, n. d., S. 10].

Die Umsetzung der ISO 50001 in Organisationen bringt sowohl operationale als auch organisatorische Herausforderungen mit sich [Marimon und Casadesús, 2017]. Dennoch lag im Jahr 2023 in 24.924 Organisationen weltweit ein Zertifikat nach ISO 50001 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 ökonomische Vorteile wie Energieeinsparungen erzielt werden, wodurch Organisationen gemäß ISO 50006:2023 einen Wettbewerbsvorteil aufgrund sinkender Energiekosten erlangen [International Organization for Standardization, n. d.]. 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 ISO 50001 dazu beitragen, die allgemeinen Klimaschutzziele zu erreichen [International Organization for Standardization, n. d.]. Dies

unterstreicht die gesellschaftliche Bedeutung der Norm, insbesondere angesichts der Herausforderungen des Klimawandels.

Die Umsetzung der ISO 50001 basiert auf dem PDCA-Zyklus (Plan, Do, Check, Act), der Organisationen einen strukturierten Rahmen für die fortlaufende Verbesserung der energiebezogenen Leistung bieten soll. [International Organization for Standardization, n. d., S. 7] Während die Norm in erster Linie Anforderungen auf Managementebene formuliert, verweist sie auch auf technische Normen wie die ISO 50006, die spezifische Anforderungen an Energieleistungskennzahlen und energetische Ausgangsbasen definiert. [International Organization for Standardization, n. d., 2024].

Die Version der ISO 50006 Norm auf die in dieser Arbeit Bezug genommen wird ist aktuell noch im Entwurf, liegt allerdings der Öffentlichkeit bereits zur Prüfung und Stellungnahme vor. Hier sei auf einen Anwendungswarnvermerk dieser Quelle hingewiesen, weil das beabsichtige Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren [International Organization for Standardization, 2024].

Im Kontext des Energiemanagements unterstützen Bilanzräume die Überwachung der energiebezogenen Leistung innerhalb von Organisationen, indem sie einen strukturierten Rahmen für deren Analyse und Optimierung bereitstellen und Organisationsstrukturen abbilden.

1.2 Problemstellung

1.2.1 Forschungsfragen

Hauptforschungsfrage: "Wie lässt sich ein datenbankbasiertes System zur Abbildung und Bewertung von frei definierbaren Bilanzräumen im Rahmen des Energiemanagementsystems EMS-EDM Prophet® konzipieren und implementieren, um Organisationen bei der Erfüllung der ISO 50001-Anforderungen zu unterstützen?"

Die breite Anwendbarkeit der in der ISO 50001 gestellten Anforderungen zur Verbesserung der energiebezogenen Leistung führt zu Anforderungen an die Abbildbarkeit von frei definierbaren energiebezogenen Organisationsstrukturen im Energiemanagementsystem.

Ein Teilaspekt zur Umsetzung der ISO 50001 im Rahmen der Energiebilanzierung ist die Abbildung und Bewertung von energiebezogenen Bereichen in Organisationen im Energiemanagementsystem und soll im Rahmen dieser Arbeit betrachtet werden.

Somit besteht das zentrale Problem dieser Arbeit darin ein System zur Abbildung und Bewertung frei definierbarer Bilanzräume auf Datenbankebene unter Berücksichtigung der von der ISO 50001 gestellten Anforderungen an Bilanzräume und damit verbundene Themenkomplexe in EMS-EDM Prophet® zu konzipieren und implementieren.

Im Rahmen dieses Problemraums ergeben sich mehrere Teilaspekte, welche im Zuge der 3 Subforschungsfragen weiter erläutert werden.

Abbildung von Bilanzräumen

Subforschungsfrage 1: "Welche strukturellen Erweiterungen und Anpassungen müssen in EMS-EDM Prophet® auf Datenbankebene implementiert werden, um frei definierbare Bilanzräume unter Berücksichtigung der in der ISO 50001 festgelegten Anforderungen abzubilden?"

Dieser Teilbereich der Problemstellung umfasst die Aspekte, welche zur Abbildung von frei definierbaren Bilanzraumstrukturen auf Datenbankebene umgesetzt werden müssen,

um das EMS-EDM Prophet® so zu erweitern, dass das System den in der ISO 50001 festgelegten Anforderungen, welche für die Abbildung von Bilanzräumen relevant sind, gerecht wird.

Aufgrund der Anwendbarkeit der ISO 50001 auf jede beliebige Organisation ist die freie Definierbarkeit der Bilanzräume ein zentrales Qualitätskriterium des nach der Forschungsfrage zu entwerfenden Systems und spielt bei der Beantwortung der Forschungsfrage eine wichtige Rolle.

Die aktuelle Datenbankstruktur von EMS-EDM Prophet® steht vor dem Problem, frei definierbare Bilanzräume gemäß den Anforderungen der ISO 50001 abzubilden. Um dieses Problem zu lösen, sind strukturelle Änderungen und Erweiterungen der Datenbank notwendig. Diese Anpassungen müssen sicherstellen, dass die Datenbank den spezifischen Anforderungen der ISO 50001 gerecht wird und die Abbildung und Bewertung von Bilanzräumen ermöglicht.

Bewertung von Bilanzräumen

Subforschungsfrage 2: "Wie können die in der ISO 50001 und ISO 50006 vorgegebenen Metriken zur Bewertung und Überwachung der energiebezogenen Leistung mit ihrer Definition, den Berechnungsmethoden sowie den Anforderungen an die Eingangsdaten in das Bilanzraumdatenmodell integriert werden?"

Dieser Teilbereich der Problemstellung setzt sich mit der nach ISO 50001 und ISO 50006 angemessenen Bewertung von Bilanzräumen auseinander.

Die in Subforschungsfrage 1 entworfene Datenbankmodellierung zur Abbildung von Bilanzräumen steht vor der Herausforderung, Metriken der energiebezogenen Leistung zu integrieren, um eine Bewertung und Überwachung innerhalb und zwischen Bilanzräumen gemäß den Vorgaben der ISO 50001 zu ermöglichen.

Um das Problem der Bewertung von Bilanzräumen zu lösen, müssen im Rahmen der Forschungsfrage die Definition von Metriken, die Festlegung von Berechnungsmethoden sowie die Anforderungen an Eingangsdaten zur Berechnung der Metriken untersucht und berücksichtigt werden. Diese Bereiche sind festgelegt um eine Bewertung der energiebezogenen Leistung gemäß den Vorgaben der ISO 50001 und ISO 50006 zu ermöglichen.

Im Kontext von Energiemanagementsystemen gemäß ISO 50006 werden Energieleistungskennzahlen (EnPIs) und energetische Ausgangsbasen (EnBs) als zentrale Metriken betrachtet International Organization for Standardization, 2024. Daher bezieht sich diese Forschungsfrage auf diese beiden Metriken.

Technische Herausforderungen

Subforschungsfrage 3: "Welche Anforderungen an die Messinfrastruktur und Stammdaten innerhalb einer Organisation müssen erfüllt werden, um frei definierbare Bilanzräume im EMS-EDM Prophet® nach Vorgaben der ISO 50001 im Organisationskontext abzubilden und zu bewerten?"

Der letzte Teilbereich des Problemraums setzt sich mit der technischen Realisation des in Subforschungsfrage 1 und 2 entworfenen Systems auseinander und behandelt somit den Bereich der Umsetzung des erarbeiteten Konzepts zur Abbildung und Bewertung von Bilanzräumen in Organisationen, welche EMS-EDM Prophet® nutzen. Diese Subforschungsfrage hat vorrangig eine praktische Relevanz, da sie sich vor allem mit dem Anwendungsgebiet des entworfenen Systems auseinandersetzt und Anforderungen an die Laufzeitumgebung des Systems und die Organisationen, die es verwenden, stellt.

Die Identifikation grundlegender Anforderungen an die Messinfrastruktur stellt ein Problem dar, da diese auf Grundlage der ISO 50001-Vorgaben zur Energiedatensammlung sowie des entworfenen Konzepts zur Abbildung und Bewertung der Bilanzräume in anwendenden Organisationen erfolgen muss.

Ein weiterer Schwerpunkt dieser Forschungsfrage ist die Identifikation der Anforderungen an die Stammdaten zur Beschreibung der Organisationsbilanzräume, um alle notwendigen Informationen zu identifizieren, die zur Überführung der realen Bilanzräume in das entworfene Datenbankkonzept benötigt werden.

1.2.2 Praktische Relevanz des Problemraums

Das beschriebene Problem weist eine hohe praktische Relevanz auf, da es die Herausforderungen der ISO 50001 im Energiemanagement von Organisationen adressiert. Die bestehenden Anforderungen der ISO 50001 und der aktuelle Zustand von EMS-EDM Prophet® stellen Anforderungen an die Abbildung und Bewertung von Bilanzräumen. Ein zentrales Problem besteht darin, ein Datenbankmodell 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.

1.2.3 Wissenschaftliche Relevanz des Problemraums

Die Problemstellung weist auch eine wissenschaftliche Relevanz auf, da im Zuge der Erarbeitung einer Lösung Methoden des Datenmanagements im Kontext der Modellierung von Energiebilanzräumen angewandt werden. Dabei werden die in EMS-EDM Prophet® bestehenden Methoden um neue Ansätze zur Modellierung von Bilanzräumen erweitert. Diese Erweiterungen tragen zur wissenschaftlichen Diskussion über Datenmanagementstrategien im Energiemanagement bei und bieten neue Perspektiven für die Integration von ISO 50001-Vorgaben in datenbankbasierte Systeme. Darüber hinaus fördert die Arbeit den interdisziplinären Austausch zwischen den Bereichen Energiemanagement und Datenbankmodellierung, indem sie theoretische Konzepte mit praktischen Anwendungen verknüpft. Die entwickelten methodischen Ansätze und Modelle können als Grundlage für zukünftige wissenschaftliche Untersuchungen dienen und die Weiterentwicklung von Energiemanagementsystemen unterstützen.

1.3 Ziel der Arbeit

Gesamtziel

Das Gesamtziel dieser Arbeit ist die Konzeption eines Prototyps, welcher im beliebigen Organisationskontext mit EMS-EDM Prophet® frei definierbare und energiesektorübergreifende Bilanzräume abbilden und bewerten kann.

Dieser Prototyp soll im Organisationskontext: Gebäude des Fraunhofer IOSB-AST II-menaue Implementation und evaluiert werden.

Zur Evaluierung soll der Prototyp auf die Erfüllung der aus der ISO 50001 abgeleiteten Anforderungen, die Abbildbarkeit und Bewertbarkeit von Bilanzräumen sowie die Umsetz-

barkeit in beliebigen Organisationen geprüft werden, da dies die grundlegenden Qualitätskriterien des zu entwerfenden Prototyps sind.

Das Ziel der Arbeit und die Qualitätskriterien lassen sich nach den Subforschungsfragen in folgende Zwischenziele mit Qualitätskriterien aufgliedern.

Abbildung von Bilanzräumen

Das Zwischenziel zur Beantwortung der Forschungsfrage: "Welche strukturellen Erweiterungen und Anpassungen müssen in EMS-EDM Prophet® auf Datenbankebene implementiert werden, um frei definierbare und energiesektorübergreifende Bilanzräume unter Berücksichtigung der in der ISO 50001 festgelegten Anforderungen abzubilden?" ist die Konzeption eines grundlegenden Prototyps zur Abbildung von frei definierbaren Bilanzräumen und Bilanzraumstrukturen.

Der Prototyp soll die bestehende Datenbankstruktur von EMS-EDM Prophet® im Rahmen der Beantwortung der Forschungsfrage Anpassungen und Erweitern.

Dieses Zwischenziel fokussiert sich auf die Abbildung der Bilanzraumstrukturen auf Datenbankebene und grenzt sich von der Bewertung der Bilanzräume sowie der Anwendung im beliebigen Organisationskontext ab.

Der entworfene Prototyp soll im Organisationskontext: Gebäude des Fraunhofer IOSB-AST Ilmenau implementiert und evaluiert werden.

Die Qualitätskriterien zur Evaluierung dieses Zwischenziels sind die Erfüllung der aus der ISO 50001 Anforderungen abgeleiteten Anforderungen an Bilanzräume und Bilanzraumstrukturen, die sinnvolle Verwendung etablierter Methoden des Datenmanagements im Kontext Bilanzraumabbildung und der freien Abbildbarkeit von energiesektorübergreifenden Bilanzräumen.

Bewertung von Bilanzräumen

Das Zwischenziel zur Beantwortung der Forschungsfrage: "Wie können die in der ISO 50001 und ISO 50006 vorgegebenen Metriken zur Messung und Überwachung der energiebezogenen Leistung mit ihrer Definition, den Berechnungsmethoden sowie den Anforderungen an die Eingangsdaten in das Bilanzraumdatenmodell integriert werden?" ist die Integration von Metriken der energiebezogenen Leistung in den im Rahmen der Beantwortung der ersten Forschungsfrage entworfenen Prototyp.

Der erweiterte Prototyp soll dazu ermächtigt werden, Energieleistungskennzahlen(EnPIs) und energetische Ausgangsbasen(EnBs) zu definieren, Berechnungsmethoden für diese festzulegen und Anforderungen an die Eingangsdaten zur Berechnung der Metriken festzulegen.

Dieses Zwischenziel fokussiert sich somit auf die Bewertung von Bilanzräumen, basiert auf der entworfenen datenbankseitigen Abbildung und grenzt sich von der Anwendung im beliebigen Organisationskontext ab.

Der erweiterte Prototyp soll im Organisationskontext: Gebäude des Fraunhofer IOSB-AST Ilmenau implementiert und evaluiert werden.

Die Qualitätskriterien zur Evaluierung dieses Zwischenziels sind die Erfüllung der aus der ISO 50001 und ISO 50006 abgeleiteten Anforderungen an Energieleistungskennzahlen und energetische Basislevel, der Validität der berechneten Werte der Metriken, und die Nutzung bewährter Konzepte des Datenmanagements im Kontext der Berechnung von Metriken zur Bewertung der energiebezogenen Leistung.

Technische Herausforderungen

Das Zwischenziel zur Beantwortung der Forschungsfrage: "Welche Anforderungen an die Messinfrastruktur und Stammdaten innerhalb einer Organisation müssen erfüllt werden, um frei definierbare Bilanzräume im EMS-EDM Prophet® nach Vorgaben der ISO 50001 im Organisationskontext abzubilden und zu bewerten?" ist die Identifikation der Anforderungen an die Messinfrastruktur und die Stammdaten im anzuwendenden Organisationskontext.

Dieses Ziel fokussiert sich durch die Formulierung von Anforderungen auf die Lösung der technischen Herausforderung bei der Implementation in beliebigen Organisationskontexten und basiert auf den entworfenen Prototyp.

Dabei sollen Anforderungen zur Bereitstellung von Stammdaten und zur Messinfrastruktur in Organisationen formuliert werden.

Im Rahmen der Implementation Evaluation des Prototyps im Organisationskontext: Gebäude des Fraunhofer IOSB-AST Ilmenau soll argumentiert werden wie die Anforderungen umgesetzt wurden.

Die Qualitätskriterien zur Evaluierung umfassen die Diskrepanz zwischen den gestellten Anforderungen und den in der ISO 50001 festgelegten Anforderungen, die Umsetzbarkeit des Prototyps durch die Anforderungen und die Umsetzbarkeit der gestellten Anforderungen in Organisationen.

1.4 Aufbau der Arbeit

Der Aufbau dieser Arbeit umfasst 3 Hauptabschnitte die systematisch, unter Berücksichtigung einer wissenschaftlichen Arbeitsmethodik, dargestellt werden, um die Forschungsfragen zu beantworten und die gesetzten Ziele der Arbeit zu erreichen.

1. Literaturrecherche und theoretische Vorarbeit

Aufgrund der praxisnahen Problemstellung und der Erarbeitung der Lösung im Rahmen des EMS-EDM Prophet® versteht sich diese Forschung als anwendungsorientiert. Daher werden im theoretischen Teil der Arbeit zwei Hauptbereiche betrachtet: die im Problemraum relevanten Aspekte des Energiemanagements und den theoretischen Ansätzen zur technischen Realisation auf Datenbankebene.

Für die Erarbeitung der theoretischen Grundlagen des Energiemanagements werden im zweiten Kapitel der Arbeit die ISO 50001, damit verbundene Normen und Basiswissen aus für den Problemraum relevanter Fachliteratur analysiert. Auf dieser Basis werden theoretische Konzepte und Anforderungen aus dem Anwendungsbereich formuliert, die für die Beantwortung der Forschungsfrage relevant sind.

Um die theoretischen Grundlagen der technischen Umsetzung der Problemlösung zu erarbeiten werden Ansätze und Methoden aus dem Bereich Datenmanagement und Datenbankstrukturen betrachtet und es wird analysiert in wie fern diese Ansätze zur Lösung der Forschungsfrage eingesetzt werden können.

Ein zentraler Aspekt des theoretischen Teils dieser Arbeit ist die Interdisziplinarität. Die Verbindung von Energiemanagement und Datenmanagement ist entscheidend, um eine umfassende und praxisnahe Lösung zu entwickeln. Durch die Integration von Erkenntnissen und Methoden aus beiden Bereichen wird sichergestellt, dass die theoretischen Grundlagen sowohl die Anforderungen der ISO 50001 als auch die technischen Herausforderungen der Datenbankmodellierung abdecken. Diese interdisziplinäre Herangehensweise ermöglicht es, eine fundierte theoretische Basis zu schaffen,

die sowohl den praktischen als auch den wissenschaftlichen Anforderungen gerecht wird.

Aufgrund der anwendungsorientiertheit der Forschung und des Forschungskontexts: EMS-EDM Prophet®, ist die Menge alternativen Lösungsansätze in diesem Problemraum klein, weshalb alternative Lösungsansätze des gesamten Problemraums in der aufarbeitung der theoretischen Grundlagen nicht beachtet werden. (TODO: Formulierung überarbeiten)

2. Konzeption und Implementation des Prototyps

Basierend auf den theoretische Grundlagen der Arbeit wird im dritten Kaptiel der Arbeit eine Lösung für den Problemraum konzipiert und Begründet.

Dies umfasst die formalisierung von Anforderungen aus den theoretischen Grundlagen des Energiemanagements, die Beschreibung des aktuellen Zustands vom EMS-EDM Prophet®, und der Dokumentation des Konzepts und der Implementation der Problemlösung im Organisationskontext: Fraunhofer IOSB-AST Ilmenau unter verwendung der .

3. Evalutation des Prototyps

Im vierten Kapitel der Arbeit wird die entworfene und implementierte Problemlösung evaluiert.

Dazu werden Qualitative sowie Quantitative Daten erhoben um die Lösung der Forschungsfragen nach den festgelegten Qualitätskriterien zu bewerten.

Die erhobenen Daten werden diskutiert und es werden Rückschlüsse darauf gezogen wie gut die Lösung das Problem löst, und in wie fern die entworfene Lösung EMS-EDM Prophet® zur Problemlösung ermächtigt wurde.

Kapitel 2

Theoretische Grundlagen

2.1 Modellierung von Bilanzräumen

2.1.1 Grundlagen von Bilanzräumen

Definition von Bilanzräumen

Energiebilanzräume stellen ein zentrales Konzept im Energiemanagement dar und bilden die Grundlage für die Berechnung von Energieleistungskennzahlen, da sie deren Vergleichbarkeit sicherstellen [Engelmann, 2015, Kapitel 5.4.2]. Sie umfassen laut Engelmann (2015) sowohl Energiequellen als auch Energiesenken und müssen anhand einheitlicher Kriterien definiert werden müssen. Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Bilanzräume in mehrere Teilbilanzräume zu unterteilen [Engelmann, 2015, Kapitel 5.4.2].

Bilanzierung

Bilanzräume haben unter anderem eine Relevanz für die Bilanzierung in Organisationen. Eine Bilanzierung bezeichnet in diesem Kontext die Berechnung der in einen Bilanzraum ein- und austretenden Energieflüsse [Rönsch, 2015, S. 65]. Nach der Definition von Engelmann (2015, Kapitel 5.4.2) muss dabei die Summe der Energiequellen und -senken eine Null-Bilanz ergeben. Im Rahmen des Energiemanagements steht die Energiebilanz im Fokus. Die Energiebilanzierung ist laut Rönsch (2015, S. 66) eine Form der Bilanzierung die auf dem Prinzip der Energieerhaltung beruht, welcher besagt, dass die Energie in einem abgeschlossenen System, über die Zeit konstant ist. Abgeschlossen meint in diesem Kontext wärmeundurchlässig. Für abgeschlossene Systeme ohne Speicherkapazitäten bedeutet das dass die Summe der Energiequellen gleich der Summe der Energiesenken ist, sollte das System über Energiespeicherkapazitäten verfügen so ist die Menge der gespeicherten Energie gleich der Differenz aus der Summe der Energiequellen und -senken [Rönsch, 2015].

Die Energiebilanz nach Rönsch (2015) lässt sich mathematisch mit der folgenden Gleichung darstellen:

$$E_{\text{gespeichert}} = \sum E_{\text{quelle}} - \sum E_{\text{senke}}$$

Erläuterung der Gleichung:

- $E_{\text{gespeichert}}$: Energie, die im System gespeichert wird.
- $\sum E_{\text{quelle}}$: Summierte zugeführten Energie, der Energiequellen.

- $\sum E_{\text{senke}}$: Summe aller Energiesenken, also der verbrauchten Energie.

Für abgeschlossene Systeme ohne Energiespeicher gilt:

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

In diesem Fall ist die zugeführte Energie gleich der verbrauchten Energie:

$$\sum E_{\text{quelle}} = \sum E_{\text{senke}}$$

Energiequellen und -senken

Die definition von Bilanzräumen mit den zu bilanzierenden Energiequellen und -senken kann grundlegend für den Aufbau eines Energieflussmodells verwendet werden. Ein Energieflussmodell berechnet die Massen- und Energiebilanzen sowie die thermodynamischen Gleichgewichtsbedingungen der Komponenten [Francesca Palazzi et al., 2007] und stellt somit eine zentrale Komponente zur Energiebilanzierung in Organisationen.

Beziehungen zwischen Bilanzräumen

Praktische Herausforderung im Zusammenhang mit Bilanzräumen

Die Definition von Bilanzräumen, wie sie von Engelmann (2015, Kapitel 5.4.2) beschrieben wird, bildet eine wesentliche Grundlage für die Analyse und Optimierung der energiebezogenen Leistung von Organisationen. Dabei müssen die Bilanzraumkriterien den spezifischen Gegebenheiten der Organisation angepasst werden. Dies wird deutlich, wenn man den Energieverbrauch in verschiedenen Sektoren betrachtet.

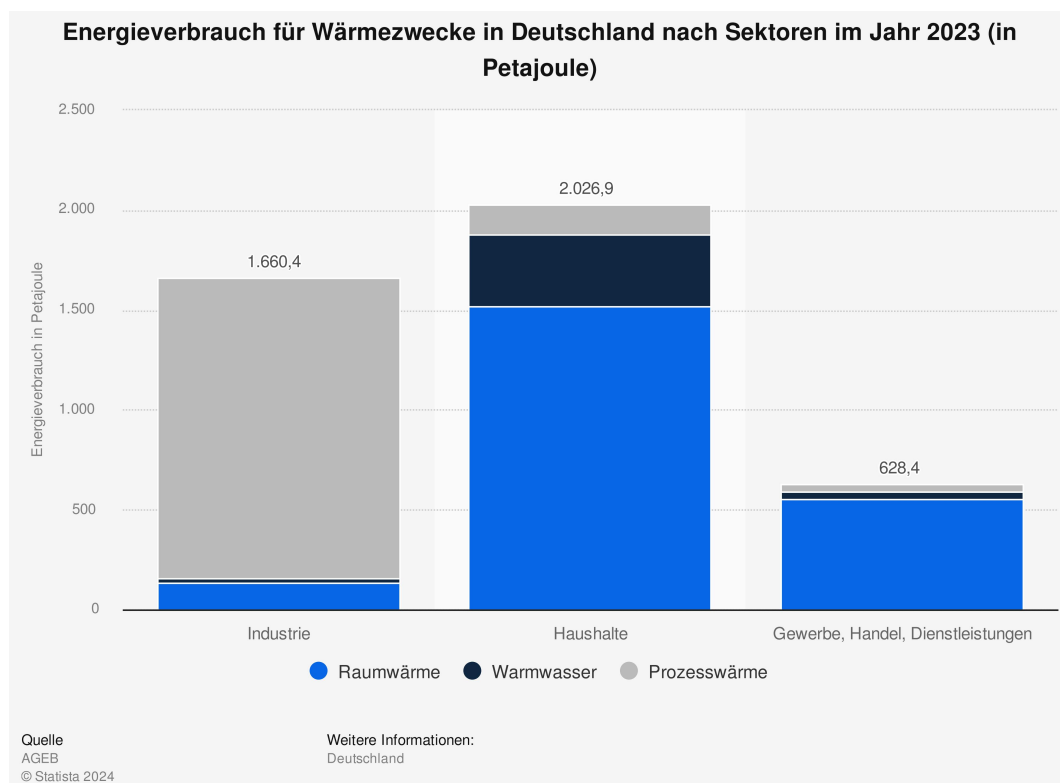


Abbildung 2.1: Energieverbrauch für den Wärmezweck in Deutschland [AGE B, 2024]

Abbildung 2.1 zeigt den Energieverbrauch für Wärmezwecke in Deutschland im Jahr 2023, aufgeschlüsselt nach Sektoren. Hieraus lassen sich grundlegende Erkenntnisse für die praktische Definition von Bilanzräumen ableiten. Der industrielle Sektor weist einen hohen Anteil an prozessbezogener Wärme auf, was darauf hinweist, dass hier spezifische Bilanzräume für die Erfassung und Optimierung von Prozesswärme sinnvoll sind. Im Gegensatz dazu spielt im Dienstleistungssektor die Raumwärme eine dominierende Rolle denn in Organisationen, die immaterielle Dienstleistungen erbringen, spielt die Gebäudeenergie eine entscheidende Rolle bei der Verbesserung der energiebezogenen Leistung, während Prozesse oder Technologien eine untergeordnete Bedeutung haben [Alberto Fichera et al., 2020]. Dies erfordert andere Schwerpunkte bei der Definition von Bilanzraumkriterien.

Dieser Unterschied zeigt, dass ein einheitlicher Ansatz zur Definition von Bilanzraumkriterien sektorenübergreifend nicht zielführend ist. Stattdessen sollten die Bilanzraumkriterien auf den jeweiligen Energieeinsatz abgestimmt werden, um Optimierungspotenziale gezielt identifizieren zu können. Für Organisationen, die Dienstleistungen anbieten, bedeutet dies beispielsweise, dass die Gebäudeenergie als zentrale Energiesenke in den Fokus rückt, während bei Industriebetrieben die Energieflüsse innerhalb der Produktionsprozesse detaillierter bilanziert werden sollten.

2.1.2 Bilanzräume im Energiemanagementsystem

2.1.3 Ansätze zur Datenbankseitigen Modellierung

2.2 Bewertung der energiebezogenen Leistung eines Bilanzraums

2.2.1 Grundlagen der Energiebezogenen Leistung

2.2.2 Energieleistungskennzahlen

2.2.3 Energetische Ausgangsbasen

2.2.4 Ansätze zur Datenbankseitigen Auswertung

2.3 Technische Anforderungen im Organisationskontext

2.3.1 Grundlagen der technischen Anforderungen

2.3.2 Energiedatensammlung nach ISO 50001

2.3.3 Stammdatenverwaltung nach ISO 50001

2.3.4 Umsetzung im Organisationskontext

Kapitel 3

Konzeption und implementation in EMS-EDM Prophet®

3.1 Einleitung

3.2 Ausgangszustand: EMS-EDM Prophet®

3.3 Anforderungen

3.3.1 Modellierung von Bilanzräumen

3.3.2 Abbildung von Metriken zur Bewertung von Bilanzräumen

3.3.3 Technische Anforderungen und Datenkommunikation

3.4 Umsetzungskonzept für EMS-EDM Prophet®

3.4.1 Systemarchitektur

3.4.2 Datenmodell und Datenbankdesign

3.4.3 Technische Umsetzung und Datenkommunikation

3.4.4 EnPI Abbildung

3.4.5 Test- und Validierungskonzept

3.4.6 Sicherheitskonzept

3.4.7 Bedingungen und Anforderungen an die Laufzeitumgebung

3.5 Technische Realisierung

In diesem Kapitel sollen alle technischen Aspekte der Umsetzung beschrieben werden.

3.6 Umsetzungsablauf

In diesem Kapitel soll der Ablauf der Umsetzung beschrieben und begründet werden.

3.7 Ergebnis

In diesem Kapitel soll das Ergebnis der Umsetzung beschrieben werden.

3.7.1 Anforderungsumsetzung

In diesem Kapitel soll beschrieben werden wie die Anforderungen umgesetzt wurden und welche Anforderungen umgesetzt wurden.

3.7.2 Vergleich zum bestehenden System

In diesem Kapitel soll der Vergleich zum bestehenden System gezogen werden und erläutert werden was sich verändert hat.

Kapitel 4

Evaluation

4.1 Einleitung

4.1.1 Ziel der Evaluation

4.1.2 Methodik

4.2 Metriken und Kennzahlen

4.2.1 Definition der Erfolgsmessung

4.2.2 Quantitative Metriken

4.2.3 Qualitative Metriken

4.3 Experimenteller Aufbau

4.3.1 Beschreibung des Experimentes

4.3.2 Testumgebung und -bedingungen

4.3.3 Datensätze und Szenarien

4.4 Durchführung und Ergebnisse

4.4.1 Durchführung

4.4.2 Quantitative Ergebnisse

4.4.3 Qualitative Ergebnisse

4.5 Vergleich mit alternativen Ansätzen

4.6 Diskussion der Ergebnisse

4.7 Zusammenfassung der Evaluation

Kapitel 5

Fazit

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

5.2 Ausblick auf zukünftige Arbeiten

Literaturverzeichnis

- AGEB. (2024). Energieverbrauch für Wärmezwecke in Deutschland nach Sektoren im Jahr 2023 (in Petajoule) [Graph] (AGEB, Hrsg.). <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/614202/umfrage/waermeverbrauch-in-deutschland-nach-sektoren/>
- 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>
- 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\underline{5}>
- Francesca Palazzi, Nordahl Autissier, François M.A. Marechal & Daniel Favrat. (2007). A methodology for thermo-economic modeling and optimization of solid oxide fuel cell systems. *Applied Thermal Engineering*, 27(16), 2703–2712. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2007.06.007>
- International Organization for Standardization. (2011). *Win the Energy Challenge with ISO 50001*. ISO Central Secretariat.
- International Organization for Standardization. (n. d.). DIN EN ISO 50001:2018-12, Energiemanagementsysteme – Anforderungen mit Anleitung zur Anwendung (ISO 50001:2018); Deutsche Fassung EN ISO 50001:2018.
- International Organization for Standardization. (2023). ISO Survey 2023. <https://www.iso.org/the-iso-survey.html>
- International Organization for Standardization. (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>
- Marimon, F., & Casadesús, M. (2017). Reasons to Adopt ISO 50001 Energy Management System. *Sustainability*, 9(10), 1740. <https://doi.org/10.3390/su9101740>
- 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>

Anhang A

Anhang

Selbstständigkeitserklärung