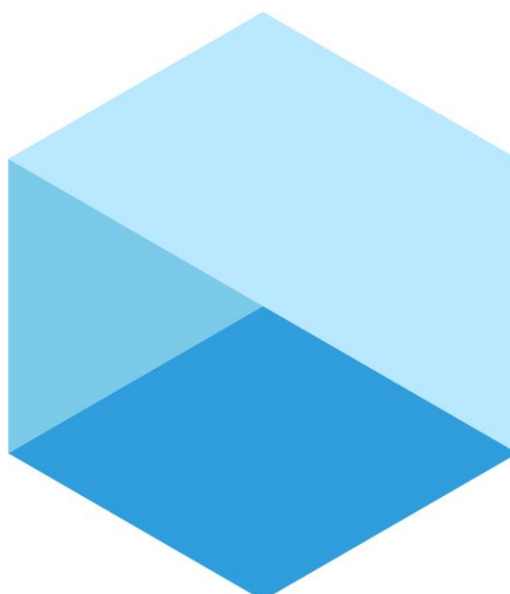


BBSR-  
Online-Publikation  
21/2022

# Energetische Zustandsbewertung großer Gebäudebestände (OfDataLyse)

von

Matthias Lagleder  
Dr. Miaomiao He  
Prof. Werner Lang  
Prof. Isabell Nemeth  
Prof. Jochen Stopper



OF DATA LYSE

# Energetische Zustandsbewertung großer Gebäudebestände (OfDataLyse)

Entwicklung eines Tools für die strategische Auswertung von heterogenen  
Datensätzen großer Gebäudebestände

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wohnen, Stadtentwicklung  
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

**ZUKUNFT BAU**  
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-18.31

Projektlaufzeit: 11.2019 bis 02.2022

## IMPRESSUM

### Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)  
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)  
Deichmanns Aue 31–37  
53179 Bonn

### Fachbetreuer

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung  
Referat WB 3 „Forschung im Bauwesen“  
Dr. Arnd Rose  
arnd.rose@bbr.bund.de

### Autorinnen und Autoren

Technische Universität München  
Lehrstuhl für energieeffizientes und nachhaltiges Planen und Bauen  
Dipl.-Ing. (FH) Matthias Lagleder, M. Eng. (Projektleitung)  
matthias.lagleder@tum.de

Prof. Dr.-Ing. Werner Lang  
w.lang@tum.de

Technische Hochschule Rosenheim  
Dr.-Ing. Miaomiao He  
Miaomiao.he@th-rosenheim.de

Prof. Dr.-Ing. Isabell Nemeth  
isabell.nemeth@th-rosenheim.de

Prof. Dr.-Ing. Jochen Stopper  
jochen.stopper@th-rosenheim.de

### Stand

Februar 2022

### Bildnachweis

Titelbild: Matthias Lagleder  
Alle anderen Abbildungen stammen von dem Autorenteam.

### Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

### Zitierweise

Lagleder, Matthias; He, Miaomiao; Lang, Werner; Nemeth Isabell; Stopper, Jochen: Energetische Zustandsbewertung großer Gebäudebestände (OfDataLyse). Entwicklung eines Tools für die strategische Auswertung von heterogenen Datensätzen großer Gebäudebestände. BBSR-Online-Publikation 21/2022, Bonn, Juni 2022.

## Inhaltsverzeichnis

|          |                                                                  |           |
|----------|------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Einleitung</b>                                                | <b>7</b>  |
| 1.1      | Problemstellung.....                                             | 7         |
| 1.2      | Zielsetzung .....                                                | 7         |
| 1.3      | Aufbau der Arbeit .....                                          | 9         |
| <b>2</b> | <b>Grundlagen</b>                                                | <b>10</b> |
| 2.1      | Kommunen.....                                                    | 10        |
| 2.1.1    | Energieeffizienz- und Klimaschutzziele in Kommunen .....         | 10        |
| 2.1.2    | Besondere Situation und Herausforderungen NWG.....               | 10        |
| 2.1.3    | Kommunaler Nichtwohngebäudebestand .....                         | 11        |
| 2.1.4    | Kommunale Schulgebäude .....                                     | 11        |
| 2.1.5    | Kommunaler Haushalt.....                                         | 12        |
| 2.1.6    | Förderangebote.....                                              | 13        |
| 2.1.7    | Kommunale Entscheidungsprozesse .....                            | 14        |
| 2.1.8    | Bedeutung personeller Ressourcen.....                            | 15        |
| 2.2      | Baureferat München.....                                          | 16        |
| 2.2.1    | Strukturen .....                                                 | 16        |
| 2.2.2    | Arbeitsweise .....                                               | 19        |
| 2.2.3    | Prozesse der energetischen Gebäudeanalyse .....                  | 19        |
| 2.3      | Erfassung, Haltung, Pflege und Weiterentwicklung von Daten ..... | 23        |
| 2.3.1    | CAFM .....                                                       | 23        |
| 2.3.2    | Nuclos .....                                                     | 23        |
| 2.3.3    | Zentrale Leitechnik.....                                         | 25        |
| 2.3.4    | EPIQR .....                                                      | 26        |
| 2.4      | Daten .....                                                      | 28        |
| 2.4.1    | Erforderliche Daten für die energetische Portfoliobewertung..... | 28        |
| 2.4.2    | Untersuchte Datenquellen.....                                    | 28        |
| 2.4.3    | Begrenzungen .....                                               | 30        |
| 2.4.4    | Verwendete Datenquellen .....                                    | 30        |

|          |                                                                                                                                               |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>3</b> | <b>Stand der Forschung und Normengrundlage</b>                                                                                                | <b>32</b> |
| 3.1      | Stand der Forschung .....                                                                                                                     | 32        |
| 3.2      | Normengrundlage .....                                                                                                                         | 37        |
| <b>4</b> | <b>Entwicklung eines Tools zur Bewertung des Gebäudebestands</b>                                                                              | <b>38</b> |
| 4.1      | Überblick über das Tool .....                                                                                                                 | 38        |
| 4.2      | Option 1: Analyse des Wärmeverbrauchs .....                                                                                                   | 40        |
| 4.2.1    | Eingangsdaten: EIS-Daten .....                                                                                                                | 40        |
| 4.2.2    | Statistische Analyse zur Ermittlung hoher Wärmeverbraucher .....                                                                              | 41        |
| 4.2.3    | Grafische Benutzeroberfläche: EIS-Daten .....                                                                                                 | 42        |
| 4.3      | Option 2: Berechnung des Wärme- und Endenergiebedarfs, der CO <sub>2</sub> -Emissionen, der Sanierungskosten, und der Amortisationszeit ..... | 43        |
| 4.3.1    | Eingangsdaten - EPIQR-Datensatz .....                                                                                                         | 43        |
| 4.3.2    | Berechnung des Wärme- und Endenergiebedarfs .....                                                                                             | 44        |
| 4.3.3    | Berechnung der CO <sub>2</sub> -Emissionen .....                                                                                              | 45        |
| 4.3.4    | Berechnung der Sanierungskosten .....                                                                                                         | 46        |
| 4.3.5    | Berechnung der Amortisationszeit .....                                                                                                        | 46        |
| 4.3.6    | Grafische Benutzeroberfläche: EPIQR-Daten .....                                                                                               | 47        |
| 4.4      | Visualisierung der Ergebnisse in Geografische Informationssystem ....                                                                         | 49        |
| <b>5</b> | <b>Ergebnisse der Analyse der EIS-Daten</b>                                                                                                   | <b>51</b> |
| 5.1      | Überblick der EIS-Daten .....                                                                                                                 | 51        |
| 5.2      | Wärmeverbrauch von Gebäuden in EIS-Daten .....                                                                                                | 53        |
| 5.3      | Hohe Wärmeverbraucher in den EIS-Daten .....                                                                                                  | 55        |
| <b>6</b> | <b>Ergebnisse der Berechnung der EPIQR-Daten</b>                                                                                              | <b>57</b> |
| 6.1      | Beschreibung der EPIQR-Daten .....                                                                                                            | 57        |
| 6.2      | Wärmebedarf Bestand .....                                                                                                                     | 58        |
| 6.3      | Wärmebedarfsreduzierung nach Sanierung .....                                                                                                  | 60        |
| 6.4      | CO <sub>2</sub> -Emissionsreduzierung .....                                                                                                   | 63        |
| 6.5      | Kosteneffizienz der Sanierung .....                                                                                                           | 66        |
| 6.6      | Amortisationszeit .....                                                                                                                       | 68        |

|                             |           |
|-----------------------------|-----------|
| <b>7    Fazit, Ausblick</b> | <b>70</b> |
| Mitwirkende .....           | 72        |
| Literaturverzeichnis .....  | 73        |
| Abbildungsverzeichnis ..... | 75        |
| Tabellenverzeichnis .....   | 76        |
| Abkürzungsverzeichnis.....  | 77        |



# 1 Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Die strengen energetischen Anforderungen der Bundesregierung an die Kommunen bringen viele Herausforderungen mit sich. Die zentrale kommunale Aufgabe ist es, einen auf Prioritäten ausgerichteten Sanierungsfahrplan aufzustellen, um im Spannungsfeld aus Personal- und Mittelknappheit zielgerichtet die wesentlichen Schritte einzuleiten.

Eine grundlegende Aufgabe des Baureferats München ist es, ihr großes, heterogenes Gebäudeportfolio energetisch zu verwalten. Es sollen Energieeinsparpotenziale einzelner Objekte herausgefiltert und konkrete Sanierungsmaßnahmen aufgezeigt werden. Es gilt herauszufinden, welche Gebäude den größten Sanierungsbedarf haben und bei welchen Gebäuden mit dem geringsten Aufwand die größten Energieeinsparungen erzielt werden können. Das bedarf einer globalen Betrachtung des gesamten Gebäudebestands und stellt in Anbetracht der Vielzahl an Daten eine große Herausforderung dar.

Für die Gebäudebewertung hat jeder Mitarbeiter eine individuelle Herangehensweise. Die meisten führen persönlich erstellte Excel-Tabellen, in denen sie die wichtigsten Daten aus den unterschiedlichen Quellen sammeln und ordnen. Diese Listen werden als Grundlage zur Entscheidungsfindung verwendet. Da die Daten teils analog, lückenhaft oder variabel sind, müssen diese mühsam recherchiert und auf Aktualität sowie auf Plausibilität geprüft werden. Ein weiteres Problem ist, dass es noch kein fundiertes Wissen darüber gibt, welche Gebäudeinformation, welche Auswirkung auf die Energiebetrachtung hat.

Eine bessere Vernetzung der Abteilungen untereinander wäre eine potenzielle Stellschraube, welche die verschiedenen Prozesse individueller Abteilungen optimieren könnte. Dies ist allerdings ein Grundproblem von Städten, welches auf die komplizierten Verwaltungsstrukturen zurückzuführen ist. Aktuell ist es in den meisten Fällen so, dass jede Abteilung ihre eigenen Gebäudedaten erhebt und verwaltet. Durch das Fehlen einer gemeinsamen Datenbank können keine Synergien genutzt werden.

Problematisch ist auch, dass Zähler meist liegenschafts- und nicht gebäudebezogen sind und dass es zum anderen keine Bedarfswerte gibt. Eine Gegenüberstellung von Bedarfs- und Verbrauchswerten auf Gebäudeebene ist daher momentan nicht möglich. Das Bestreben des Baureferats ist, diesen Vergleich zu ermöglichen, um Sanierungspotenziale aufdecken zu können.

## 1.2 Zielsetzung

Große Datenmengen aus verschiedenen Quellen mit teils unzureichenden Gebäudeinformationen stellen viele Portfolioverwalter vor eine große Herausforderung. In diesem Kontext soll das Forschungsprojekt am Beispiel der Landeshauptstadt München (LHM) eine übertragbare Methodik zur energetischen Gebäudeportfolioverwaltung hervorbringen.

Ziel ist es, im Sinne eines strategischen Portfoliomanagements mit den vorhandenen Daten eine flächendeckende Einschätzung zum energetischen Zustand der Gebäude zu erlangen sowie die Sanierungsstellschrauben und deren Auswirkungen erkennbar zu machen.

Dabei gilt es zunächst allgemein die Arbeitsweisen und Entscheidungsprozesse innerhalb kommunaler Strukturen zu analysieren. Darauf aufbauend soll die Ausgangssituation im Baureferat München festgestellt werden. Es sollen die Arbeitsprozesse zur energetischen Gebäudebewertung analysiert werden. Ferner soll ein umfassendes Bild der vorliegenden Datensituation entstehen - welche Daten werden aus welchen Quellen bezogen und wo gibt es Datenlücken?

Es soll herausgefunden werden, welche Gebäudeinformationen notwendig sind, um ein Objekt aus energetischer Sicht hinreichend genau einschätzen zu können. Ziel ist es, so einfach wie möglich eine belastbare Aussage zu bekommen. Bei der Erarbeitung gilt es vom Groben ins Feine zu gehen, damit die Ergebnisse schrittweise feinkörniger werden.

Über statistische Methoden sollen Datenlücken geschlossen werden. Durch die Verknüpfung der Erkenntnisse soll eine übertragbare Methodik für ein strategisches Portfoliomanagement entstehen.

Vorhandene Softwarelösungen zur Datenhaltung, -verwaltung und -pflege sollen mithilfe der erarbeiteten Methodik angepasst werden.

Mit der Analysemethode sollen Energieeinsparungen, CO<sub>2</sub>-Einsparungen, Kosteneinsparungen und die Amortisationszeit basierend auf ausgewählten Modernisierungsoptionen abgeschätzt werden, um die aufwendigen Aufgaben trotz mangelnder Ressourcen bewältigen zu können. Damit wird Entscheidungsträgern ein Tool an die Hand gegeben, welches sie unterstützt, um künftig ihre Ressourcen effizienter einsetzen können.

Während der Projektbearbeitung bestand ein stetiger Austausch mit dem Baureferat München, dadurch wurde sichergestellt, dass die gewonnenen Erkenntnisse fortschreitend auf die Bedürfnisse der LHM abgestimmt werden. Die Übertragbarkeit und Anwendbarkeit auf andere Städte und Kommunen wird dabei nicht außer Acht gelassen. Durch den Praxisbezug wird eine unmittelbare Ergebnisverwertung ermöglicht.

Mit dem Erreichen der Projektziele wird für das übergeordnete Ziel, die Energieeffizienzsteigerung großer Gebäudebestände und somit die Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes, ein wichtiger Beitrag geleistet.

### 1.3 Aufbau der Arbeit

Der erste Abschnitt der Arbeit befasst sich mit der Bestandsanalyse. Diese lässt sich in zwei Bereiche aufteilen.

Im ersten Bereich geht es um die Untersuchung der Prozesse hinsichtlich energetischer Gebäudeportfolioverwaltung in Kommunen im Allgemeinen.

Im zweiten Abschnitt geht es um die Analyse des Baureferates der Landeshauptstadt München. Es werden Strukturen, Arbeitsweise und die Prozesse der energetischen Gebäudeanalyse untersucht. Darüber hinaus werden die verfügbaren Datensätze, die Informationsdichte und Qualität der Daten ermittelt. Ein zentraler Punkt des Abschnitts ist die Feststellung der Prozesse zur Datenerfassung, -haltung, -pflege und -weiterentwicklung. Hierfür werden die im Baureferat verwendeten Systeme untersucht und beschrieben.

Nach der Bestandsanalyse wird das Thema Daten im Kontext einer energetischen Gebäudeportfoliobewertung behandelt. Es wird erörtert, welche Parameter relevant sind, welche Daten zur Bearbeitung des Projektes vorhanden sind, was die begrenzenden Faktoren dabei sind und welche Informationen aus welchen Quellen verwendet werden.

Im nächsten Abschnitt wird auf die Entwicklung des Tools zur energetischen Bewertung großer Gebäudeportfolios eingegangen. Es wird erläutert, wie es konzipiert ist, weshalb bestimmte Entscheidungen getroffen wurden und welcher Einsatzzweck damit abgedeckt wird.

Weiter im Verlauf werden die zwei übergeordneten Funktionen des Tools beschrieben. Diese sind einerseits die Analyse der tatsächlichen Verbrauchsdaten mit der Identifikation von „Großverbrauchern“ und andererseits die Berechnung des Wärme- und Endenergiebedarfs, die Ermittlung der entsprechenden CO<sub>2</sub>-Emissionen, die Berechnung der Sanierungskosten sowie die Berechnung der Einsparpotenziale und Amortisationszeit einer energetischen Sanierung. Abschließend wird auf das Thema „Visualisierung der Ergebnisse“ eingegangen.

In den nächsten beiden Abschnitten werden die Ergebnisse der Portfolioanalyse des Gebäudebestands Münchens unter Anwendung des Tools aufgezeigt und ausgewertet.

Im letzten Kapitel werden die gewonnenen Erkenntnisse zusammengefasst und diskutiert, der zukünftige Forschungsbedarf aufgezeigt und ein Ausblick gegeben.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Kommunen

Um die Projektaufgaben zu lösen, muss zunächst ein grundsätzliches Verständnis geschaffen werden, wie Kommunen im Allgemeinen funktionieren. Zentral geht es in diesem Abschnitt um die Prozesse zur Einhaltung der Klimaschutzziele von Kommunen und alle relevanten Themen, die damit verbunden sind. Die Erkenntnisse dieser Recherche sind notwendig, damit gezielt auf die Bedürfnisse der potenziellen Nutzer eingegangen werden kann.

#### 2.1.1 Energieeffizienz- und Klimaschutzziele in Kommunen

Mit der Verabschiedung des Energiekonzepts durch die Bundesregierung (2010) und dem Beschluss zur Energiewende durch den Deutschen Bundestag (2011) hat die Bundespolitik Aufgaben für die Umsetzung der Klimapolitik formuliert [1]. Bei der Umsetzung der europäischen und nationalen Ziele kommt der öffentlichen Hand eine Schlüsselrolle und Vorbildfunktion zu. Diese Aufgabe wird von einem Großteil der rund 11.000 Kommunen auch angenommen, sei es aus Gründen des Klimaschutzes, der Klimaanpassung oder auch als Teilaspekt der kommunalen Identitätsstiftung und des Standortmarketings [2].

Die Themen Energieeffizienz und Klimaschutz sind zugleich nur zwei von vielen Aufgaben, welche die kommunalen Verwaltungen neben der Bereitstellung von Kindertagesplätzen, Schulen, der Abfallbeseitigung, dem Straßenbau sowie der Bauleitplanung als Pflichtaufgaben leisten müssen. Im Detail stehen bei der Umsetzung von baulichen Maßnahmen die Themen Brandschutz, Denkmalschutz sowie die Einhaltung der Bauordnung an erster Stelle. Ein über die rechtlichen Anforderungen hinausgehender Bau- und Sanierungsstandard ist für viele Kommunen angesichts der Vielfalt der Aufgaben und trotz ambitionierter Bemühungen für den gebauten Klimaschutz kaum zu bewerkstelligen.

Die vom Bund geförderten externen Klimaschutz- und Masterplanmanager spielen angesichts der oben genannten Personalressourcen oft eine zentrale Rolle, um ganzheitliche Ansätze zu entwickeln. Einzelne Kommunen haben damit begonnen, diese öffentlich geförderten Stellen dauerhaft in Form von Stabsstellen in der jeweiligen Verwaltung zu verankern und mit entsprechenden Handlungsbefugnissen auszustatten.

#### 2.1.2 Besondere Situation und Herausforderungen NWG

In Deutschland gibt es rund drei Millionen Nichtwohngebäude. Dazu zählen Schulen, Sporthallen, Hotels, Kirchen, Supermärkte oder Büroimmobilien. Diese Nichtwohngebäude umfassen zwar nur etwa ein Siebtel des bundesweiten Gesamtgebäudebestands, ihr Anteil am Endenergieverbrauch aller Gebäude beträgt allerdings mehr als 35 Prozent. [3] Dementsprechend steckt in der energetischen Modernisierung dieser Gebäude großes Potenzial, um Energie- und CO<sub>2</sub>-Emissionen einzusparen. Schließlich soll der gesamte Gebäudebestand Deutschlands bis zum Jahr 2050 klimaneutral sein. Energieeffiziente

Nichtwohngebäude sind demnach unverzichtbar für das Erreichen der nationalen Energiewendeziele. Im Vergleich zu Wohngebäuden erhält der Sektor der Nichtwohngebäude auf politischer Ebene und in der Öffentlichkeit deutlich weniger Aufmerksamkeit. Der Hintergrund hierfür ist, da Nichtwohngebäude schwer zu fassen sind und einheitliche Regelungen schwer umzusetzen sind.

Nichtwohngebäude weisen in Abgrenzung zum Wohngebäudebestand einige Besonderheiten auf:

- **Viele Unbekannte:** Der Nichtwohngebäudebereich ist im Vergleich zum Wohngebäudebereich hinsichtlich seiner Gebäudeanzahl, der Flächen, des Alters, der Eigentümerstrukturen usw. noch deutlich weniger untersucht. Die Datenlage ist daher als nicht ausreichend einzustufen.
- **Große Unterschiede:** Nichtwohngebäude sind eine sehr heterogene Gebäudegruppe hinsichtlich Typologie, Nutzung, Fläche oder Eigentümer. So sind z. B. die Unterschiede zwischen Verwaltungsgebäuden und Schulen nicht nur bei der installierten Anlagentechnik groß, sondern bieten wiederum unterschiedliche Ansatzpunkte für Energieeffizienzmaßnahmen.
- **Hohe Komplexität:** Die energetische Modernisierung ist komplexer als bei Wohngebäuden. Deshalb gibt es besondere Herausforderungen an die Energieberatung, Planungs- und Bauprozesse. Auch die eingeschränkte Flächenverfügbarkeit während der Modernisierung wird häufig als problematisch angesehen.

### 2.1.3 Kommunalen Nichtwohngebäudebestand

Zum kommunalen Nichtwohngebäudebestand gehören in erster Linie Verwaltungsgebäude, allgemeinbildende Schulen sowie Sportanlagen. Insgesamt gibt es in deutschen Kommunen knapp 175.000 Nichtwohngebäude. Dabei entfällt rund ein Drittel der Gebäude (und insbesondere der Hauptnutzflächen) auf Bildungsbauten. [3] Deren energetische Optimierung stellt daher ein zentrales Tätigkeitsfeld im Bereich der kommunalen Nichtwohngebäude dar.

Die kommunalen Liegenschaften sind aber nicht nur aus energie- und klimapolitischer Sicht von großem Interesse. Angesichts jährlicher Ausgaben für die Strom- und Wärmeversorgung ist die energetische Optimierung auch wirtschaftlich ein relevanter Faktor – sowohl für die Städte und Gemeinden selbst als auch für die am Sanierungsprozess beteiligten Marktakteure.

### 2.1.4 Kommunale Schulgebäude

Zu den typischen Gebäuden in kommunaler Hand, die eine hohe Bedeutung für Stadt und Bewohner haben, gehören insbesondere die Bildungsbauten (Schulen und Kindertagesstätten, Volkshochschulen sowie Sportbauten). Rund ein Drittel der kommunalen Gebäudeflächen entfällt auf Schulen, was entsprechende Kosten für Betrieb und

Instandsetzung, auch abseits energetischer Fragen, bedeutet. [3] So weisen die Schulen nach dem KfW-Kommunalpanel 2018 mit fast 48 Milliarden Euro den höchsten Investitionsrückstand in Deutschlands Städten und Gemeinden auf [4].

Dies sollte weniger als Bedrohung, sondern vielmehr als Chance verstanden werden, denn deutschlandweit gibt es eine Vielzahl an Initiativen und Förderprogrammen, die gezielt das Thema Schulsanierung (zum Teil mit und zum Teil ohne energetischen Bezug) adressieren. So hat allein der Bund im Jahr 2016 3,5 Milliarden Euro zur Schulsanierung für finanzschwache Kommunen bereitgestellt, wovon allerdings bislang nur rund 33 Prozent durch Maßnahmen gebunden bzw. abgerufen wurden. [5] Zugleich gilt es, die kommunalen Entscheidungsprozesse, die durch demokratische und ordnungsrechtliche Rahmenbedingungen normiert sind, zu beachten.

Aufgrund des hohen Instandsetzungsbedarfs bietet sich gerade jetzt die vielleicht einmalige Chance, die Schulen nicht nur mit einer modernen IT und modernisierten Toilettenanlagen auszurüsten, sondern zugleich klimafreundliche und energetische Aspekte zu berücksichtigen. Das spart Kosten und schafft Raum für einen besseren Nutzerkomfort und verbesserte Raumklimabedingungen. Und mit rund 8 Millionen Schülern und 800.000 Lehrern gibt es viele potenzielle Botschafter für die Energiewende, wenn es gelingt, die Themen Klimaschutz und Energieeffizienz bei der Sanierung zu beachten [6].

### 2.1.5 Kommunaler Haushalt

Die folgenden beiden Abschnitte stellen einen wichtigen Bestandteil bei kommunalen Entscheidungsprozessen dar. Da das Tool diese Entscheidungsfindung unterstützen soll, ist es wichtig, die Zusammenhänge in der Kommunalpolitik zu verstehen, damit die Funktionen des Tools besser auf die Anforderungen der Anwender ausgelegt werden können.

Die Erstellung des einjährigen kommunalen Haushalts bildet die Grundlage für Investitions-, beziehungsweise Instandhaltungsentscheidungen. In einem Doppelhaushalt kann ein Haushaltsplan auch für zwei Jahre aufgestellt werden. In der jeweiligen Gemeindeordnung einer Kommune finden sich die aufzustellende Struktur und die damit verbundenen Bestandteile des jeweiligen Haushalts. Die Planung des Haushalts erfolgt zyklisch gemäß einem wiederkehrenden Kreislauf aus Haushaltsplanung, Haushaltsaufstellung, Verabschiedung des Haushalts in den jeweiligen Fachausschüssen sowie Genehmigung durch das höchste kommunale Gremium (wie z. B. Stadtrat). Jede Haushaltsaufstellung muss öffentlich ausgelegt sein. Dadurch stellen die Kommunen ihr Handeln öffentlich und transparent dar.

Kommunale Einnahmen speisen sich aus kommunalen Steuern, Beiträgen und Gebühren. Da kommunale Einnahmen oftmals nicht ausreichen, um neben der Daseinsvorsorge weitere Maßnahmen umzusetzen, beispielsweise Investitionen in einen zukunftsfähigen Gebäudebestand, stehen den Kommunen zusätzlich Kredite oder Fördermittel zur Verfügung, über deren Nutzung sie frei entscheiden können. Allerdings gilt dies nur für die Kommunen, die sich nicht in einer Haushaltsnotlage befinden bzw. dem Haushaltssicherungsverfahren unterliegen.

Nach dem föderalen Prinzip in Deutschland gibt es keine einheitlichen Vorgaben, bzw. Vorgehensweise dafür, wann und ob Kommunen Kredite für welche Zwecke aufnehmen können bzw. was als Kreditgeschäft eingestuft wird. Entsprechend schwierig sind Finanzierungsmöglichkeiten wie Contracting (insbesondere in Kommunen in Haushaltsnotlage). Denn dies wird häufig als kreditähnliches Geschäft eingestuft und daher sind Projekte in der Regel einzelgenehmigungspflichtig. Dies stellt für viele Kommunen eine große Hürde dar, da die Genehmigungspflicht weitere Anforderungen an die Kommune mit sich bringt. Und das, obwohl gerade mit dem Energiespar-Contracting (ESC) Energie- bzw. Kosteneinsparungen vertraglich von einem Contractor gegenüber einer Kommune garantiert werden und die Aufwendungen aus den Einsparungen refinanziert werden.

Für Investitionen in größere Effizienzmaßnahmen muss mit einer entsprechenden einjährigen bzw. teilweise zweijährigen Vorplanung gerechnet werden, um eine solche Investition systematisch in den kommunalen Haushalt einzuplanen. Daraus wird deutlich, wie langwierig eine Entscheidung bzw. eine Planung kommunaler Projekte und wie viel Vorlauf nötig ist, um beispielsweise die Generalsanierung einer Schule in Angriff zu nehmen. Das Gleiche gilt für die Umsetzung vieler umfangreicher Klimaschutzkonzepte. Dies zeigt ebenso, dass Förderangebote der verschiedenen Ebenen (EU, Bund, Land, Dritte) langfristig und kontinuierlich angelegt sein müssen.

Große und kostenintensive Ad-hoc-Projekte mit kurzfristiger Finanzierungsplanung entsprechen kaum der kommunalen Lebenswirklichkeit. Umso wichtiger ist es, dass unterstützende bzw. ergänzende Förderangebote für Kommunen so angelegt sind, dass sie für die planenden Mitarbeiter in einer Kommune langfristig und zuverlässig abrufbar sind. Zugleich sind die Kommunen aufgerufen, die vielfältigen Austausch- und Beratungsoptionen, wie sie z. B. über Energieagenturen, das Deutsche Institut für Urbanistik (DIfU), das Service- und Kompetenzzentrum: Kommunaler Klimaschutz (SK:KK) sowie weitere Akteure angeboten werden, auch aktiv zu nutzen.

### 2.1.6 Förderangebote

Da letztlich auch Förderangebote Bestandteil bei der Entscheidungsfindung sind, wird in diesem Abschnitt ein kurzer Einblick zu diesem Thema geboten.

Für Kommunen steht eine Vielzahl unterschiedlicher Fördermittel auf mehreren Ebenen zur Verfügung, die je nach Finanzlage der Kommunen unterschiedlich hoch ausfallen. Dazu gehören die europäischen Fördermittel, Bundesmittel sowie Landesförderungen. Die europäischen Förderrichtlinien für Kommunen können Effizienzthemen adressieren, wie beispielsweise in den EFRE-Fördermitteln, dem europäischen Fonds für regionale Entwicklung. Der EFRE soll Ungleichheiten zwischen den Regionen auflösen, den sozialen und wirtschaftlichen Zusammenhalt in der EU stärken. EFRE-Mittel sind hauptsächlich für Maßnahmen in den Disziplinen Forschung und Innovation, Digitale Agenda, Unterstützung von KMU und CO<sub>2</sub>-armer Wirtschaft vorgesehen. Die Bundesländer führen aus EFRE geförderte Programme durch. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (BMWi) ist federführend zuständig.

Energieeffizienz und Klimaschutz spielen eine große Rolle in den Förderprogrammen des Bundes, insbesondere durch die seit zehn Jahren kontinuierlich angepassten Förderungen der Nationalen Klimaschutzinitiative (NKI) und der dort angesiedelten Kommunalrichtlinie (KRL). Ergänzend wird darauf hingewiesen, dass auch über Landesprogramme mit den Städtebaufördermitteln Effizienzmaßnahmen realisiert werden können. Eine zusätzliche Einheit bilden hier die Finanzierung von kommunalen Maßnahmen durch Kreditinstitute und die Finanzierung durch Dritte.

### 2.1.7 Kommunale Entscheidungsprozesse

Die Initiierung von gebäudebezogenen Effizienzmaßnahmen spielen bei kommunalen Entscheidungsprozessen eine wichtige Rolle. Existiert ein Problem innerhalb des Portfolios, so wird es der technischen Mitarbeiterebene des Bauamts gemeldet oder es wird direkt durch Mitarbeiter:innen des Bauamts erkannt.

Von der jeweiligen Mitarbeiterebene oder auch von externen Ingenieurbüros werden daraufhin Verbesserungsvorschläge zur Problemlösung erarbeitet. Diese Empfehlungen gehen wiederum in die politischen Gremien, wenn sie ein gewisses Budget übertreffen und somit einer politischen Entscheidung bedürfen. Beschlüsse aus diesen Gremien sind die Grundvoraussetzung für das weitere Handeln in der Verwaltung. Es können aber beispielsweise auch Vorschläge aus den politischen Gremien kommen. Die jeweiligen Fachausschüsse (z. B. Bauausschuss, Energieausschuss) stellen Anträge, die dann zur weiteren Bearbeitung in die Verwaltung zurückgehen. Allein dieser Abstimmungsprozess nimmt eine gewisse Zeit in Anspruch, bevor eine Maßnahme in die Umsetzung gehen kann. Die Grundlage für größere Maßnahmen bilden gefasste Beschlüsse der politischen Gremien. An diese Beschlüsse sind immer Haushaltsmittel sowie Finanzierungen durch Dritte oder Förderungen gebunden. Jeder erteilte Auftrag muss finanziell gedeckt sein. Der Haushalt einer Kommune wird von deren Rat als dem höchsten kommunalen Gremium beschlossen. Vorab werden die umzusetzenden Maßnahmen in den Fachausschüssen diskutiert und auch dort verabschiedet. In der letzten Konsequenz entscheidet immer das höchste kommunale Gremium in der jeweiligen Kommune.

Investitionen in Effizienzmaßnahmen sind in Kommunen immer abhängig von unterschiedlichen Faktoren. Bei der Entscheidung über einen Neubau oder eine Sanierung von Gebäuden wird zunächst die Notwendigkeit geprüft. Hierbei spielt in der Regel die Wirtschaftlichkeit der Investition eine entscheidende Rolle, denn der Nachweis ist je nach kommunaler Regelung verpflichtend. Ausnahmen bilden sogenannte Leuchtturmprojekte, die als innovative Projekte nicht einem reinen Wirtschaftlichkeitsgebot unterliegen. Hier wiegen das Ziel der Bekanntmachung (der Vorbildfunktion) und das Testen baulich-energetischer Möglichkeiten höher als die Wirtschaftlichkeit. Für die oben genannten wirtschaftlichen Aspekte kann das Tool bei der Entscheidungsfindung unterstützen.

### 2.1.8 Bedeutung personeller Ressourcen

Der Erhalt kommunaler Liegenschaften, wird von kommunalen Hochbauämtern (Bauamt) oder Liegenschaftsämtern wahrgenommen. Themen des Klimaschutzes sind wiederum in den Umweltämtern angesiedelt. Beide Themen sind im besten Fall Querschnittsaufgaben in den Kommunen und sollten von mehreren Fachämtern gemeinsam bearbeitet werden.

Geht es um Sanierungsthemen, werden als zusätzliche Akteure Sanierungs- bzw. Entwicklungsträger (§ 157 Abs. 1 BauGB) aktiv. Diese übernehmen die Projektsteuerung für städtebauliche Gesamtmaßnahmen (§§ 136 ff. BauGB), die sich auf sogenannte „Sanierungsgebiete“ erstrecken und durch die Städtebauförderung der Länder gefördert werden können. Damit entlasten sie die kommunale Verwaltung personell. Die Städtebauförderung ist zwar nicht originär mit der energetischen Sanierung von Gebäuden verknüpft, da sie entweder die Sanierung historischer Stadtkerne, die Stadterneuerung älterer Stadtteile, den Stadtumbau (Ost, West) sowie den städtebaulichen Denkmalschutz als Hauptaufgaben hat. In allen Grundgedanken sollte die energetische Sanierung aber unbedingt mit betrachtet werden. Denn hier kann die Kommune wieder mit einem guten Vorbild vorangehen und Anforderungen an energetische Standards setzen.

Als weitere personelle Ressource kommt in Kommunen auch durch den Bund gefördertes Personal in Betracht, das der Bund für einen begrenzten Zeitraum fördert. Dazu gehören Klimaschutz-, Masterplan- und Sanierungsmanager, die jeweils entsprechende Konzepte umsetzen sollen. Je nach Themenschwerpunkt dieser Konzepte spielt hier die energetische Sanierung von Nichtwohngebäuden, insbesondere bei den Sanierungsmanagern, eine große Rolle. Es gibt Beispiele, in denen sich mehrere Kommunen solche Personalstellen teilen. Dies entlastet die einzelnen Kommunen sowohl personell als auch finanziell. Bei der interkommunalen Zusammenarbeit können die Themen, die meist ohnehin nicht an der Gemeindegrenze enden, gemeinsam bearbeitet werden.

Insgesamt zeigt sich: Die Notwendigkeit, CO<sub>2</sub>-Emissionen durch Sanierungsmaßnahmen einzusparen, ist bekannt. Die Herausforderung dieser wichtigen Aufgabe ist in Anbetracht des Personalmangels sehr groß. Durch die Entwicklung des Tools wird ein geeignetes Werkzeug geschaffen, das es ermöglicht, mit geringem Aufwand den energetischen Zustand eines Portfolios darzustellen.

## 2.2 Baureferat München

Die vorangegangenen Kapitel zeigen, dass es für die komplexen Prozesse einer energetischen Gebäudeportfolioverwaltung notwendig ist, dass es eine zentrale Stelle gibt, wo alle Informationen gesammelt und verwaltet werden. Im nächsten Abschnitt wird deutlich, dass die Abteilung H94 – Energiemanagement, Zentrale Leittechnik naturgemäß mit allen Gebäuden der Stadtverwaltung arbeitet. Während andere Abteilungen nur für ausgewählte Stadtgebiete zuständig sind. Es ist daher nicht verwunderlich, dass der Impuls für das Forschungsprojekt dieser Abteilung zuzuschreiben ist.

Da das Forschungsprojekt zusammen mit dem Baureferat München und im besonderem mit der Abteilung H94 erarbeitet wird, wird in folgendem Kapitel die Struktur und die Herangehensweise des Baureferats bezüglich ihrer Immobilienverwaltung aufgezeigt.

Folgende Angaben und Informationen wurden von dem Leiter der Abteilung H94 sowie weiteren Mitarbeitern des Baureferats zur Verfügung gestellt.

### 2.2.1 Strukturen

Das Baureferat München verteilt ihre Aufgaben auf unterschiedliche Abteilungen. Das Abteilungskürzel bildet sich aus dem Buchstaben „H“ (Hochbau) und des Aufgabengebiets. Folgend werden alle Abteilungen des Baureferats mit ihrem Kürzel und ihren Hauptaufgaben genannt:

#### H 0 – Geschäftsstelle

Das Team unterstützt die Hauptabteilungsleitung sowie die Abteilungsleitung in Führungs- bzw. Steuerungsfunktionen und übernimmt zudem Querschnittsaufgaben (z. B. Personal und Organisationsaufgaben, Betriebswirtschaft und Finanzmanagement, Management von Gebäudedaten sowie im Arbeitsschutz und Gesundheitsmanagement).

#### HZ - Zentrale Aufgaben

Die Abteilung „Zentrale Aufgaben“ ist eine Organisationseinheit mit diversen Aufgabenfeldern und von zentraler Bedeutung für die Hauptabteilung. Sie befasst sich mit Themen wie dem energieeffizienten Bauen, zentralem Energiemanagement, Energiestandards, Qualitätsvorgaben und -sicherung in der Projektvorbereitung, Planung und Baudurchführung, Controlling von Kosten, Terminen und Beschlussvorlagen, Erstellen von Richtlinien, Dienstanweisungen, Musterverträgen, Baustandards, ökologischem und gesundheitsverträglichem Bauen und fachlicher Fortbildung.

### H 1 - Kulturbauten- und Verwaltungsgebäude

Die Abteilung ist fachkundiger Ansprechpartner für die Projektentwicklung, das Projektmanagement und dem Bauunterhalt von Kultur- und Verwaltungsgebäuden.

### H 2 - Sozial- und Betriebsbauten, Stiftungen

Die Abteilung „Sozial- und Betriebsbauten, Stiftungen“ führt das Projektmanagement und die technische Objektbetreuung mit Bauunterhalt von Sozial- und Betriebsgebäuden sowie Stiftungen.

### H 3 - Schulbauten, Kindertagesstätten (Ost)

Die Aufgabe dieser Abteilung ist das Projektmanagement, die Objektplanung und die technische Objektbetreuung mit Bauunterhalt von Schulbauten, Schulsportanlagen und Kindertagesstätten im Münchner Osten. Zusätzlich berät die Abteilung das städtische Referat für Bildung und Sport zu Hochbaumaßnahmen der Münchner Riem Gesellschaft (MRG). Zudem betreuen sie alle städtischen Schullandheime sowie einzelne Stiftungen.

### H 4 - Schulbauten, Kindertagesstätten (Nord), Sportbauten

Diese Abteilung hat die gleichen Aufgaben wie Abteilung H3, nur bezogen auf den Münchner Norden. Zusätzlich betreut die Abteilung die im gesamten Münchner Stadtgebiet liegenden Sportbauten. Dazu zählen u. a. die Bezirkssportanlage, die Münchner Eisbahnen, Stadien usw.

### H 5 - Schulbauten, Kindertagesstätten (Süd / West)

Diese Abteilung hat die gleichen Aufgaben wie Abteilung H3, nur bezogen auf den Münchner Süden und Westen. Die Abteilung übernimmt zudem die Koordination der Abteilungen Hochbau 3, 4 und 5 zu übergreifenden Themen. Für das Referat für Bildung und Sport hat die Abteilung als Baudienstleister ihren Schwerpunkt im Planen und Bauen von Einrichtungen für Kinder und Jugendliche.

### H 6 - Elektrische Anlagen

Die Abteilung „Elektrische Anlagen“ erbringt bei Neu- und Umbaumaßnahmen sowie im Bauunterhalt, Planungs-, Management- und Betriebsleistungen für die Elektrotechnik in städtischen Gebäuden sowie Freianlagen.

## H 7 – Haustechnik

Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter dieser Abteilung kümmern sich um Abwasser-, Wasser- und Gasanlagen, die Wärmeversorgungsanlagen, lufttechnischen Anlagen mit Klima- und Kältetechnik, Küchentechnik, Fachlehrsaaleinrichtungen, Feuerlöschanlagen, badetechnische Anlagen und verschiedene maschinentechnische Anlagen.

## H 8 – IT

Die Abteilung H 8 ist Teil des zentralen IT-Dienstleisters und wurde ausgegliedert.

## H 9 - Betrieb technischer Anlagen, Energiemanagement

Die Aufgaben der Abteilung Hochbau 9 sind nicht nur die klassischen Betriebsaufgaben wie Inspektion, Wartung, Störbeseitigung und Instandsetzung, sondern auch das Prüfmanagement, Sondertechnik und Energiemanagement mit Energiebeschaffung und Energiecontrolling. Folgende Leistungen werden durch die Abteilung erbracht:

### Servicedesk Hochbau

Beratung der Nutzer und Vermieter bei Problemen mit der Haustechnik. Annahme von Störungen und Schäden der Haustechnik und Baukörper sowie die Weiterleitung der Meldungen an die jeweils zuständige Fachabteilung.

### Inspektion, Wartung, Störbeseitigung, Instandsetzung

Regelmäßige Inspektion und Wartung der technischen Anlagen sowie kurzfristige Beseitigung von auftretenden Störungen bzw. Instandsetzungsarbeiten.

### Prüfmanagement und Sondertechnik

Durchführung gesetzlich vorgeschriebener Prüfungen. Beispielsweise die Durchführungen der Wartung und Störbeseitigung der Fördertechnik, RWA-Anlagen, Tore und Schranken, Betrieb der öffentlichen Uhren an Kirchen, Schulen und Plätzen.

### Zentrale Leittechnik

Stadtweit zentral organisierte Datenübertragung wichtiger Anlagenparameter. Integrierte Systeme zur Störmeldung und zur energetischen Beurteilung von Gebäuden.

## Energiecontrolling, Energiebeschaffung und Energiemonitoring

Kontinuierliche Beobachtung von Verbräuchen und Messgrößen der technischen Anlagen. Systematische Untersuchung von Gebäuden und Durchführung von Energieeinsparmaßnahmen. Periodische Verhandlung der Rahmenverträge mit den Stadtwerken München für Gas, Strom, Wasser und Fernwärme.

Wie man erkennen kann, ist die Verwaltungsstruktur sehr breit aufgestellt. Jede Abteilung hat ihr eigenes Aufgabenfeld und somit auch eigene Anforderungen an die Gebäudedaten. Das ist auch der Grund, warum es unterschiedliche Gebäudedatenverwaltungstools im Baureferat gibt. Hinzu kommt, dass viele Abteilungen nur für bestimmte Stadtgebiete zuständig sind. Die Abteilung H9 hingegen beschäftigt sich mit dem gesamten Gebäudebestand der LHM. Nimmt man das Wissen aller Abteilungen zusammen, ergibt es eine große Dichte an Gebäudeinformationen. Um die Daten sinnvoll miteinander zu vereinen und zu pflegen und um interdisziplinäre Aufgaben koordinieren zu können, braucht es eine zentrale Stelle, die diese Aufgabe übernimmt.

### **2.2.2 Arbeitsweise**

Wie zuvor beschrieben besteht im Rahmen des Forschungsprojekts ein enger Austausch mit der Abteilung H94. Daher wird im Folgenden deren Arbeitsweise erläutert. Die Abteilung H94 ist unter anderem für die Themen rund um den Energieverbrauch und dessen Reduzierung für die Bestandsgebäude der LHM zuständig. Für das Energiecontrolling der Liegenschaften verwendet die Abteilung das Softwaretool „EIS“ (EnergieInformationsService). Dieses Programm wird verwendet, um energiebezogene Daten allen Liegenschaften der Stadt München zu sammeln und zu bewerten. In EIS werden Informationen rund um die Liegenschaften z. B. Gebäudedaten, die Versorgungsstruktur, liegenschaftsbezogene Dokumente (z. B. Verbrauchsausweise) sowie Verbrauchswerte und Verbrauchskosten erfasst und hinterlegt. Von den Anwendern wurde uns mitgeteilt, dass die Daten teils lückenhaft und unzuverlässig sind. Dies konnte in der Analyse der vorliegenden Daten bestätigt werden.

Nach Auskunft unterschiedlicher Sachgebietsleiter gibt es keine abteilungsübergreifende und allgemeingültige Instandhaltungsstrategie für den Gebäudebestand. Das bedeutet, dass nur ad hoc und nach Bedarf Instandhaltungen durchgeführt werden.

Häufig wird bei der Entscheidungsfindung die „Ausfallstrategie“ angewendet. Das heißt, es wird erst etwas unternommen, wenn es z. B. Einschränkungen des raumklimatischen Komforts gibt oder wenn es zu Beschwerden der Gebäudenutzer kommt.

### **2.2.3 Prozesse der energetischen Gebäudeanalyse**

In diesem Abschnitt wird Schritt für Schritt die Prozesskette der energetischen Portfolioanalyse der Abteilung H 94 aufgezeigt.

Für die energetische Analyse werden die Daten aus EIS exportiert und in eine Excel-Tabelle übertragen. Untersucht werden die Kennwerte für die Wärme-, Strom- und Wasserverbräuche. Ist einer der flächenspezifischen Verbrauchswerte deutlich höher als die nutzungsspezifischen bundesweiten Vergleichswerte, wird das Objekt bzw. die Liegenschaft näher untersucht. Diese Methode entspricht in etwa dem Bewertungskonzept bei den Energieverbrauchsausweisen. Nach Angaben der Mitarbeiter wäre es erstrebenswert, flächenspezifische Verbrauchswerte mit nutzungsspezifischen Gebäudeprototypen vergleichen zu können. Es soll der Vergleich mit einem vereinfachten Referenzgebäude gemäß GEG, oder einem statistisch generierten Objekt ermöglicht werden.

Bestandteile der Untersuchung sind momentan die drei-Jahres-Mittelwerte aus den Jahresverbräuchen (Endenergie), Energiebezugsflächen (Nettogrundfläche), Nutzungskategorien, die grobe technische Ausstattung sowie Klimafaktoren. Da die Verbrauchs- und Flächenwerte zum Teil unzuverlässig sind, müssen diese zunächst auf Plausibilität geprüft werden.

Zur Plausibilisierung der in EIS hinterlegten Flächenwerte werden weitere Flächenwerte aus Reinigungskosten oder Nebenkosten in das Verhältnis gesetzt. Ein weiterer Indikator dafür, dass die Flächenangabe falsch sein könnte, ist, wenn der Strom- und Wärmeverbrauch korrelierend von den Kennwerten abweicht. Hier ist der Gedanke der Mitarbeiter, zukünftig weitere Indikatoren wie den Vergleich über Nutzerzahlen oder über beheiztes Volumen zu ermöglichen. Eine automatisierte Plausibilitätsprüfung der Flächenwerte mithilfe von Geoinformationsdaten ist nach Angaben der Mitarbeiter anzustreben. Ein noch ungelöstes Problem ist, dass sich oft nicht feststellen lässt, welcher Flächenanteil beheizt ist.

Gibt es größere Abweichungen des Stromverbrauchs bzw. des Wärmeverbrauchs zu den Mittelwerten der vergangenen drei Jahre, kann dies ein Indikator für eine bauliche Veränderung, eine Änderung der Nutzung, eine deutliche Änderung der Nutzerzahlen oder eine Falschablesung der Zähler sein. Diese Überprüfung muss jährlich durchgeführt werden.

Ob es Änderungen an der Gebäudehülle, Heizung oder der Beleuchtung gibt, kann aktuell nur analog abgefragt werden. Ebenso muss geprüft werden, ob sich Nutzerzahlen, Nutzungszeiten oder die Nutzung im Allgemeinen temporär oder dauerhaft geändert haben. Da die Gebäudetechnik nicht zentral abgelegt ist, muss auch hierzu oft analog abgefragt werden.

Möglicherweise können auch Nuttermotivationsprogramme, wie zum Beispiel das „Fifty/Fifty-Programm“<sup>1</sup> zu Abweichungen zu den gemittelten Verbräuchen führen.

Weiter ist zu prüfen, ob Strom zur Generierung von Wärme verwendet wird. Zudem muss geklärt werden, ob es Eigenverbrauch für auf der Liegenschaft erzeugten Strom gibt (z. B. PV-

---

<sup>1</sup> Mit dem „Fifty/Fifty-Programm“ können Schulen und Kitas Prämien erhalten, indem sie ihre Energie- und Wasserverbräuche reduzieren. Das Programm ist eine nationale Klimaschutzinitiative und ist durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit finanziert.

Anlage oder Blockheizkraftwerk). Die Mitarbeiter wünschen sich für diesen Punkt eine automatisierte Verknüpfung der Daten verschiedener Quellen.

Im nächsten Schritt wird geprüft, ob die Strom- oder Wärmezähler korrekt zugeordnet sind. Dies ist insbesondere bei neuen Objekten oder nach bekannten Umbauten erforderlich. Ob die Rechnungen vollständig erfasst wurden, wird anhand des Rechnungsdatums geprüft. Bei Betriebsträgern, Mietobjekten und andere Wärmemedien (Flüssiggas, Öl, Holzhackschnitzel) müssen Rechnungen händisch eingepflegt werden. Anhand des Ablesedatums wird geprüft, ob die Zähler regelmäßig abgelesen wurden.

Falls in den zur Verfügung stehenden Quellen noch Daten zur Bewertung des Objektes oder der Liegenschaft fehlen, werden entweder entsprechende Punkte mit den Betreibern telefonisch geklärt oder es werden vor Ort sogenannte „Energiechecks“ durchgeführt.

Sobald alle möglichen Fehlerquellen ausgeschlossen werden können, wird geprüft, weshalb der Energieverbrauch zu hoch ist und was entsprechend dagegen unternommen werden könnte. Geprüft wird der Strom-, Wasser- und Wärmeenergieverbrauch sowie die Primärenergie und die CO<sub>2</sub>-Emissionen. Wichtige Bestandteile der Untersuchungen sind das Baualter, Baujahr der Wärmeerzeuger, Energieträger für die Wärmeerzeugung und die technische Ausstattung. Es wird das mögliche Optimierungspotenzial unter Berücksichtigung von Denkmalschutz und anstehenden Planungen in einer Einzelbetrachtung der Bestandteile ermittelt.

Das Ziel des Prozesses ist, den oder die maßgeblichen Treiber der hohen Verbräuche zu identifizieren. In der Regel haben folgende Ursachen die größten Einflüsse:

- Energieträger
- Baualter
- Baujahr des Wärmeerzeugers
- technische Ausstattung

Hat eine Liegenschaft einen ökologisch schlechten Energieträger, wie zum Beispiel Öl oder Strom, so ist in der Regel ein hoher Primärenergiefaktor für hohe Emissionen verantwortlich. In diesem Fall wird oft der Wechsel auf Fernwärme empfohlen und die potenziellen Einsparungen entsprechend abgeschätzt.

Das Baujahr hat einen großen Einfluss auf die energetische Qualität der Gebäudehülle. Liegt das Fertigstellungsjahr zum Beispiel vor der ersten Wärmeschutzverordnung, so kann in den meisten Fällen durch eine energetische Erneuerung der Gebäudehülle eine große Energieeinsparung erzielt werden.

Ebenso kann das Baujahr des Wärmeerzeugers einen großen Einfluss auf die Effizienz des Gebäudes haben. In diesem Fall wird geprüft, ob eine Erneuerung des Wärmeerzeugers die energetische Gesamtqualität des Objektes nachhaltig aufwertet.

In Einzelfällen ist eine hohe technische Gebäudeausstattung für hohe Verbräuche ausschlaggebend. Hier muss individuell ein Ertüchtungskonzept erarbeitet werden.

Können die üblichen Verursacher erhöhter Verbräuche bzw. Emissionen ausgeschlossen werden, sind Einzelfallprüfungen erforderlich. Oft lohnt sich ein Blick auf das Nutzerverhalten. Sollte dies der Grund für den unwirtschaftlichen Betrieb einer Liegenschaft sein, sind Aufklärungs- bzw. Energieeinsparprogramme wie zum Beispiel das „Fifty/Fifty-Programm“<sup>2</sup> ein wirkvolles Mittel, um Verbräuche und CO<sub>2</sub>-Emissionen zu reduzieren.

Ob eine Kombination verschiedener Maßnahmen für die einzelnen Objekte der ökologisch- und ökonomisch beste Weg sein könnte, wird individuell geprüft und entsprechend im Sanierungsfahrplan berücksichtigt.

Zur Ermittlung des Einsparpotenzials werden die internen Ziel- und Vergleichswerte (s. nächster Abschnitt) je Hauptnutzungsart verwendet. Das Einsparpotenzial wird in einem ersten Schritt mit dem Differenzwert aus dem flächenspezifischen Kennwert des Gebäudes und dem stadtinternen Vergleichswert der entsprechenden Nutzungsart (z. B. Kindertagesstätten, Schulen) ermittelt. Die Vergleichswerte wurden aus einer Vielzahl, mit detaillierten Wirtschaftlichkeitsberechnungen hinterlegten Einsparmaßnahmen ermittelt, die mithilfe von Energiechecks in den letzten 10 Jahren evaluiert wurden. Es werden dazu je Nutzungsart prototypische Maßnahmenbündel definiert, deren flächenspezifische Einsparpotenziale bekannt sind. Somit lassen sich über alle, in der Datenbank von EIS enthaltenen Gebäude mit deren Flächen absolute Einsparpotenziale ermitteln.

In einem zweiten Schritt sind diese Potenziale durch Begehungen näher zu untersuchen und können in Einzelmaßnahmen oder als Maßnahmenbündel liegenschaftsübergreifend umgesetzt werden.

**Einsparung Kosten:**

Differenz Ist-Wert zu Vergleichswert (KWh/m<sup>2</sup> a) x Kennzahl-Einsp. (€/KWh) x Fläche (m<sup>2</sup>)

**Einsparung CO<sub>2</sub>:**

Differenz Ist-Wert zu Vergleichswert (KWh/m<sup>2</sup> a) x Kennzahl-Co<sub>2</sub> (Co<sub>2</sub>/KWh) x Fläche (m<sup>2</sup>)

**Investitionskosten:**

Differenz Ist-Wert zu Vergleichswert (KWh/m<sup>2</sup> a) x Kennzahl-Invest. (€/KWh) x Fläche (m<sup>2</sup>)

---

<sup>2</sup> Mit dem „Fifty/Fifty-Programm“ können Schulen und Kitas Prämien erhalten, indem sie ihre Energie- und Wasserverbräuche reduzieren. Das Programm ist eine nationale Klimaschutzinitiative und ist durch das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit finanziert.

## 2.3 Erfassung, Haltung, Pflege und Weiterentwicklung von Daten

Die Erfassung, Haltung, Pflege und Weiterentwicklung von Daten wird aktuell individuell von den einzelnen Abteilungen organisiert. Diese Tatsache ist darin begründet, da alle Abteilungen unterschiedliche Aufgaben haben und daher brauchen sie, ein auf ihre individuellen Erfordernisse zugeschnittenes Programm. Abteilungsübergreifende Vorgaben oder einen Leitfaden gibt es zum Zeitpunkt der Berichterstellung nicht. Allerdings gibt es das Computer-Aided-Facility Management System (CAFM), welches stadtübergreifend die Koordinierung von Stammdaten des Gebäudeportfolios ermöglicht.

Energiebezogene Daten werden hauptsächlich über das ERP-System EIS, der Zentralen Leittechnik und der Software EPIQR erfasst, gehalten und weiterentwickelt. Hierzu werden in den folgenden Absätzen die wichtigsten Punkte erläutert.

### 2.3.1 CAFM

Das CAFM ist ein stadtweites Facility-Management-System, welches eine einheitliche Koordinierung von Gebäudedaten ermöglicht. Es ist an SAP geknüpft und schafft einen Überblick und Transparenz über den Bestand und die Finanzen der Immobilien. Darüber hinaus dient es der zentralen Datenhaltung ohne Redundanzen. Durch das System wird ein durchgängiger Objektbezug in allen Modulen des Baureferats realisiert. So greifen zum Beispiel EIS, ZLT und epiqr auf die Stammdaten aus dem CAFM zu und bildet somit die Grundlage der jeweiligen Module.

### 2.3.2 Nuclos

Nuclos ist der Name eines Enterprise-Resource-Planning Produkts der Firma Novabit Informationssysteme auf dessen Basis das Energie-Informationssystem (EIS) der Abteilung für Energiemanagement und zentrale Leittechnik des Hochbau Baureferats der Stadt München implementiert wurde.

Das EIS Portal ist die allgemeine Datengrundlage der Abteilung H94. Aus dieser Quelle können mithilfe von Such- und Filterfunktionen Datensätze zur weiteren Auswertung generiert werden.

Die für die energetische Bewertung wichtigsten Informationen, welche in EIS abgespeichert sind, sind reale Verbrauchswerte. Die Energieverbrauchswerte in Nuclos basieren auf realen Zählerständen, die rechnerisch auf die einzelnen Gebäude innerhalb der Liegenschaften verteilt wurden. Genaue, reale Werte für jedes Gebäude lassen sich nicht ermitteln, da nicht jeder Zähler zu genau einem Gebäude gehört.

Folgende relevante Parameter sind in der Datenbank von EIS abgelegt:

- CAFM ID Nummer (Abteilungsübergreifende Gebäudeidentifikationsnummer)
- Adresse

- Baujahr
- Nutzungsart
- Nettogeschossfläche
- Energieerzeuger

In den Stammdaten sind Wetterdaten und externe sowie interne Vergleichswerte abgelegt. Diese werden jährlich aktualisiert. Die Vergleichs- und Zielwerte dienen zur Bewertung der aktuellen Verbrauchswerte.

Die externen Vergleichswerte werden auf Basis der Energieeinsparverordnung (EnEV) ermittelt. Die Vergleichswerte der EnEV sind auf den Standort Potsdam bezogen. Mit dem Fokus auf einen Vergleich der Gebäude in München müssen diese zuerst auf den Standort München umgerechnet werden. Hierzu wird der Standort-Klimafaktor herangezogen. Bei den externen Vergleichswerten handelt es sich um manuell auf Gebäudeebene erstellte Werte, welche liegenschaftsbezogen hochgerechnet werden.

Grundlage für den externen Zielwert ist die Ages-Studie [7]. Weil die Werte auf den Standort Würzburg und auf die Bruttogeschossfläche (BGF a) bezogen sind, müssen diese erst auf den Standort München und die Nettogeschossfläche (NGFa) umgerechnet werden.

Der interne Vergleichs- und Zielwert werden je Nutzungsart aus dem Gebäudebestand der Landeshauptstadt München gebildet. Die internen Werte müssen jedes Jahr aktualisiert werden. Die internen Basisvergleichswerte werden aus dem Median aller Gebäudekennwerte (=Baseline Gebäude von 3 Jahren / Fläche Gebäude) je Nutzungsart gebildet. Die internen Basis-Zielwerte ergeben sich wie folgt: Unterer Quartilswert aus den Baseline-Kennwerten Benchmark-Energie aus drei Vorjahren in der jeweiligen Nutzungsartart für Gebäude und gewichtet (Fläche) und kumuliert auf die Liegenschaft.

Sollte ein bundesweiter Vergleich der internen Vergleichswerte von Interesse sein, müssten die Werte aus der Datenbank von EIS zuerst mit dem Standort-Klimafaktor auf den Standort Potsdam umgerechnet werden. Dieses Verfahren ist auch für die im EIS ermittelten Kennwerte der städtischen Gebäude anzuwenden.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit EIS viele manuelle Arbeitsschritte notwendig sind, um die Daten zu erfassen, halten, pflegen und weiterzuentwickeln. Eine automatisierte energetische Portfolioanalyse ist nach aktuellem Stand noch nicht möglich. Diese Tatsache hebt die Dringlichkeit des Forschungsprojekts noch mal hervor. Mit dem neu entwickelten Tool wird eine einfache und automatisierte Einschätzung des energetischen Zustands des Gebäudebestands ermöglicht. Als zusätzliche Funktion können Einsparprognosen und Amortisationszeiten durch eine energetische Sanierung abgeschätzt werden.

### 2.3.3 Zentrale Leittechnik

Die Zentrale Leittechnik (ZLT) ist eine zusätzliche technische Einrichtung, die Daten aus den verschiedenen technischen Anlagen der Gebäude erhält und dem jeweiligen Nutzer zur Verfügung stellt. Der Hauptnutzer dieser Daten soll die Abteilung für den Betrieb für die Gewerke Heizung, Lüftung und Sanitär (HLS) aber auch der Unterhalt/Betrieb der Elektrotechnik und das Energiemanagement sein. Mit der ZLT sind circa 350 Objekte verknüpft (Stand 2020). Die Aufgaben der ZLT sind folgende:

- Störmeldemanagement
- Störungsanalyse
- Ferninspektion
- Energiemanagement
- Fernbedienung
- Dokumentenverwaltung

Zur Veranschaulichung wird der prinzipielle Aufbau der Zentralen Leittechnik in folgender Grafik dargestellt. Dabei ist die Darstellung so zu verstehen, dass die ZLT das gesamte Dreieck repräsentiert. Mit „FND“ ist die Firmen-Neutrale-Datenschnittstelle gemeint. Hier wird firmeneigene Technik von firmenneutraler Technik unterschieden.

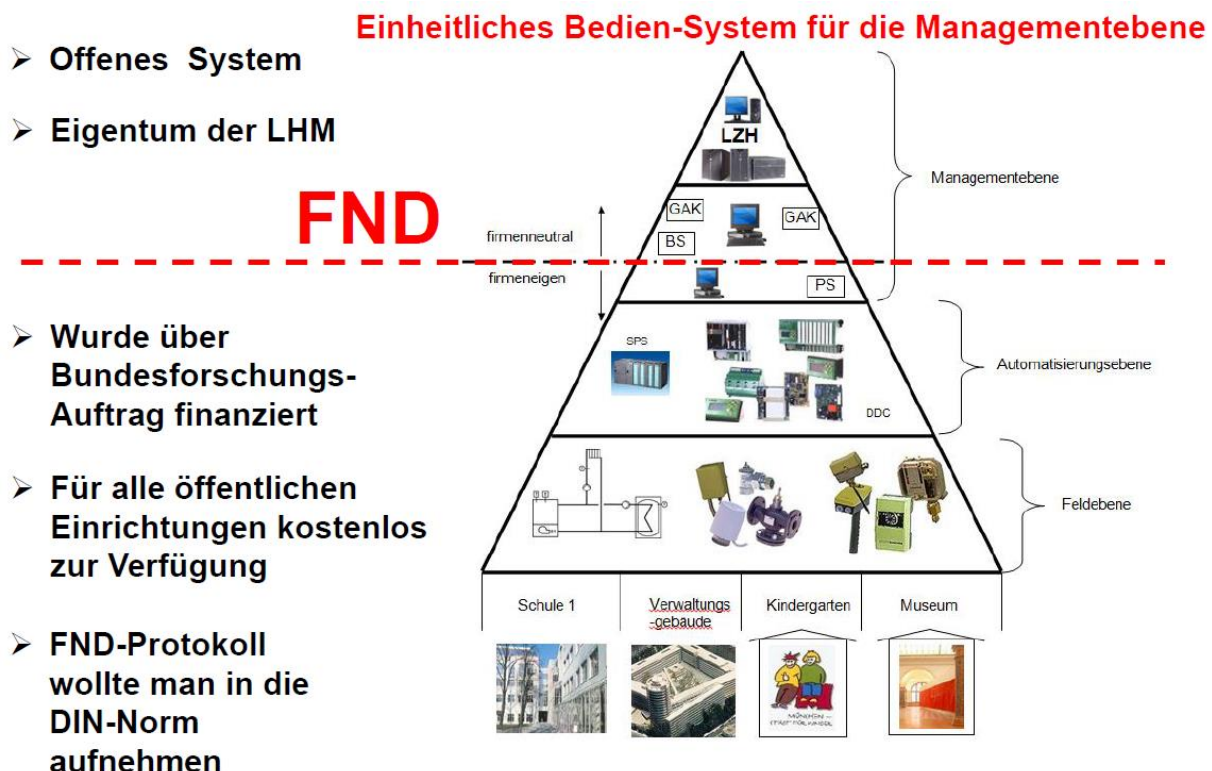


Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau ZLT

In der nächsten Grafik wird gezeigt, wie die ZLT/LZH in die Systemlandschaft von EIS für das Energiemanagement integriert ist. Mit der Abbildung sollen lediglich die Zusammenhänge zwischen CAFM, ZLT und EIS veranschaulicht werden. Die Details in dieser Darstellung sind für das Projekt nicht relevant und werden daher nicht näher beschrieben.

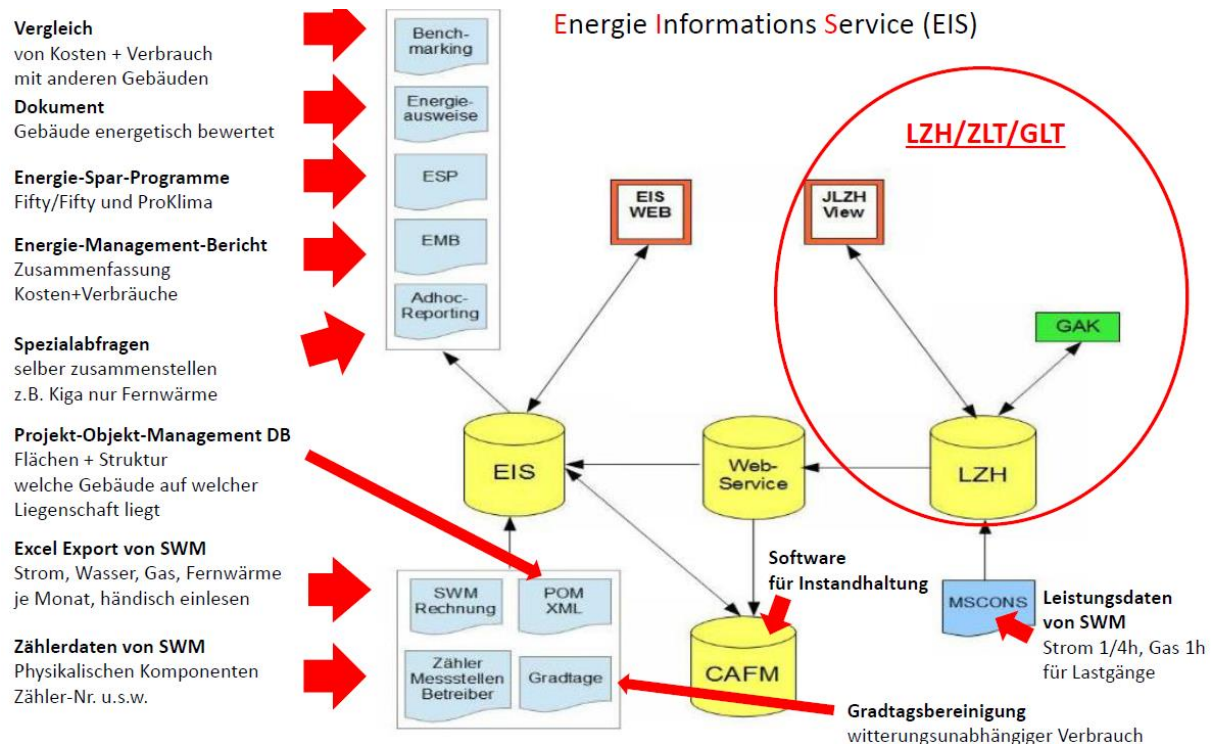


Abbildung 2: Integration der ZLT in EIS

## 2.3.4 EPIQR

Das Programm der Firma Calcon wird von der Abteilung H1 zur Dokumentation, Zustandsbewertung und Abschätzung von Sanierungsmaßnahmen von Gebäudebeständen verwendet. Ursprünglich hervorgegangen ist Epiqr aus einem gleichnamigen Forschungsprojekt der EU, welches von 1995 bis 2000 lief und danach vom Fraunhofer IBP weiterentwickelt wurde (Calcon, 2020). Die Software wird derzeit vom Baureferat der Stadt München implementiert und befindet sich noch in der Datenerfassungsphase.

Durch den hohen Informationsgehalt ermöglicht es Planungsstrategien zu entwickeln. Den vorgeschlagenen Maßnahmenpaketen sind Kosten hinterlegt, sodass eine Budgetplanung ermöglicht wird. Allerdings erfordert es auch eine umfangreiche Bestandsaufnahme der Gebäude.

Die Stammdaten werden aus CAFM geladen, alle weiteren Informationen werden von den Mitarbeitern bzw. von externen beauftragten Firmen in einer Begehung aufgenommen und in das System eingepflegt. Die Bewertung der Elemente ist allerdings Kernaufgabe des Hochbaus und kann nicht extern vergeben werden.

Für die Erfassung der Gebäude müssen einmalig folgende Daten erhoben werden:

| Gebäudeinfos             |                                            | Stammdaten           |                                            | Extraparameter        |                        |
|--------------------------|--------------------------------------------|----------------------|--------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| Gebäudetyp               | <input type="text" value="Sondergebäude"/> | VE                   | <input type="text" value="80000"/>         | Denkmalschutz         | <input type="text"/>   |
| TGA                      | <input type="text" value="einfach"/>       | UE                   | <input type="text" value="100"/>           | Solarnutzungspote     | <input type="text"/>   |
| Orientierung             | <input type="text"/>                       | Adresse              | <input type="text" value="Teststr.1"/>     | Barrierefreiheit      | <input type="text"/>   |
| Oberirdische Stockwerke  | <input type="text"/> Stück                 | Baujahr              | <input type="text" value="2016"/>          | Leerstandsrate in     | <input type="text"/>   |
| Unterirdische Stockwerke | <input type="text"/> Stück                 | PLZ                  | <input type="text"/>                       | Flächeneffizienz in   | <input type="text"/>   |
| Treppenhäuser            | <input type="text"/> Stück                 | Betreuer             | <input type="text"/>                       | Anteil                | <input type="text"/>   |
| Nutzungseinheiten        | <input type="text"/> Stück                 | Ort                  | <input type="text" value="München"/>       |                       |                        |
| Traufhöhe                | <input type="text"/> m                     | Stadtteil            | <input type="text"/>                       |                       |                        |
| Lichte Raumhöhe          | <input type="text"/> m                     | Gebäudetyp           | <input type="text" value="Sondergebäude"/> |                       |                        |
| Grundflächen             |                                            | Komplexität          |                                            |                       |                        |
| Oberirdische BGF         | <input type="text"/> m²                    |                      | Teuer                                      | Normal                | Günstig                |
| Unterirdische BGF        | <input type="text"/> m²                    | Baustellengröße      | <input type="text"/>                       | <input type="text"/>  | <input type="text"/>   |
| Gebäudegrundfläche       | <input type="text"/> m²                    | Arbeitsbedingungen   | <input type="text"/>                       | <input type="text"/>  | <input type="text"/>   |
| Grundstücksfläche        | <input type="text"/> m²                    | Zugang               | <input type="text"/>                       | <input type="text"/>  | <input type="text"/>   |
| Fassadenflächen          |                                            | Fensterflächenanteil |                                            | Festverglasungsanteil |                        |
| Fassade 1                | <input type="text"/> m²                    | Fassade 1            | <input type="text"/> %                     | Fassade 1             | <input type="text"/> % |
| Fassade 2                | <input type="text"/> m²                    | Fassade 2            | <input type="text"/> %                     | Fassade 2             | <input type="text"/> % |
| Fassade 3                | <input type="text"/> m²                    | Fassade 3            | <input type="text"/> %                     | Fassade 3             | <input type="text"/> % |
| Fassade 4                | <input type="text"/> m²                    | Fassade 4            | <input type="text"/> %                     | Fassade 4             | <input type="text"/> % |
| Kommentare               |                                            |                      |                                            |                       |                        |

Abbildung 3: Erfassungsparameter epiqr

Des Weiteren wird ein Gebäude in Elemente zerlegt. Diese sind mit Kostenkennwerten einer Datenbank von Calcon hinterlegt. Nicht in epiqr erkennbar ist, ob es sich um ein Gebäude mit vielen Vor- und Rücksprüngen handelt oder die Geometrie in anderer Art zergliedert ist.

Zur einmaligen Erfassung der einzelnen Gebäude erfordert das Programm eine jährliche Eingabe der Zustände einzelner Elemente. Dafür sind vier Zustände von „A“ (gut) bis „D“ (schlecht) vordefiniert.

In epiqr sind nach der Bewertung der Gebäude die unterschiedlichen Zustände der Gebäude vergleichbar. Durch im Programm vordefinierte Maßnahmenpakete können überschlägig Aussagen zu Kosten für z. B. energetische Sanierungen gewonnen werden.

Größere Sanierungen oder Instandsetzungen werden im Hochbau als Projekte abgewickelt. Diese Projekte werden in anderen Systemen (z. B. SAP) abgewickelt und dokumentiert.

## 2.4 Daten

Daten sind das zentrale Thema des Forschungsprojekts. Da eine übertragbare Methode zur Gebäudeportfolioanalyse entwickelt wird und die Datenlage verschiedener Liegenschaftsverwalter sehr unterschiedlich ist, ist es die Kernaufgabe mit dieser Diversität umzugehen und einen universellen Ansatz für die Portfolioanalyse zu entwickeln.

Zunächst wurde untersucht, welche Daten für die energetische Portfolioanalyse relevant sind. Im nächsten Schritt wurden die möglichen Quellen recherchiert, aus denen die erforderlichen Parameter gewonnen werden können. Aus dem Prozess der Datenbeschaffung und Datensichtung konnten erste Erkenntnisse gewonnen werden, welche im Abschnitt „Limitierungen“ genauer erläutert werden. Nach eingängiger Prüfung wurden jene Quellen und Parameter festgelegt, welche für die Bearbeitung des Projekts erforderlich sind. Genauere Informationen hierzu sind im Abschnitt „verwendete Daten“ zu finden.

### 2.4.1 Erforderliche Daten für die energetische Portfoliobewertung

Grundsätzlich sind die erforderlichen Sachdaten für eine energetische Portfolioanalyse vom Bewertungsziel abhängig. Je nach Verfügbarkeit und Qualität der Daten können Ergebnisse in unterschiedlichen Detailstufen generiert werden. Ziel des Projekts ist es, mit möglichst wenig Gebäudeparametern, eine ausreichend genaue Aussage zum energetischen Zustand des Gebäudeportfolios treffen zu können.

Das Heizperiodenbilanzverfahren nach DIN 4108-6 [8] bietet für unsere Analyseziele die richtigen Voraussetzungen. Es ist detailliert genug um den Wärmebedarf individueller Gebäude eines Portfolios ausreichend genau und differenziert genug ermitteln zu können. Gleichzeitig ist der notwendige Dateneinsatz gering genug, um Berechnungen auf Stadtebene durchführen zu können.

Die minimal benötigten Parameter sind die Gebäude-ID, die Adresse, Ort und Postleitzahl, das Baujahr, die Gebäudeart, Informationen zum Denkmalschutz, Gebäudegrundfläche, gesamte Fassadenfläche, gesamte Fensterfläche sowie die Traufhöhe.

### 2.4.2 Untersuchte Datenquellen

Bei der Datenrecherche wurden sowohl interne Quellen des Baureferats, als auch extern Datenquellen untersucht. Die Hauptdatenlieferanten der internen Quellen wurden bereits im letzten Abschnitt des Kapitels „Baureferat München“ erläutert. Gemeint sind die Quellen **CAFM**, **Nuclos**, **Epiqr**, und **ZLT**. Auf die Parameter dieser Quellen wird daher in diesem Abschnitt nicht weiter eingegangen.

Zu den eben genannten Quellen, wurde uns von der LHM noch zwei weitere Datensätze zur Verfügung gestellt. Für die aktuellen Planungsprozesse sind diese jedoch nicht von Bedeutung und wurden daher nicht im Kapitel „Baureferat München“ erläutert. Dennoch wurden diese Quellen untersucht und dahingehend geprüft, ob relevante Informationen für die

Portfolioanalyse enthalten sind. Aus diesem Grund wird in den folgenden Absätzen darauf eingegangen.

Die sogenannte „**Gebäudedatei LH München**“ wurde uns von der Abteilung Plan HAI-22 LHM zur Verfügung gestellt. Bei der Version, die für das Projekt vorliegt, handelt es sich um ein Excel-File mit insgesamt 166.540 Gebäuden im Stadtbereich München. Sie ist eine Datensammlung über alle Gebäude (auch nicht öffentliche) Münchens des Referats für Stadtplanung und Bauordnung der Stadtverwaltung München. Die Daten der Gebäudedatei stammen ursprünglich aus der Münchner Gebäude- und Wohnzählung 1968 und weiteren Gebäudebestandserhebungen der 1970er-Jahre. Seitdem wird die Datei anhand von Baufertigungsstellungs-, Abriss- und Umbaumeldungen aktualisiert.

Die Gebäude lassen sich über die Adresse Georeferenzieren, das heißt die Lage ist als Punkt in einem entsprechenden Programm (z. B. QGIS) darstellbar. 3D-Geometrien sind jedoch nicht abgespeichert. Die Datei enthält relevante Informationen, wie zum Beispiel das Baujahr, Gebäudeflächen, Flächen je Nutzungseinheit sowie die Geschosszahl. Die Datei enthielt jedoch nicht ausreichend Parameter um allein mit ihr eine energetische Analyse durchführen zu können. Eine Kombination mit Parametern anderer Quellen wurde daher zunächst forciert. Der Grund, weshalb die Zuordnung der Daten zueinander (Datenmatching) zum Beispiel mit den Nuclos-Daten nicht funktioniert hat, ist, dass es keine globale Gebäude-ID gibt. Zudem sind die Gebäudegrenzen unterschiedlich definiert und es gibt geringe Überschneidungen mit den Gebäuden aus anderen Quellen.

Das Kommunalreferat Geodatservice der LHM stellte das **LOD2-Stadtmodell München** zur Verfügung. Die Datei enthält ca. 1,9 Millionen Objekte im Shape- und GityGML-Format. Folgende, für uns relevanten Informationen sind darin enthalten: Georeferenzierte Gebäudeflächen (3D-Stadtmodell), Dachform, Gebäudeausrichtung, Gebäudenutzung und das Gebäudealter. Letztere Informationen sind leider nur zum Teil hinterlegt. Ähnlich wie bei der Gebäudedatei konnten wir diese Quelle nicht als alleinige für die energetische Analyse nutzen. Bei der erforderlichen Verbindung mit anderen Datenquellen scheiterte es ebenfalls an der fehlenden globalen Gebäude-ID, bzw. an der nicht eindeutigen Zuordnung einzelner Gebäude.

Über das Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung haben wir ebenfalls ein **3D-Stadtmodell** der Stadt München im Shape-Format erhalten. Aus begrenzten Kontingentsgründen konnten uns nur eine Auswahl von ca. 1500 Gebäuden zur Verfügung gestellt werden. Die ausgewählten Gebäude sind überwiegend Schulen und Kinderbetreuungseinrichtungen. Die enthaltenen relevanten Informationen sind gebäudegeometrische Informationen (LOD2) sowie ein bundesweit gültiger GityGML-Objektidentifikator, Anzahl der oberirdischen Geschosse, und die Dachform. Die Herausforderungen beim Datenmatching waren wieder die gleichen wie in den zuvor erläuterten Quellen.

### 2.4.3 Begrenzungen

An dieser Stelle sei erwähnt, dass das Projekt stark von der Bereitstellung von Gebäudedaten, verschiedener verantwortlichen Stellen abhängig war. Von der Beantragung bis zum Erhalt der Daten, musste zum Teil viel Zeit einkalkuliert werden. Hinzu kam, dass Datensätze mehrmals beantragt werden mussten, da mehrere Iterationsschritte bei der Datenauswahl notwendig waren.

Aus diesen Umständen lassen sich die ersten Erkenntnisse ableiten: Es gibt keine Stelle, an der alle Gebäudedaten zentral verwaltet werden. Darüber hinaus gibt es keine eindeutige und globale Gebäude-ID. Ein Zusammenführen von Parametern aus unterschiedlichen Quellen ist immer mit großem Aufwand verbunden, beziehungsweise in manchen Fällen nicht möglich. Dies liegt unter anderem daran, da es bei komplexeren Gebäudestrukturen oder Liegenschaften keine global gültige Gebäudegrenzen gibt.

Es wird allgemein dazu geraten, eine Methode zu entwickeln, die eine einheitliche Zuweisung von Gebäuden ermöglicht. Der große Vorteil wäre, dass Daten aus unterschiedlichen Quellen vereint werden können. Diese würde die Analysemöglichkeiten erheblich verbessern. Darauf aufbauend können dann auch Zählerstrukturen festgelegt werden. Dies würde unter anderem den Vergleich von tatsächlichen Verbräuchen von Objekten untereinander verbessern.

Ergänzend sei noch erwähnt, dass ein großer Teil der Projektbearbeitung in die Datenakquise und Datenaufbereitung floss. Die Datenlage stellte in der Bearbeitungszeit stets eine schwierige Situation dar, da die Informationen meist unvollständig beziehungsweise unzureichend waren, um hinreichend genaue Analysen durchführen zu können. Aus der Not heraus wurde versucht eine Methode zu entwickeln mit der die unterschiedlichen Gebäudeinformationen aus unterschiedlichen Quellen zusammengebracht werden können. Diese Versuche blieben leider ohne Erfolg. Das Hauptproblem dabei lag meist darin, dass die einzelnen Objekte oft unterschiedlich strukturiert sind.

### 2.4.4 Verwendete Datenquellen

Aufgrund der oben genannten Begrenzungen, eine umfassende Datenbank mit detaillierten Gebäudeinformationen aufzubauen, wurde das Projektkonzept so strukturiert, dass grundsätzlich nur zwei Quellen verarbeitet werden. Die EIS-Daten werden verwendet, um den Gebäudebestand der LHM zu analysieren. Und die Daten aus Epiqr werden in Kombination mit den EIS-Daten zur Ermittlung der Einsparpotenziale zugrunde gelegt. Ein Vorteil bei der Verwendung dieser beiden Quellen ist die gemeinsame CAFM-Identifikationsnummer. Dadurch können einzelne Parameter unkompliziert zugeordnet werden. Der Informationsgehalt beider Quellen reicht jedoch nicht aus, um die angestrebten Berechnungen durchführen zu können. Die erforderlichen Parameter wie zum Beispiel Wärmedurchgangskoeffizienten oder der Fensterflächenanteil wurden anhand statistischer Werte synthetisiert. Ausführliche Informationen zum Thema Datensynthese werden im Kapitel „Entwicklung eines Tools zur Bewertung des Gebäudebestands“ aufgezeigt.

EIS sowie Epiqr bieten die Möglichkeit, die gespeicherten Informationen als Excel-Liste (z. B. CSV) zu exportieren. Die verwendeten Parameter für die Untersuchung des Gebäudebestands sowie für die Ermittlung der Einsparpotentiale sind in den entsprechenden Abschnitten im Kapitel „Entwicklung eines Tools zur Bewertung des Gebäudebestands“ aufgelistet.

## 3 Stand der Forschung und Normengrundlage

### 3.1 Stand der Forschung

Es gibt bereits Modelle, Werkzeuge und Forschung in diesem Bereich, die es erlauben, bestehende Gebäude hinsichtlich ihrer energetischen Performance zu bewerten sowie mögliche Sanierungskonzepte nach dem Stand der Technik zu berücksichtigen.

Um die Strukturen zu erklären, werden zunächst drei grundsätzliche Methoden zur energetisch- und thermischen Bewertung von Nichtwohngebäuden aufgezeigt. Im Anschluss wird noch auf konkrete Forschungsprojekte zu dieser Thematik eingegangen.

Aktuell gibt es drei verschiedene Methoden der Gebäudebewertung mit unterschiedlichen Qualitäten hinsichtlich der Interpretationsmöglichkeiten, des Fehlerpotenzials in der Anwendung und des zeitlichen Aufwands.

Eine anwenderfreundliche Methode ist das Kennwertverfahren nach der VDI 3807 [9]. Es ist leicht überschaubar und einfach anzuwenden, birgt aber Schwächen bei den Bewertungsmöglichkeiten. Das zu bewertende Gebäude kann anhand seines Jahresverbrauchs mit realen Verbrauchswerten ähnlich genutzter Gebäude verglichen werden. Hierbei erfolgt eine grobe Einteilung nach Gebäudefunktion oder Gebäudetypologie. Eine weitere Untergliederung erfolgt nicht. Dies lässt die Fragen offen, wie mit verschiedenen Dämmstandards, der technischen Gebäudeausrüstung und den meist sehr individuellen Nutzungsstrukturen umzugehen ist. Es besteht immer eine Restunsicherheit, ob man das bewertete Gebäude mit geeigneten Gebäuden verglichen hat bzw. ob es überhaupt ein Vergleichsgebäude gibt.

Eine weitere Methode ist das Nachweisverfahren der EnEV basierend auf der DIN V 18599 [10]. Die Norm findet eine breite Anwendung zum Nachweis eines energieeffizienten Gebäudes und zur Bestimmung des Primärenergiebedarfs. Sie ist grundsätzlich so konzipiert, dass eine Bewertung der bauphysikalischen und technischen Qualität des Gebäudes unter Standardrandbedingungen möglich ist. Dieses Verfahren wird als einheitliches Bewertungsverfahren eingesetzt, um die energetische Gebäudequalität nachzuweisen und ggf. staatliche Fördergelder zur Umsetzung von Sanierungsmaßnahmen zu beantragen. Ein Hemmnis für die Anwendung ist der zeitliche Aufwand zur Erstellung des Nachweises. Für die Erstellung eines Gebäudeberichts weist Lichtmeß [11] in seiner Dissertation einen Zeitaufwand von ca. 80 h für ein Gebäude mit einer mittleren Fläche von 5.382 m<sup>2</sup> (NGF) aus. Dieser zeitliche Aufwand ist zu hoch, um größere Liegenschaften in ihrer Gesamtheit bewerten zu können. Zudem muss ein Fachmann bei komplexen Gebäuden fundiertes Wissen über Gebäudetechnologien und Gebäudetechnik besitzen. Hierbei ist ein großes Maß an Erfahrung notwendig, um Schwierigkeiten bei der Datenerhebung erkennen und Fehler in der Eingabe vermeiden zu können. Die gewonnenen Ergebnisse aus der DIN V 18599 [10] werden anhand des berechneten (Primär-) Energiebedarfs bewertet und lassen für eine umfassendere Betrachtung die ebenso wichtigen Themenfelder der Raumbehaglichkeit wie Temperatur oder

Luftqualität und das Lastverhalten, z. B. zur Auslegung der technischen Gebäudeausrüstung unberücksichtigt.

Eine immer häufiger angewendete Methode, zur Auslegung von Anlagentechnik, ist die dynamische thermische Simulation. Die dynamische Simulation liefert alle relevanten Daten von Temperaturen über Energiebedarfswerte bis hin zu Lastgängen für eine umfangreiche Bewertung des Gebäudes. Sie ermöglicht auch die beste Abstimmung von Gebäudemodell und Gebäudetechnik auf den Nutzer und erschließt daher das größte Potenzial eines effizienten Gebäudebetriebs. Effizient bedeutet dabei, einen geringen (Primär-) Energieverbrauch mit optimaler Behaglichkeit in Einklang zu bringen. Um dies zu gewährleisten, sind analog zur Norm DIN V 18599 [10] eine gute Datenlage und ausreichende Kenntnisse im Hinblick auf die Parametrierung und Ergebnisinterpretation notwendig. Der zeitliche Aufwand kann je nach Betrachtungsebene (Nutzenergie oder Endenergie) und Detaillierungsgrad der Modelle stark variieren. Das Fehlerpotenzial, z.B. durch Eingabefehler des Nutzers, ist aufgrund der Komplexität der Software nicht zu unterschätzen.

Wichtige, der Bestimmung des Energiebedarfs vorangestellte Prozesse, sind die Erhebung, die korrekte Verarbeitung und die Anwendung von Daten in der Betriebsphase. Die Qualität der Erhebung ist elementar, um entsprechend relevante Aussagen über ein Gebäude treffen zu können. Die Datenerhebung ist kostenintensiv und die weitere Verwertung bedarf geeigneter Software. Aktuell fehlen noch ganzheitlich ausgerichtete Werkzeuge, die es erlauben, die gewonnenen Erkenntnisse so einzusetzen, dass sämtliche Informationen über den Gebäudezustand und den Anlagenbetrieb ausgewertet werden können. Eine wesentliche Frage besteht darin, welche Informationen eines Nichtwohngebäudes generell relevant sind, um es ausreichend bewerten zu können und um einen niedrigen Energieverbrauch bzw. Bedarf an fossilen Brennstoffen über die Nutzungszeit zu garantieren. Die teils im Gebäudeportfolio der LHM eingesetzten Softwarepakete des CAFM und der Gebäudeautomation sind noch nicht hinreichend miteinander verknüpft, um ein automatisches Gebäudescreening oder Energie-Reporting zu ermöglichen. Hierdurch und aufgrund des Mangels an ausreichend qualifiziertem Personal bleiben die Potenziale zur Optimierung des Betriebsenergiebedarfs ungenutzt.

Es folgt eine kurze Auflistung themenrelevanter, konkreter Forschungsprojekte, wie weiter oben angekündigt.

Im Rahmen des HoEff-CIM-Projekts, das an der Technischen Universität München durchgeführt wurde, wurde ein Tool entwickelt, das eine einfache und kostengünstige Datenerfassung von Bestandsgebäuden ermöglicht. Das sogenannte QuickCheckTool ermittelt den Energiebedarf anhand der Baualtersklasse und des Ist-Zustandes des Gebäudes und schlägt Sanierungskonzepte für die Immobilie vor. Anhand eines Universitätscampus wurde ein Energiemasterplan entwickelt, der die energieintensivsten Gebäude identifiziert und Empfehlungen für Energiesparmaßnahmen gibt. Die Sanierungsmaßnahmen werden unter energetischen, ökonomischen und ökologischen Aspekten bewertet. Allerdings betrachtet dieses Tool nur einzelne Liegenschaften und es muss ein hoher Aufwand für die Datenerhebung und -aufbereitung betrieben werden. [12]

Ein bereits existierendes Tool, das mit 3D-Stadtmodellen (CityGML) arbeitet, ist SimStadt. SimStadt wurde am Zentrum für Erneuerbare Energietechnik (zafh.net) an der Hochschule für Technik Stuttgart entwickelt. SimStadt ist eine urbane Energiesimulationsplattform zur Berechnung der Energiewende im städtischen Maßstab. In der ersten Version können eine Solar- und PV-Potenzialanalyse sowie die Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden durchgeführt werden. Darüber hinaus können CO<sub>2</sub>-Emissionen angezeigt und Simulationen von Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden [13].

City Building Energy Saver (CityBES) ist ein Projekt, das am Lawrence Berkeley National Laboratory angesiedelt ist. Es nutzt ebenfalls den offenen Datenstandard CityGML zur Unterstützung von Effizienzprogrammen auf Stadtteil- oder Stadtebene. Das webbasierte Tool ermöglicht eine schnelle Energiemodellierung und -analyse großer Gebäudebestände. Energetische Simulationen werden auf einem EnergyPlus-Rechenkern ausgeführt. Darüber hinaus wird das PV-Potenzial abgeschätzt und Analysen für die Gebäudesanierung vorgeschlagen, um Nachrüstungsentscheidungen zu unterstützen [14].

Urban modelling interface (umi) ist ein auf Rhinoceros basierendes Planungswerkzeug für die Analyse und Simulation ganzer Stadtteile. Es besteht aus einem integrierten Betriebsenergiemodul auf Basis von EnergyPlus, einem Tageslichtmodul auf Basis von Radiance/Daysim, einem Modul zur Berechnung der Grauen Energie und CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie einer Begehrbarkeitsanalyse von Stadtvierteln. Die dreidimensionale Visualisierung des Stadtviertels ermöglicht eine schnelle Identifizierung der energieintensivsten Gebäude durch farbliche Markierung [15].

Der Energieatlas wurde im Rahmen einer Dissertation an der TUM entwickelt. Der Titel der Arbeit lautet: „Berechnung der Energiebedarfe von Wohngebäuden und Modellierung energiebezogener Kennwerte auf der Basis semantischer 3D-Stadtmodelle“. Auf Basis des sogenannten Energieatlases werden Methoden zur gebäudescharfen und großräumigen EnEV-konformen Berechnung der Heizwärmebedarfe und Einsparpotentiale durch Sanierung, der Strom- und Warmwasserbedarfe von Wohngebäuden entwickelt und implementiert. Grundlage des Energieatlases sind semantische 3D-Stadtmodelle einschließlich Geobasis- und statistischer Daten, welche als Integrations- und Simulationsplattform dienen. Die Eingangswerte und Energiebedarfe werden als Erweiterung des CityGML-Standards (EnergyADE) im Energieatlas modelliert.

An der Universität Siegen wurde im Rahmen einer Doktorarbeit eine Methode für die Berechnung von Energiebedarfen für Nichtwohngebäude entwickelt. Der Titel ihrer Arbeit lautet: „Verbessertes Modell zur Berechnung des Energiebedarfs zur energetischen Bewertung von Nichtwohngebäuden“. Das Grundprinzip des Verbesserten-Ein-Zonen-Modells (VEZMs) beruht auf einer prozentualen Aufteilung der einzelnen Nutzungswerte bezüglich der Nettogrundfläche je Zone. Durch diese gewichteten Nutzungswerte wird die Bilanzierung nicht mehr anhand von verallgemeinerten Werten durch die Annahme einer vorrangig vorhandenen Zone bestimmt, sondern es ergibt sich ein ermittelter Durchschnittswert aller vorhandenen Zonen. Die Arbeit stellt das VEZM für Schulgebäude im Bestand unter

Berücksichtigung der Zonierung dar. Mit diesem Verfahren wird mittels optimierter Nutzungswerte ein relativ genaues Ergebnis bei geringem Zeitaufwand erreicht.

Die AGES GmbH ist eine Gesellschaft für Energieplanung, die Datenbanken für Verbrauchskennwerte einzelner Nutzungseinheiten erarbeitet. Die Verbrauchskennwerte Wärme, Strom und Wasser werden zunächst für ausgewählte Gebäudegruppen und Gebäudearten in tabellarischen Übersichten zusammengefasst:

- ages Bauwerkszuordnungsnummer
- Bezeichnung von Gebäudeart/ -gruppe
- Stichprobenumfang
- Verbrauchskennwert - arithmetisches Mittel
- Verbrauchskennwert - unteres Quartilsmittel
- Verbrauchskennwert - Median
- Verbrauchskennwert - gleitender Modalwert
- Verbrauchskennwert - Standardabweichung
- mittlere Fläche in m<sup>2</sup> BGF (bei Krankenhäusern mittlere Bettenzahl, bei Bädern m<sup>2</sup> Beckenoberfläche)

Insbesondere werden Verbrauchskennwerte für Studentenwerke ermittelt. Dazu zählen die Nutzungseinheiten Wohnheim, Mensa, Bistro, Verwaltung, KiTa. Diese Daten sind in der VDI Richtlinie 3807, Blatt 2 [9] eingearbeitet.

An der HS München wurde ein EU-Projekt mit dem Namen „Fasudir“ bearbeitet. Im Projekt wurde ein Softwaretool entwickelt, das allen Akteuren im Planungsprozess helfen soll, die nachhaltigste Strategie für das gesamte Stadtquartier zu finden. Um die Praxistauglichkeit der Software zu verbessern, werden verschiedene Stakeholder in ganz Europa miteinbezogen. Anhand realer Fallstudien in drei für Europa typischen Klimazonen (Frankfurt a.M., Santiago de Compostela, Budapest) wird die Software validiert. Das EU-geförderte Projekt hat zum Ziel, diese Entscheidungsfindung effizienter zu machen.

Beim Institut für Wohnen und Umwelt existiert bereits ein Datensatz zur deutschen Gebäudetypologie. Allerdings zielt dieser Datensatz auf Einfamilien-, Mehrfamilien oder Reihenhäusern ab. Siehe „TABULA“ von IWU [16].

Für die Datensynthese im Rahmen dieses Projektes spielen vor allem folgende Online-Publikationen eine wichtige Rolle:

- BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011 [17]  
*„Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland“*
- BMVBS-Online-Publikation, Nr. 27/2013 [3]  
*„Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen“*
- BBSR-Online-Publikation, Nr. 20/2019 [18]  
*„Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden“*

Das Projekt ENOB:dataNWG arbeitet derzeit an einer Forschungsdatenbank für Nichtwohngebäude. Teil der Arbeit wird eine Typologie für Nichtwohngebäude sein. Detaillierte Informationen gibt es auf folgender Webseite: <https://www.datanwg.de/home/projektbeschreibung/> [19].

Der Stand der Technik zeigt, dass es bereits mehrere Modelle und Werkzeuge gibt, die es ermöglichen, den Energiebedarf auf Gebäude- und Stadtteilebene zu ermitteln und zu visualisieren. Im Allgemeinen konzentrieren sich diese Modelle und Werkzeuge jedoch hauptsächlich darauf, den Energiebedarf der Nutzungsphase eines Gebäudes oder aller Gebäude in einem Stadtviertel so genau wie möglich zu simulieren. Dies erfordert allerdings eine umfassende und zuverlässige Datenlage. Ansätze für eine energetische Analyse für Portfolios mit einer schlechten, bzw. lückenhaften Bestandsdatenlage fehlen jedoch.

An dieser Stelle sei auch erwähnt, dass die Gebäudesimulation immer noch mit dem Problem der Integration geeigneter Modelle für das Nutzerverhalten konfrontiert ist. Dies ist einer der Gründe, warum es sehr oft eine große Diskrepanz zwischen dem simulierten Energiebedarf während der Entwurfsphase von Gebäuden und dem gemessenen Energieverbrauch während der Gebäudenutzung gibt [20].

### 3.2 Normengrundlage

Die Methodenentwicklung des Forschungsprojekts schließt die folgenden Normen als Grundlage mit ein und baut auf diesen auf:

- DIN V 4108-6:2003-06 [8]
- DIN V 4701-10:2003-08 [21]

Bei der Methodenentwicklung wurde auf deutsche Normen zurückgegriffen, da diese Normen eine detaillierte, einheitliche und konsistente Grundlage für die angestrebten Berechnungen darstellen. Eine Vermischung verschiedener internationaler und nationaler Berechnungsweisen, -standards und Normen würde dem entgegenstehen.

Das verleiht der Methode vermeintlich die Limitierung auf Deutschland, jedoch wird die spätere Validierung der Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs zeigen, dass jegliche Modelle zur Energiebedarfsberechnung die gleichen bauphysikalischen Grundformeln und Berechnungen verwenden. In südlichen und tropischen Regionen sind aber oftmals keine Wärmeerzeuger, sondern nur Klimageräte in den Gebäuden verbaut. Der Heizwärmebedarf spielt somit in diesen Ländern nahezu keine Rolle. Um die Methode auch auf diese Gebiete zu erweitern, muss die Integration weiterer Betrachtungs-, Berechnungs- und Analysehorizonte erfolgen.

Die gebäudespezifische Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfs erfolgt analog zu DIN V 4108-6:2003-06 [8] mit dem Titel „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden - Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs“. Zusätzlich dazu wird die DIN V 4701-10:2003-08 [21] mit dem Titel „Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen - Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung“ für die Ermittlung energiesystemseitiger Parameter wie z. B. der Erzeugeraufwandszahl oder von Hilfsenergien herangezogen.

Die in den genannten Normen dargestellten Berechnungsweisen basieren auf einer statischen Berechnung. Im Rahmen dieser Arbeit wird ein Ein-Zonen-Modell für alle Berechnungen angenommen. Das bedeutet, dass das gesamte zu untersuchende Gebäude als eine thermische Zone angenommen wird.

## 4 Entwicklung eines Tools zur Bewertung des Gebäudebestands

Wie in den vorangegangenen Abschnitten beschrieben, ist die Struktur des Baureferats München komplex. Die Daten, die für die von ihnen verwalteten öffentlichen Gebäude gesammelt werden, werden separat gespeichert, in Verbindung mit unterschiedlicher Software und in verschiedenen Abteilungen. In Anbetracht der Beschränkungen der verfügbaren Datensätze wurde in diesem Projekt ein Tool entwickelt, um die Energieeffizienz des vom Baureferat München verwalteten Gebäudeportfolios zu bewerten. Dieses Tool kann nicht nur auf aktuell verfügbare Datensätze zurückgreifen, die von verschiedenen Abteilungen des Baureferats München gesammelt wurden, sondern ist auch erweiterbar, um zukünftige Datensätze einzubeziehen. Die folgenden Abschnitte beschreiben den Überblick über das Tool, die grafische Benutzeroberfläche des Tools, die im Tool implementierten Methoden und die Visualisierung der Ergebnisse.

### 4.1 Überblick über das Tool

Es wurden in diesem Tool zwei Methoden implementiert, die den derzeit verfügbaren Datensatz berücksichtigen, um öffentliche Gebäude in der LHM mit hohem Heizenergie- und CO<sub>2</sub>-Einsparpotenzial zu identifizieren. Eine Methode wurde auf der Grundlage der im Energieinformationssystem (EIS) gespeicherten Daten entwickelt, die in diesem Bericht als EIS-Daten bezeichnet werden. Durch eine statistische Analyse der Wärmeverbrauchsdaten von ca. 3500 Gebäuden über einen Zeitraum von 10 Jahren können die Gebäude mit hohem Heizenergieverbrauch ermittelt werden. Die andere Methode wird auf der Grundlage der in der EPIQR-Software gespeicherten Daten entwickelt, die in diesem Bericht als EPIQR-Daten bezeichnet werden. Die Daten der Gebäudehülle, z.B. Wand-, Fenster- und Dachflächen, in den EPIQR-Daten ermöglichen die Berechnung auf Basis des Heizperiodenprozesses. Es können der Heizenergiebedarf, die CO<sub>2</sub>-Emissionen und der Endenergiebedarf vor und nach der Sanierung berechnet werden, so dass das Einsparpotential des Heizenergiebedarfes und CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt werden können. Zusammen mit den Berechnungen der Sanierungskosten, der Energiekosteneinsparung und der CO<sub>2</sub>-Kosteneinsparung kann die Amortisationszeit für die Sanierung abgeschätzt werden.

Bei der Entwicklung des Tools wurden die folgenden Überlegungen angestellt:

- das Tool sollte in einer Open-Source-Umgebung entwickelt werden
- das Tool sollte übertragbar und erweiterbar sein
- das Tool sollte minimale Eingaben erfordern

Der letzte Punkt basiert auf der größten Herausforderung bei der Bewertung der Energieeffizienz eines Gebäudebestands, nämlich dem Mangel an Daten. Durch die intensive Datenerfassung während der Projekte (wie in den vorherigen Abschnitten dieses Berichts beschrieben) standen in dieser Studie nur zwei Datensätze zur Verfügung.

Aufgrund dieser Kriterien und Einschränkungen wurde die Python-Programmierung als Umgebung für die Entwicklung des Tools gewählt. Die in diesem Tool implementierten

Methoden für Auswertungen und Berechnungen wurden unter den Beschränkungen des verfügbaren Datensatzes sowie zur Minimierung der erforderlichen Eingaben ausgewählt.

Das Flussdiagramm des Tools ist in Abbildung 4 dargestellt. In diesem Tool gibt es zwei Hauptoptionen. Option 1 ist die Analyse von Wärmeverbrauchsdaten und Option 2 die Berechnung von Wärmebedarf, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Sanierungskosten und Amortisationszeit. Für die Analyse des Wärmeverbrauchs werden die Wärmeverbrauchsdaten der Gebäude, z.B. EIS-Daten, benötigt. Am Ende der Analyse können die Gebäude mit hohen Wärmeverbräuchen identifiziert werden. Für die Berechnung des Wärmebedarfs, der CO<sub>2</sub>-Emissionen, der Sanierungskosten und der Amortisationszeit werden die Daten für die Durchführung des Heizbilanzverfahrens sowie CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren, Sanierungskosten, Energiepreis und CO<sub>2</sub>-Preis benötigt. Je nach Art der Berechnungen können Gebäude mit hohen Einsparungen von Wärmebedarf und CO<sub>2</sub>-Emissionen, hoher Kosteneffizienz und kurzer Amortisationszeit identifiziert werden. In den folgenden Abschnitten werden die, in den einzelnen Bewertungsoptionen, angewandten Methoden im Detail beschrieben.

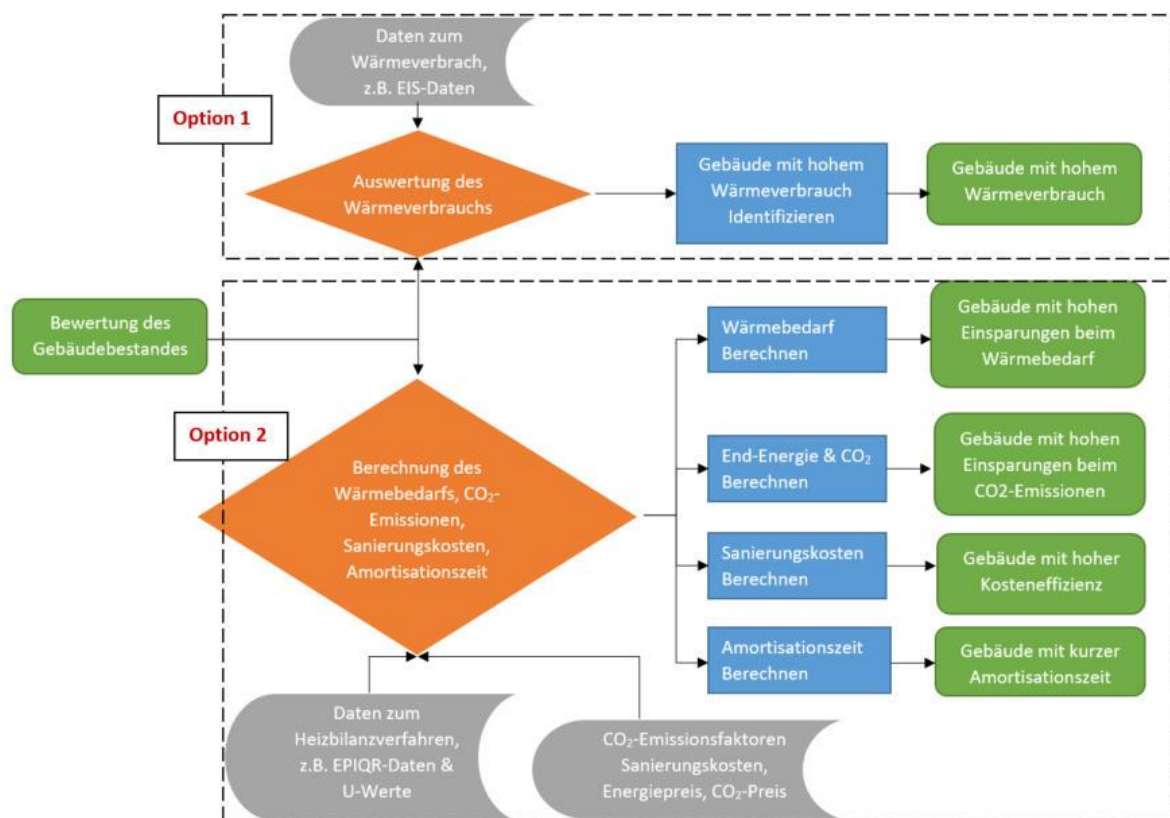


Abbildung 4: Flussdiagramm des Tools zur Bewertung des Gebäudebestands

## 4.2 Option 1: Analyse des Wärmeverbrauchs

Dieser Abschnitt beschreibt die Option 1 des Tools, nämlich die Analyse der Wärmeverbrauchsdaten aus den EIS-Daten. Er ist wie folgt aufgebaut: Zunächst wird ein Überblick über die Eingangsdaten: die EIS-Daten, gegeben. Danach werden die statistischen Methoden beschrieben, die zur Analyse der Daten verwendet werden, gefolgt von der Beschreibung der grafischen Benutzeroberfläche.

### 4.2.1 Eingangsdaten: EIS-Daten

Die Eingabedaten zur Ausführung des Programms zur Analyse des Wärmebedarfs sind in einer CSV-Datei abgelegt, die die ausgewählten Daten aus den EIS-Daten für einen Zeitraum von 10 Jahren (von 2011 bis 2020) enthält. Die erforderlichen Mindesteingaben in dieser CSV-Datei sind unter den unten aufgeführten Spaltennamen aufgeführt:

- 'CAFM Identifikation'
- 'Strasse'
- 'Hausnr'
- 'PLZ'
- 'Ort'
- 'Nutzungsart LHM'
- 'Baujahr',
- 'Fläche (NGFa) (m<sup>2</sup>)'
- 'Kennw\_Wärme\_WB (KWh/m<sup>2</sup> a)'

Es ist wichtig, dass diese Spaltennamen in der CSV-Datei nicht geändert werden; die Reihenfolge der Bezeichnungen spielt keine Rolle.

Nach dem Einlesen der Daten, werden die Gebäude in vier Baualtersklassen (BAK) eingeteilt, die sich nach dem Baujahr des Gebäudes richten (s. Tabelle 1). Diese Einteilung ist für Nichtwohngebäude sinnvoll und entspricht der BMVBS Online-Veröffentlichung Nr.27/2013 [22].

Tabelle 1: Einteilung der Baualtersklassen

| Baualtersklasse (BAK) | 1        | 2             | 3             | 4       |
|-----------------------|----------|---------------|---------------|---------|
| Baujahr               | bis 1976 | von 1977-1983 | von 1984-1994 | ab 1995 |

Die angegebenen Nutzungsarten der Gebäude in den EIS-Daten sind sehr spezifisch. So wird beispielsweise zwischen Haus für Kinder, Kinderbetreuungseinrichtung, Kindergärten, Kinderhorte, Kinderkrippe, Kindertagesstätten unterschieden. Für die Bewertung des gesamten Gebäudebestandes ist eine solch detaillierte Klassifizierung nicht erforderlich. Aus diesem Grund und zum Zwecke der Vergleichbarkeit mit der VDI 3807 [23] und BMVBS Nr.27/2013 [3] werden die Nutzungsarten, wie in Tabelle 2 dargestellt, eingeteilt.

Tabelle 2: Einteilung der Nutzungsklassen in den EIS-Daten

| Nr. | Nutzungsklasse                |
|-----|-------------------------------|
| 1   | Bildung                       |
| 1.1 | Schule                        |
| 1.2 | Kindergarten                  |
| 2   | Büro und Verwaltung           |
| 2.1 | Verwaltungs- Feuerwehrgebäude |
| 3   | Gewerbe und Industrie         |
| 3.1 | Lagergebäude                  |
| 3.2 | Werkstattgebäude              |
| 4   | Heilbehandlung                |
| 4.1 | Krankenhaus                   |
| 5   | Handel und Dienstleistung     |
| 5.1 | Allgemeine Verkaufsgebäude    |
| 6   | Sport                         |
| 6.1 | Sporthallen                   |
| 6.2 | Schwimmbhallen                |
| 7   | Kultur und Unterhaltung       |
| 7.1 | Bibliothek                    |
| 7.2 | Veranstaltungsgebäude         |
| 7.3 | Sakrales Gebäude              |
| 8   | Beherbergung und Gastronomie  |
| 8.1 | Beherbergung                  |
| 8.2 | Verpflegung                   |
| 9   | Wohnnutzung                   |
| 9.1 | Wohnheim                      |

#### 4.2.2 Statistische Analyse zur Ermittlung hoher Wärmeverbraucher

Es wird angenommen, dass die Wärmeverbrauchswerte in den EIS-Daten in jeder Nutzungsklasse (Tabelle 2) normalverteilt sind. Auf der Grundlage dieser Annahme können der Mittelwert und die Standardabweichung in jeder Nutzungsklasse bestimmt werden. Die extrem hohen Werte, die mehr als das Zehnfache der Standardabweichung betragen, wurden als unrealistisch betrachtet und für die weitere Analyse entfernt. Die gefilterten Daten können dann weiter analysiert werden, und die Verteilung der Daten kann mit einem Boxplot (Abbildung 5) visualisiert werden. Die Box ist durch die Werte des 25. und 75. Perzentils (Q1 und Q3) definiert, und dieser Bereich mit der Box ist der Interquartilsbereich (IQR). Das Ende der Whisker (verlängerte Linien von der Box) zeigt die "minimalen" und "maximalen" Werte in diesem Bereich an, die als  $Q1 - 1,5 \cdot IQR$  bzw.  $Q3 + 1,5 \cdot IQR$  definiert sind. Die Punkte, die außerhalb dieser Grenzen liegen, werden als Ausreißer betrachtet. Diese Ausreißer werden als große Energieverbraucher in den einzelnen Nutzungsklassen betrachtet.

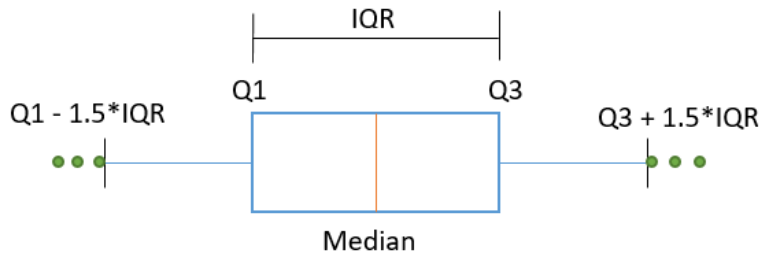


Abbildung 5 Illustration eines Boxplot

#### 4.2.3 Grafische Benutzeroberfläche: EIS-Daten

Die Grafische Benutzeroberfläche für die Analyse der EIS-Daten (Abbildung 6) ermöglicht es dem Benutzer:

- die CSV-Datei auszuwählen, die alle Eingabedaten enthält
- den Ordner zu bestimmen, in dem die Ergebnisse gespeichert werden sollen
- das Jahr der zu analysierenden Daten auswählen
- die zu analysierende Gebäude-Nutzungs-kategorie auszuwählen



Abbildung 6: Grafische Benutzeroberfläche für die Analyse der EIS-Daten

Wenn die Analyse abgeschlossen ist, wird eine Liste der Gebäude mit hohem Wärmeverbrauch für das gewählte Jahr und die gewählte Gebäudenutzung in eine Tabelle geschrieben. Ein Beispiel ist in Abbildung 7 dargestellt. Zusätzlich wird diese Tabelle in dem vom Benutzer angegebenen Ordner mit dem entsprechenden Jahr und der Gebäudenutzung gespeichert.

High Consumer Window

| Row | CAFM Identifikation | Strasse             | Hausnr | PLZ     | Ort     | Kennw. Wärme |
|-----|---------------------|---------------------|--------|---------|---------|--------------|
| 0   | nan                 | Muspillistr.        | 27     | 81925.0 | München | 270.8        |
| 1   | nan                 | In den Kirschen     | 30     | 80992.0 | München | 316.0        |
| 2   | 01091-GE008         | Corneliusstr.       | 17 a   | 80469.0 | München | 457.0        |
| 3   | 01091-GE007         | Corneliusstr.       | 17 a   | 80469.0 | München | 456.8        |
| 4   | 01066-GE004         | Quiddestr.          | 1      | 81735.0 | München | 327.3        |
| 5   | 01066-GE003         | Quiddestr.          | 3      | 81735.0 | München | 327.3        |
| 6   | 01009-GE003         | Reichenastr.        | 5      | 81243.0 | München | 287.3        |
| 7   | 01190-GE003         | Schleißheimer Str.  | 279    | 80809.0 | München | 318.2        |
| 8   | nan                 | Hermann-Gmeiner-Weg | 34     | 81929.0 | München | 254.2        |
| 9   | nan                 | Feldmochinger Str.  | 247    | 80995.0 | München | 292.4        |

Exit

Abbildung 7: Beispiel für die Ausgaben auf der grafischen Benutzeroberfläche nach der Analyse der EIS-Daten.

### 4.3 Option 2: Berechnung des Wärme- und Endenergiebedarfs, der CO<sub>2</sub>-Emissionen, der Sanierungskosten, und der Amortisationszeit

In diesem Abschnitt wird Option 2 des Tools beschrieben, nämlich die Berechnung des Wärmebedarfs, des Endenergiebedarfs, der CO<sub>2</sub>-Emissionen, der Sanierungskosten und der Amortisationszeit. Er ist wie folgt aufgebaut: Zunächst wird ein Überblick über die Eingangsdaten, nämlich die EPIQR-Daten, gegeben. Danach werden die verwendeten Berechnungsmethoden für Wärmebedarf, Endenergiebedarf, CO<sub>2</sub>-Emissionen, Sanierungskosten und Amortisationszeit beschrieben. Abschließend wird die grafische Benutzeroberfläche beschrieben.

#### 4.3.1 Eingangsdaten - EPIQR-Datensatz

Die Eingabedaten für die Ausführung des Programms zur Berechnung von Wärmebedarf, Endenergiebedarf, und CO<sub>2</sub>-Emissionen sind ebenfalls in eine CSV-Datei abgelegt, die jedoch die ausgewählten Daten aus dem EPIQR-Daten enthält. Die erforderlichen Mindesteingaben in dieser CSV-Datei sind unter den Spaltennamen unten aufgeführt:

- Gebäude-ID
- Adresse
- Ort

- PLZ
- Baujahr
- Gebäudeart
- Denkmalschutz
- Gebäudegrundfläche
- Gesamte Fassadenfläche
- Gesamte Fensterfläche
- Traufhöhe

Das gleiche Benennungsprinzip wie bei der CSV-Datei gilt auch hier. Diese Spaltennamen in der CSV-Datei werden nicht geändert. die Reihenfolge der Bezeichnungen spielt keine Rolle.

Zu den zusätzlichen Eingaben, die für die Option 2 erforderlich sind, gehören:

- CO<sub>2</sub>-Emissionsfaktoren für verschiedene Wärmeenergieträgern
- Sanierungskosten für jede Komponente der Gebäudehülle für Gebäude in verschiedenen Nutzungsklassen
- aktuelle Energiepreise für verschiedene Wärmeenergieträgern und potenzieller Anstieg in den nächsten 60 Jahren
- aktuelle CO<sub>2</sub>-Preise und potenzieller Anstieg für die nächsten 60 Jahre

Eine Reihe von Standardwerten für diese zusätzlichen Eingaben wurden bereits in das Tool implementiert. Diese Eingaben können jedoch von den Benutzern bei Bedarf geändert werden.

#### 4.3.2 Berechnung des Wärme- und Endenergiebedarfs

Der Wärmebedarf wurde nach der DIN\_V\_4108 Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs [8] berechnet. Dabei wurden die Standard-Heizgradtage, Sollwerte und Heizwerte in Deutschland verwendet.

Zur Ermittlung des Einsparpotenzials wird davon ausgegangen, dass bei allen Bestandsgebäuden die wärmeübertragenden Bauteile der Außenwand, der Fenster und des oberen Gebäudeabschlusses saniert werden. Eine energetische Sanierung des unteren Gebäudeabschlusses wird nicht berücksichtigt, da bei nicht unterkellerten Gebäuden im Gegensatz zu Gebäuden mit Keller, bei denen eine nachträgliche Dämmung der Kellerdecke möglich wäre, keine energetischen Sanierungsmaßnahmen zu erwarten sind. Da auch der Anteil der unterkellerten Gebäude nicht bekannt ist, bleibt der U-Wert für den unteren Gebäudeabschluss in der weiteren Analyse unverändert. Die U-Werte, g-Werte, Wärmebrückenzuschlag und Luftwechselrate für Berechnung des Jahresheizwärmeenergiebedarfs nach DIN\_V\_4108 sind in der Tabelle 3 aufgeführt.

Tabelle 3: U-Werte, g-Werte, Wärmebrückenzuschlag und Luftwechselrate für Berechnung des Jahresheizwärmeenergiebedarfs nach DIN\_V\_4108

|                                           | Bestand Baualtersklasse |                   |                   |             | Sanierung |
|-------------------------------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-------------|-----------|
|                                           | 1 (bis 1976)            | 2 (1977 bis 1983) | 3 (1984 bis 1994) | 4 (ab 1995) |           |
| U-Wert Wand (W/m <sup>2</sup> K)          | 1,43                    | 1,20              | 0,85              | 0,35        | 0,24      |
| U-Wert Dach (W/m <sup>2</sup> K)          | 0,72                    | 0,36              | 0,30              | 0,30        | 0,20      |
| U-Wert Boden (W/m <sup>2</sup> K)         | 1,20                    | 0,85              | 0,40              | 0,40        | gem. BAK  |
| U-Wert Fenster (W/m <sup>2</sup> K)       | 2,90                    | 2,90              | 1,90              | 1,30        | 1,30      |
| g-Wert Fenster                            | 0,76                    | 0,76              | 0,76              | 0,72        | 0,72      |
| Wärmebrückenzuschlag (W/m <sup>2</sup> K) | 0,10                    |                   |                   |             | 0,05      |
| Luftwechselrate (h <sup>-1</sup> )        | 0,70                    |                   |                   |             | 0,60      |

Zu den weiteren Eingaben, die für die Berechnung benötigt werden, gehören: die Gebäudegrundfläche, die Fassadenfläche, die Fensterfläche, und die Traufhöhe. Diese Werte sind in den EPIQR-Daten erfasst. Da die Dachfläche im Datensatz nicht erfasst ist, wird davon ausgegangen, dass die Dachfläche mit der Grundfläche des Gebäudes identisch ist. Aufgrund der Unkenntnis über die verbauten Heizungsanlagen, wurden für die Berechnung des Endenergiebedarfs die überwiegenden verwendeten Heizungsanlagen, wie sie im „Anlagenkennwertekatalog für Nichtwohngebäude“ der BBSR Veröffentlichung [24] (Nr. 05/2009) aufgeführt sind, angenommen.

Obwohl die Informationen zu den Energieträgern nicht im EPIQR-Daten erfasst sind, können die Wärmeenergieträger aus dem EIS-Daten abgerufen werden, indem die Gebäude ID in EPIQR-Daten mit der CAFM Identifikation in EIS-Daten abgeglichen wird.

#### 4.3.3 Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die äquivalenten CO<sub>2</sub>-Emissionen der Wärmeerzeuger nach VBS Nr. 27/2013 [3] sind in Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4: Auszug der Werte für Wärmeerzeugung nach BMVBS Nr. 27/2013 [3]

| Wärmeerzeugung         | CO <sub>2</sub> Äquivalent (g/kWh) |
|------------------------|------------------------------------|
| Gas                    | 285                                |
| Fernwärme              | 255                                |
| Fernwärme, Gas         | 270                                |
| Strom Speicher Heizung | 596                                |
| Strom Wärmepumpe       | 153                                |

#### 4.3.4 Berechnung der Sanierungskosten

In Tabelle 5 sind die für die Berechnung verwendeten Sanierungskosten nach BKI Baukosten Gebäude Altbau 2020 [25] aufgeführt.

Tabelle 5: Sanierungskosten €/m<sup>2</sup> nach BKI Baukosten Gebäude Altbau 2020 [25]

|           | Kindergarten | Schule | Wohnheim | Verwaltungsgebäude | Sporthalle |
|-----------|--------------|--------|----------|--------------------|------------|
| Außenwand | 210          | 210    | 132      | 263                | 141        |
| Fenster   | 653          | 731    | 602      | 630                | 630        |
| Dach      | 80           | 80     | 87       | 92                 | 99         |

Die Kosteneffizienz, die in der folgenden Gleichung definiert ist, wird verwendet, um die Gesamtkostenvorteile aller Sanierungsmaßnahmen, die an einem Gebäude durchgeführt werden könnten, zu bewerten.

$$\text{Kosteneffizienz} = \frac{\text{Wärmebedarfsreduzierung}}{\text{Sanierungskosten}}$$

#### 4.3.5 Berechnung der Amortisationszeit

Die Amortisationszeit ist definiert als die Anzahl der Jahre die erforderlich sind, damit die durch die Sanierung eines Gebäudes erzielten Kosteneinsparungen die ursprünglichen Sanierungskosten ausgleichen. Die durch die Sanierung erzielten Kosteneinsparungen setzen sich aus zwei Teilen zusammen, der Einsparung von Wärmeenergiekosten und der Einsparung von CO<sub>2</sub>-Kosten. Die Wärmeenergiekosteneinsparung pro Jahr ist definiert als:

$$\text{Wärmeenergiekosteneinsparung} = \text{Wärmeenergieeinsparung} \times \text{Energiekosten}$$

Die für die Berechnung verwendeten Energiepreis sind in Tabelle 6 aufgeführt.

Tabelle 6: Energiepreis für die Berechnung aus verschiedene Quellen

| Energiepreis         | Jahr | Wert  | Einheit    | Quelle |
|----------------------|------|-------|------------|--------|
| Strom                | 2021 | 36,19 | [Cent/kWh] | [26]   |
| Gas                  | 2021 | 11,84 | [Cent/kWh] | [27]   |
| Fernwärme            | 2021 | 8     | [Cent/kWh] | [28]   |
| Jährliche Steigerung |      | 5,5   | [%]        | [29]   |

Und die CO<sub>2</sub>-Kosteneinsparung ist definiert als:

$$\text{CO}_2\text{Kosteneinsparung} = \text{CO}_2\text{Einsparung} \times \text{CO}_2\text{Kosten}$$

Der für die Berechnung verwendete CO<sub>2</sub>-Preis stammt aus dem Projektionsbericht 2021 für Deutschland [26]. Die Preise für die Jahre 2021 bis 2027 sind in Tabelle 7 aufgeführt. In dieser Projektion wird davon ausgegangen, dass der Preis ab 2027 um 15 €/ton pro Jahr steigt.

Tabelle 7 CO<sub>2</sub>-Preise für die Jahre 2021 bis 2027 [26]

| Jahr | CO <sub>2</sub> -Preis [€/t] |
|------|------------------------------|
| 2021 | 25                           |
| 2022 | 30                           |
| 2023 | 35                           |
| 2024 | 45                           |
| 2025 | 55                           |
| 2026 | 65                           |
| 2027 | 80                           |

#### 4.3.6 Grafische Benutzeroberfläche: EPIQR-Daten

Die grafische Benutzeroberfläche (Abbildung 8) ermöglicht dem Benutzer:

- die Auswahl der CSV-Datei, die die Eingabedaten enthält
- den Ordner auszuwählen, in dem die Ergebnisse gespeichert werden sollen
- die Auswahl der Art der durchzuführenden Bewertungen
- die Auswahl der Arten von Ausgaben, die verarbeitet und im Ordner gespeichert werden sollen



Abbildung 8: grafische Benutzeroberfläche für die Analyse der EPIQR-Daten

Abbildungen 9 und 10 zeigen ein Beispiel für die grafischen Ausgaben und die Tabellenausgaben für die Auswertung der EPIQR-Daten in der GUI.

EPIQR Evaluation

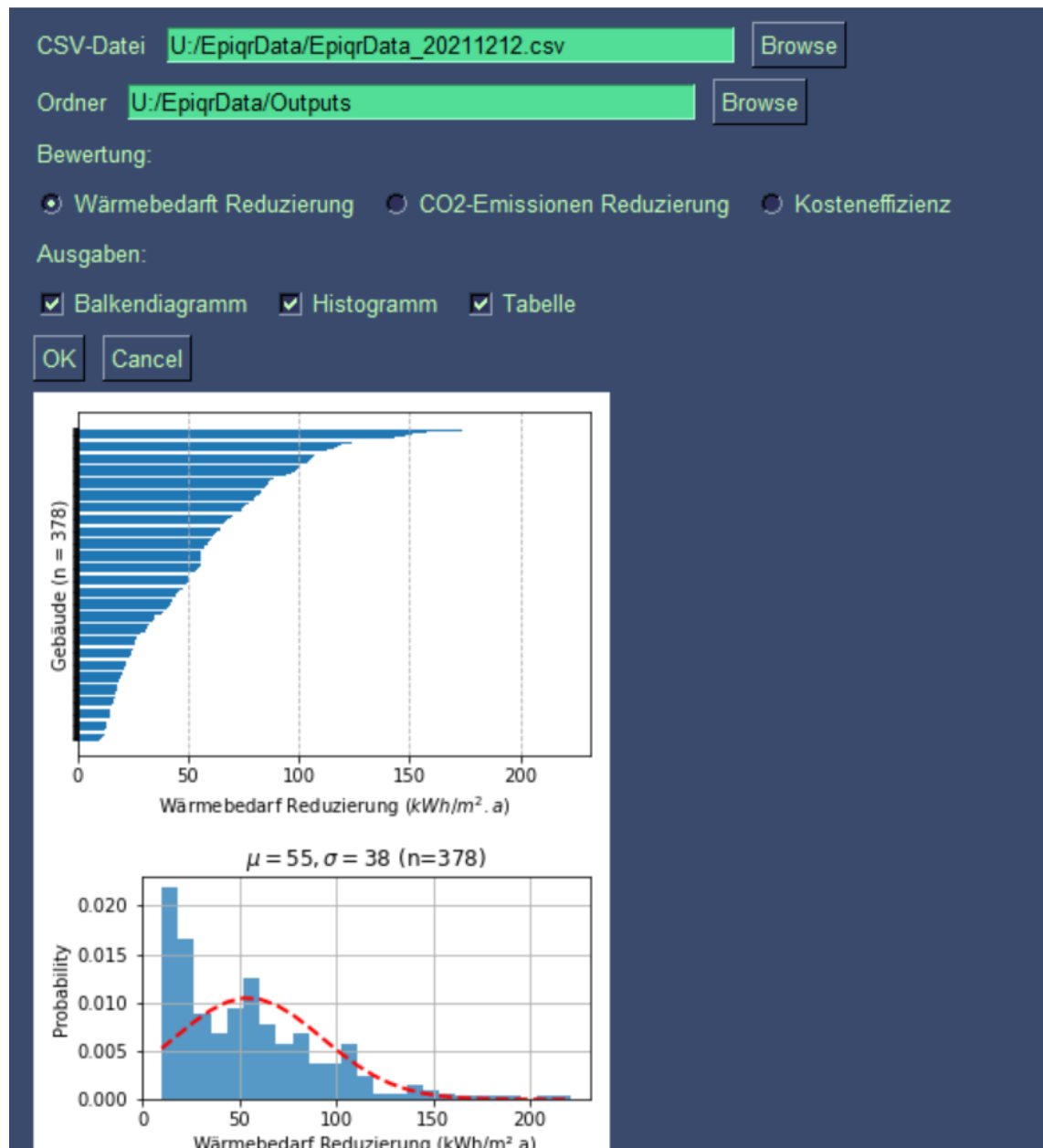


Abbildung 9: Beispiel für die grafischen Ausgaben bei der Auswertung der EPIQR-Daten in der grafischen Benutzeroberfläche

Top 10 Window

| Row | Gebäude-ID  | BAK | NAK           | Beheizte Fläche | Wärmebedarf E | Wärmebedarf n | Wärmebedarf R |
|-----|-------------|-----|---------------|-----------------|---------------|---------------|---------------|
| 0   | 00608-GE001 | 1   | Veranstaltung | 80.64           | 359.58716593  | 138.76242348  | 220.82474245  |
| 1   | 01066-GE004 | 1   | Kindergarten  | 110.4           | 321.51120336  | 110.52151717  | 210.98968619  |
| 2   | 00161-GE001 | 1   | Verwaltung    | 1973.76         | 261.06396519  | 69.259283756  | 191.80468144  |
| 3   | 00773-GE004 | 1   | 0             | 110.4           | 282.41436125  | 103.14341445  | 179.27094679  |
| 4   | 00919-GE002 | 1   | 0             | 133.44          | 277.09521556  | 103.33833829  | 173.75687727  |
| 5   | 00609-GE001 | 1   | Veranstaltung | 172.8           | 263.46651229  | 99.272907361  | 164.19360493  |
| 6   | 01026-GE005 | 1   | Kindergarten  | 274.56          | 255.98824072  | 98.521533575  | 157.46670715  |
| 7   | 00492-GE001 | 1   | 0             | 166.4           | 230.61291082  | 77.169624014  | 153.44328681  |
| 8   | 00551-GE001 | 1   | Veranstaltung | 149.76          | 248.86554514  | 97.301799455  | 151.56374568  |
| 9   | 00416-GE001 | 1   | 0             | 161.28          | 219.23357218  | 70.712792529  | 148.52077965  |

Exit

Abbildung 10: Beispiel für die Tabellenausgabe bei der Auswertung der EPIQR-Daten in der grafischen Benutzeroberfläche

#### 4.4 Visualisierung der Ergebnisse in Geografische Informationssystem

Das Tool bietet eine zusätzliche Möglichkeit, die Ergebnisse in einer Karte zu visualisieren, und zwar durch die Verwendung einer freien und quelloffenen plattformübergreifenden Anwendung für geografische Informationssysteme, nämlich QGIS. Dazu werden die Adressen der einzelnen Gebäude in der Ausgabeliste in Längen- und Breitengrade umgewandelt und dann die Standorte und relevanten Attribute der Gebäude, z. B. der Wärmeverbrauch, in eine Shape-Datei geschrieben, bei der es sich um ein raumbezogenes Vektordatenformat für geografische Informationssystem-Software handelt. Diese Shape-Datei kann dann in QGIS gerendert werden, so dass der Benutzer alle Gebäude in einer Karte visualisieren kann. Abbildung 11 zeigt ein Beispiel dafür.

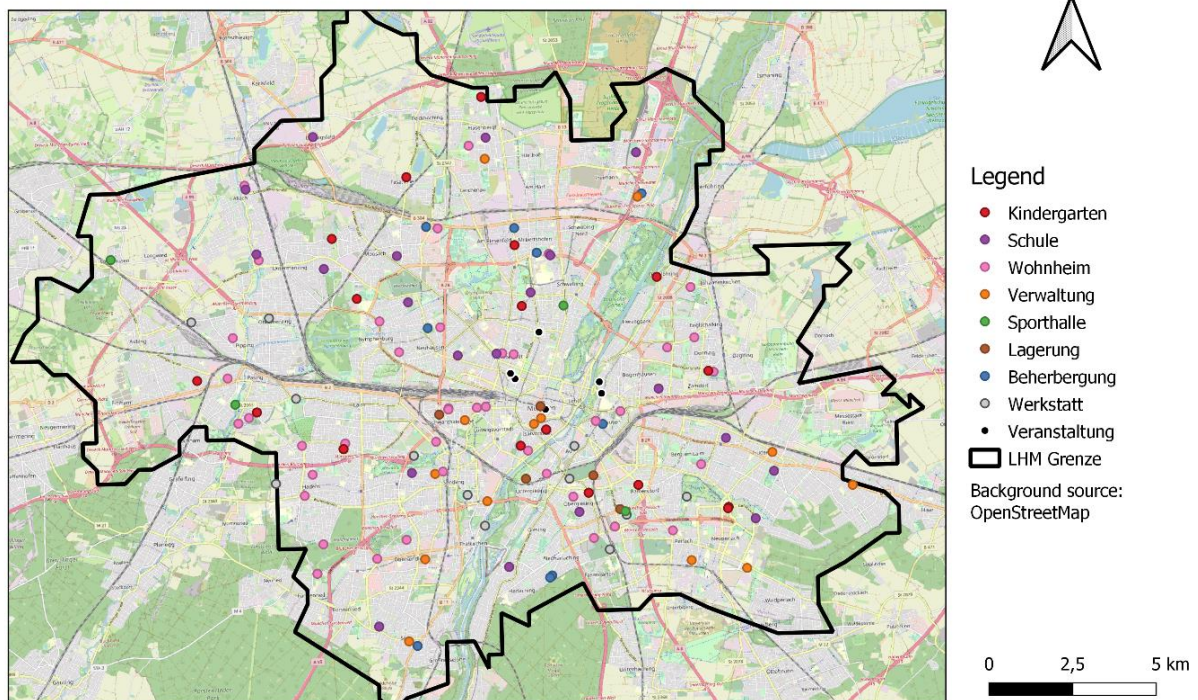


Abbildung 11: Ein Beispiel für die Visualisierung der Gebäude in den Ergebnislisten in der QGIS-Software

## 5 Ergebnisse der Analyse der EIS-Daten

In diesem Abschnitt werden die Ergebnisse der Analyse der EIS-Daten beschrieben. Er ist so aufgebaut, dass zunächst ein Überblick über die wichtigsten Merkmale dieses Datensatzes gegeben wird, gefolgt von einem Vergleich der Verbrauchsdaten in den EIS-Daten von Gebäuden in neun ausgewählten Nutzungsklassen mit den referenzierten Wärmeverbrauchsdaten aus der Literatur. Abschließend werden die Gebäude mit hohem Wärmeverbrauch in jeder der neun ausgewählten Nutzungsklassen vorgestellt.

### 5.1 Überblick der EIS-Daten

Die Gesamtzahl der in den EIS-Daten erfassten Gebäude schwankt leicht von Jahr zu Jahr und liegt im Durchschnitt bei etwa 3500 Gebäuden (Abbildung 12).

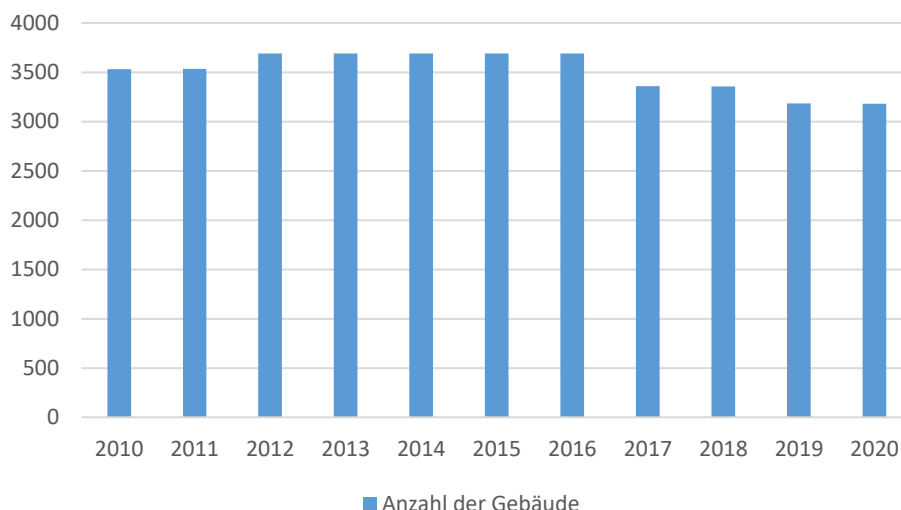


Abbildung 12: Die Gesamtzahl der in den EIS-Daten erfassten Gebäude von 2010 bis 2020

Das Jahr 2016 mit der höchsten Anzahl (3690) von Gebäuden wurde ausgewählt, um die Verteilung der Nutzungsart und Baualtersklasse zu analysieren. Von den 3960 Gebäuden ist bei etwa der Hälfte (1554) das Baujahr bekannt. Von diesen 1554 Gebäuden sind die Hälfte in BAK 1 (bis 1976), 30 % in BAK 4 (ab 1995), ca. 12 % in BAK 3 (von 1984 bis 1994) und der Rest von weniger als 8 % in BAK 2 (von 1977 bis 1983) gebaut worden (Abbildung 13).

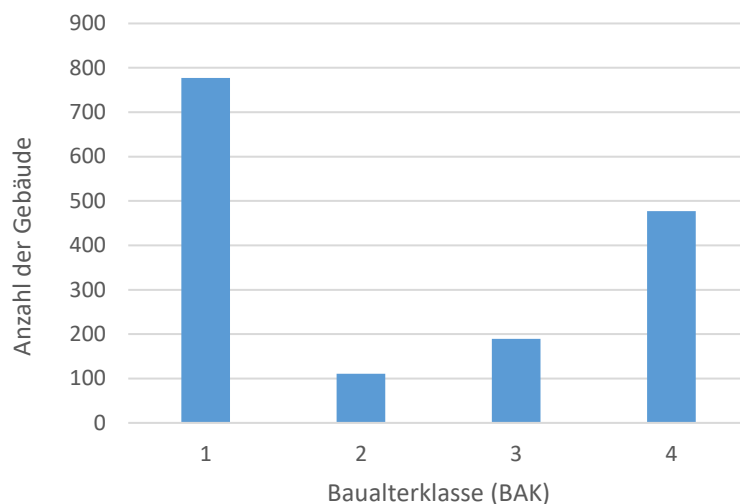


Abbildung 13: Die Anzahl der Gebäude nach Baualtersklassen in den EIS-Daten

Der Anteil der Hauptgruppe Bildung beträgt in den EIS-Daten ca. 45 %. Die zweitstärkste Hauptgruppe ist Wohnnutzung mit ca. 12 %, gefolgt von den „Büro und Verwaltung“ Gruppen mit ca. 6 %. Die weiteren Hauptgruppen „Sport“ und „Gewerbe und Industrie“ liegen bei ca. 5 %, während die anderen Gruppen weniger als 3 % ausmachen (Tabelle 8). Etwa 20 % der Gebäude können nicht kategorisiert werden. Einige sind zu spezifisch und bei anderen ist die Nutzungsart nicht im Datensatz erfasst.

Tabelle 8: Anzahl der Gebäude nach Nutzungsklassen in den EIS-Daten

| Nr.      | Nutzungsklasse                   | Anzahl (Gebäude) |              |
|----------|----------------------------------|------------------|--------------|
|          |                                  | [-]              | [%]          |
| <b>1</b> | <b>Bildung</b>                   | <b>1659</b>      | <b>44,96</b> |
| 1.1      | Schule                           | 699              | 18,94        |
| 1.2      | Kindergarten                     | 960              | 26,02        |
| <b>2</b> | <b>Büro und Verwaltung</b>       | <b>236</b>       | <b>6,40</b>  |
| 2.1      | Verwaltungs- Feuerwehrgebäude    | 236              | 6,40         |
| <b>3</b> | <b>Gewerbe und Industrie</b>     | <b>178</b>       | <b>4,82</b>  |
| 3.1      | Lagergebäude                     | 94               | 2,55         |
| 3.2      | Werkstattgebäude                 | 84               | 2,28         |
| <b>4</b> | <b>Heilbehandlung</b>            | <b>5</b>         | <b>0,14</b>  |
| 4.1      | Krankenhaus                      | 5                | 0,14         |
| <b>5</b> | <b>Handel und Dienstleistung</b> | <b>9</b>         | <b>0,24</b>  |
| 5.1      | Allgemeine Verkaufsgebäude       | 9                | 0,24         |
| <b>6</b> | <b>Sport</b>                     | <b>185</b>       | <b>5,01</b>  |
| 6.1      | Sporthalle                       | 170              | 4,61         |
| 6.2      | Schwimmhalle                     | 15               | 0,41         |
| <b>7</b> | <b>Kultur und Unterhaltung</b>   | <b>102</b>       | <b>2,76</b>  |
| 7.1      | Bibliothek                       | 13               | 0,35         |
| 7.2      | Veranstaltungsgebäude            | 71               | 1,92         |
| 7.3      | Sakrales Gebäude                 | 18               | 0,49         |

| Nr.          | Nutzungsklasse                      | Anzahl (Gebäude) |               |
|--------------|-------------------------------------|------------------|---------------|
|              |                                     | [-]              | [%]           |
| <b>8</b>     | <b>Beherbergung und Gastronomie</b> | <b>122</b>       | <b>3,31</b>   |
| 8.1          | Beherbergung                        | 91               | 2,47          |
| 8.2          | Verpflegung                         | 31               | 0,84          |
| <b>9</b>     | <b>Wohnnutzung</b>                  | <b>458</b>       | <b>12,41</b>  |
| 9.1          | Wohnheim                            | 458              | 12,41         |
| <b>10</b>    | <b>Nicht kategorisiert</b>          | <b>736</b>       | <b>19,95</b>  |
| <b>Summe</b> |                                     | <b>3690</b>      | <b>100,00</b> |

Für die weitere Analyse des Wärmebedarfs wurden neun Nutzungsgruppen ausgewählt, die jeweils 2 % oder mehr der Gebäude im EIS-Daten ausmachen, und zusammen beitragen diese neun Gruppen 77,6 % der Gebäude (Tabelle 9).

Tabelle 9: Ausgewählte Nutzungsklassen und die Anzahl der Gebäude in den EIS-Daten

| Ausgewählte Nutzungsklasse    | Anzahl [-]  | Anteil [%]   |
|-------------------------------|-------------|--------------|
| Kindergarten                  | 960         | 26,02        |
| Schule                        | 699         | 18,94        |
| Wohnheim                      | 458         | 12,41        |
| Verwaltungs- Feuerwehrgebäude | 236         | 6,40         |
| Sporthallen                   | 170         | 4,61         |
| Lagergebäude                  | 94          | 2,55         |
| Beherbergung                  | 91          | 2,47         |
| Werkstattgebäude              | 84          | 2,28         |
| Veranstaltungsgebäude         | 71          | 1,92         |
| <b>Summe</b>                  | <b>2863</b> | <b>77,59</b> |

## 5.2 Wärmeverbrauch von Gebäuden in EIS-Daten

Abbildung 14 zeigt den durchschnittlichen Wärmeverbrauch von Gebäuden in neun ausgewählten Nutzungsgruppen im Jahr 2016, verglichen mit den Referenz- und Durchschnittswerten der VDI 3807 [9]. Grob gesagt können die Ergebnisse in vier Merkmale beobachtet werden. Das erste Merkmal ist für die Gebäude in den Gruppen Kindergarten und Lagerung, die durchschnittlichen Wärmeverbräuche liegen sehr nah an den Referenzwerten der VDI 3807. Das zweite Merkmal betrifft die Gebäude der Gruppen Schule, Verwaltung und Werkstatt, bei denen die durchschnittlichen Wärmeverbräuche leicht über den Referenzwerten der VDI 3807 liegen. Die durchschnittlichen Wärmeverbräuche der Gruppen Sporthalle und Veranstaltung sind deutlich höher als die Referenzwerte der VDI 3807, aber immer noch niedriger als die Durchschnittswerte der VDI 3807, während in den Gruppen Wohnheim und Beherbergung die durchschnittlichen Verbräuche deutlich unter den Referenzwerten liegen.

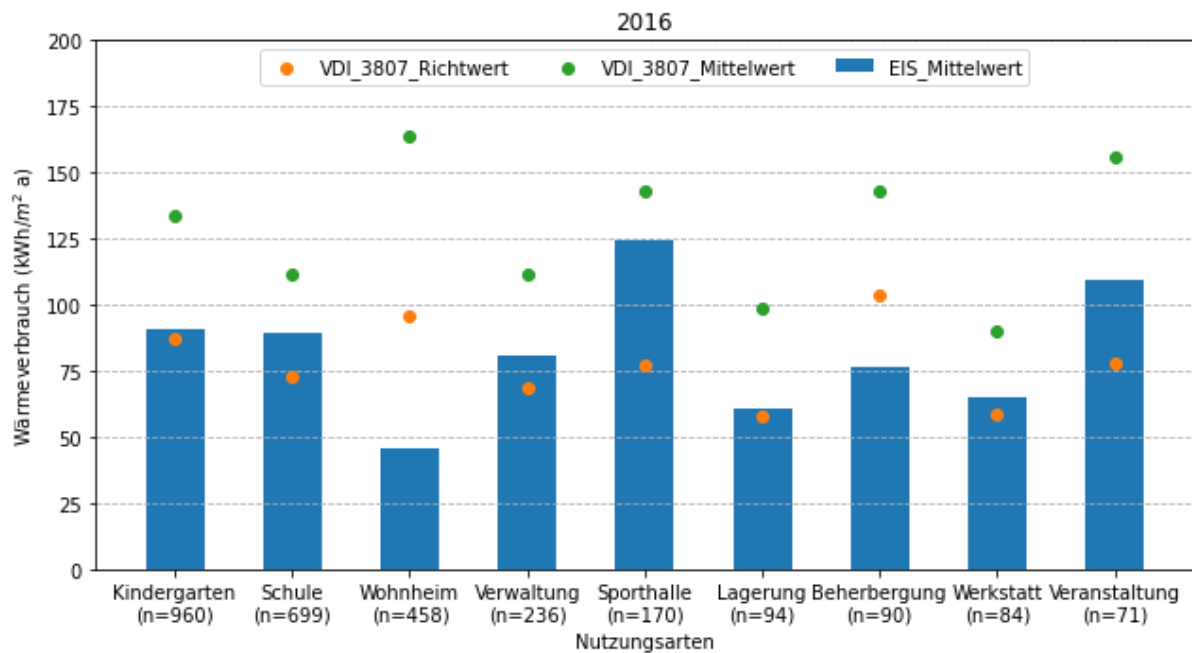


Abbildung 14: Durchschnittlicher Wärmeverbrauch von Gebäuden in 9 ausgewählten Nutzungsklassen im Jahr 2016, verglichen mit den VDI-Referenz- und Durchschnittswerten

Die Verteilungen der Wärmeverbrauchsdaten der neun ausgewählten Nutzungsgruppen können durch die Boxplots (Abbildung 15) dargestellt werden. Die orangefarbene Linie zeigt den Median und das grüne Dreieck den Durchschnitt des Energieverbrauchs der Gebäude in jeder Nutzungsklasse.

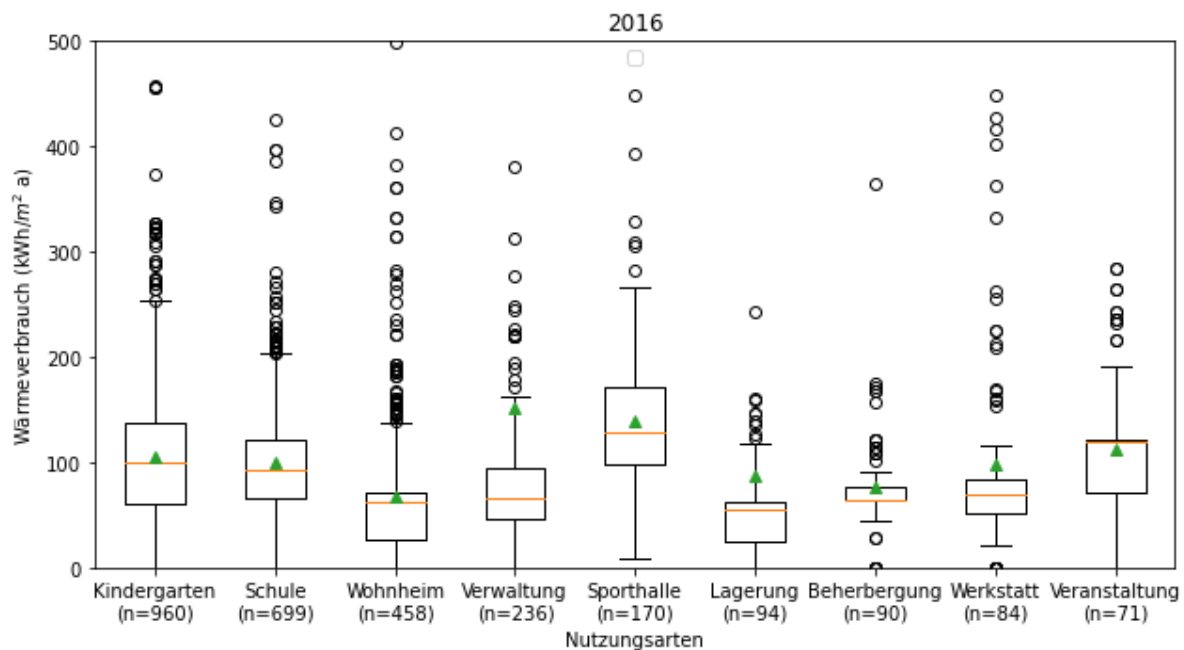


Abbildung 15: Boxplots der Energieverbrauchsdaten von 9 ausgewählten Nutzungsklassen im Jahr 2016

Die Box ist durch die Werte des 25. und 75. Perzentils (Q1 und Q3) definiert, der Bereich mit der Box ist der Interquartilsbereich (IQR). Das Ende der Whisker (verlängerte Linien von der Box) zeigt die "minimalen" und "maximalen" Werte in diesem Bereich an, die als  $Q1 - 1,5 \cdot IQR$  bzw.  $Q3 + 1,5 \cdot IQR$  definiert sind. Die Punkte, die außerhalb dieser Grenzen liegen, werden als Ausreißer betrachtet. Wie in Abbildung 15 zu sehen ist, sind viele der Wärmeverbrauchswerte der Gebäude Ausreißer. Diese Ausreißer werden als großer Energieverbraucher in den einzelnen Nutzungsklasse betrachtet.

### 5.3 Hohe Wärmeverbraucher in den EIS-Daten

Die Benchmark-Werte, die zur Einstufung von Gebäuden als hohe Wärmeverbraucher in verschiedenen Nutzungsklassen verwendet wurden, sind in Tabelle 10 aufgeführt. Auf der Grundlage dieser Werte konnten von den 2863 analysierten Gebäuden etwa 5 % der Gebäude als hohe Wärmeverbraucher eingestuft werden. Der Prozentsatz der hohen Wärmeverbraucher in den einzelnen Gebäudenutzungsklassen schwankt zwischen etwa 2 % und 15 % und hängt weitgehend von der Verteilung der Wärmeverbrauchsdaten aller Gebäude in jeder Gebäudenutzungsklasse ab.

Tabelle 10: Benchmark-Werte für hohe Wärmeverbraucher im Jahr 2016

| Ausgewählte Nutzungsklasse    | Anzahl der Gebäude | Benchmark-Wert (kWh/m <sup>2</sup> a) | Große Verbraucher |            |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------------------|-------------------|------------|
|                               |                    |                                       | Anzahl            | Anteil [%] |
| Kindergarten                  | 960                | 254                                   | 18                | 1,88       |
| Schule                        | 699                | 204                                   | 21                | 3,00       |
| Wohnheim                      | 458                | 138                                   | 44                | 9,61       |
| Verwaltungs- Feuerwehrgebäude | 236                | 168                                   | 14                | 5,93       |
| Sporthallen                   | 170                | 282                                   | 6                 | 3,53       |
| Lagergebäude                  | 94                 | 122                                   | 7                 | 7,45       |
| Beherbergung                  | 91                 | 97                                    | 12                | 13,19      |
| Werkstattgebäude              | 84                 | 131                                   | 13                | 15,48      |
| Veranstaltungsgebäude         | 71                 | 195                                   | 9                 | 12,68      |
| Summe                         | 2863               |                                       | 144               | 5,03       |

Abbildung 16 zeigt die als hohe Wärmeverbraucher identifizierten Gebäude für verschiedene Gebäudenutzungsklassen in einer Karte im geografischen Informationssystem QGIS. Jeder Punkt auf der Karte steht für ein Gebäude. Es wurden unterschiedliche Farben verwendet, um die Gebäude in den verschiedenen Nutzungsklassen zu unterscheiden.

Abbildung 17 zeigt einen vergrößerten Ausschnitt der Karte. Der rote Pfeil zeigt das ausgewählte Gebäude, in diesem Fall ein Kindergarten. Die Informationen des Kindergartens werden auf der rechten Seite der Karte angezeigt, einschließlich der Wärmeverbrauchsdaten (Kennw\_ Wärme), die durch die rote Box gekennzeichnet ist.

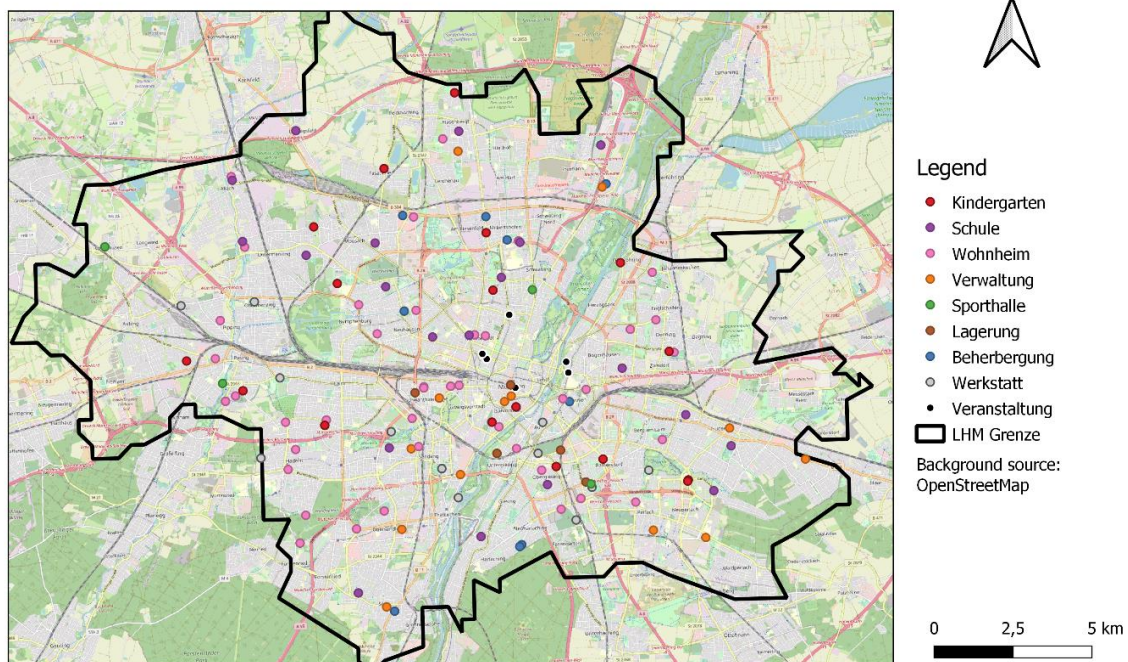


Abbildung 16: Gebäude, die als hohe Wärmeverbraucher identifiziert in 9 ausgewählten Nutzungsklassen

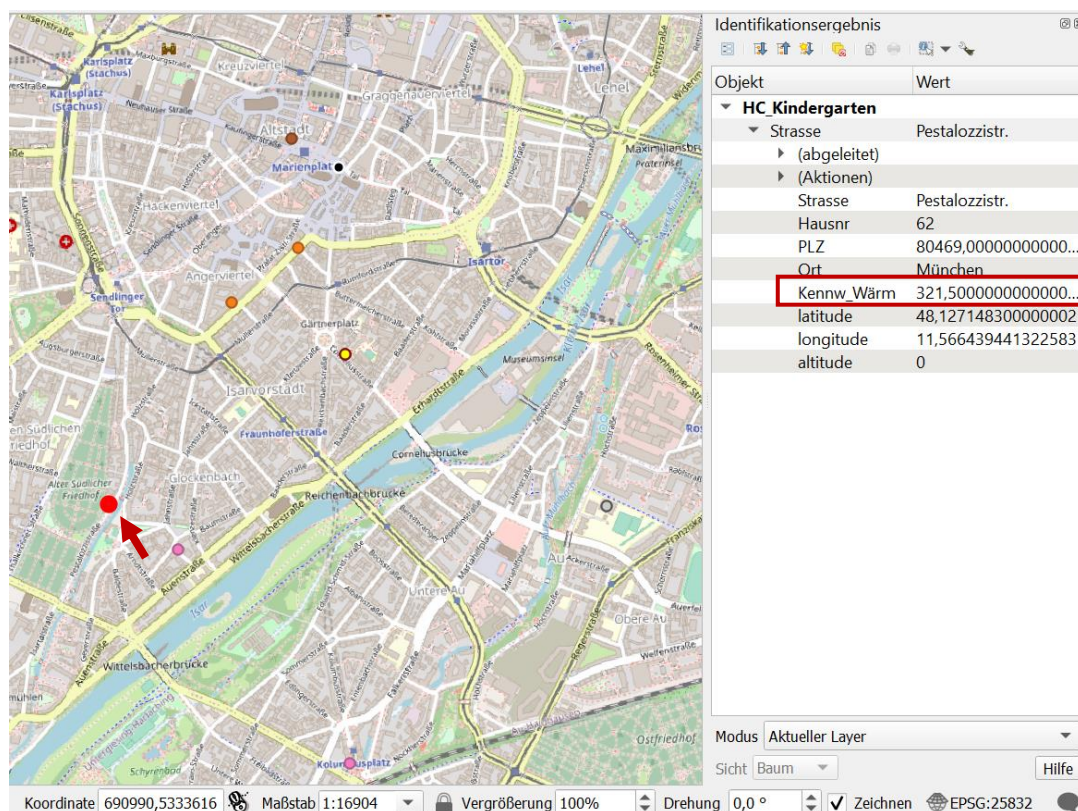


Abbildung 17: vergrößerter Ausschnitt aus der QGIS-Karte, der ein ausgewähltes Gebäude mit relevanten Informationen zeigt

## 6 Ergebnisse der Berechnung der EPIQR-Daten

Dieser Abschnitt ist wie folgt aufgebaut: Zunächst wird eine allgemeine Beschreibung aller Gebäude in den EPIQR-Daten gegeben, gefolgt von den Ergebnissen der Berechnung des Wärmebedarfs vor und nach der Sanierung, der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung nach der Sanierung, der Kosteneffizienz der Sanierungsmaßnahmen und ihrer Amortisationszeit.

### 6.1 Beschreibung der EPIQR-Daten

Von den 434 Gebäuden in den EPIQR-Daten stehen 55 Gebäude unter Denkmalschutz. Es gibt auch ein Gebäude, zu dem keine vollständigen Informationen über die Gebäudefassade vorliegen. Folglich werden in dieser Studie nur 378 Gebäude berücksichtigt. Die Anzahl und der Anteil der Gebäude hinsichtlich der verschiedenen Nutzungsklassen sind in Tabelle 11 dargestellt. Ähnlich wie bei den EIS-Daten sind die drei Hauptnutzungsklassen Kindergarten, Schule und Wohnheim. Insgesamt gibt es 252 Gebäude in diesen drei Klassen, was etwa 66,5 % aller Gebäude in den in dieser Studie berücksichtigten EPIQR-Daten ausmacht. Das Veranstaltungsgebäude hingegen ist in den EPIQR Daten wesentlich stärker vertreten (10 %) als in den EIS-Daten (2 %).

Tabelle 11: Die Anzahl und der Anteil der Gebäude in verschiedenen Nutzungsklassen in den EPIQR-Daten

| Nutzungsklasse                | Anzahl [-] | Anteil [%]   |
|-------------------------------|------------|--------------|
| Kindergarten                  | 88         | 23,3         |
| Schule                        | 86         | 22,8         |
| Wohnheim                      | 78         | 20,6         |
| Verwaltungs- Feuerwehrgebäude | 22         | 5,8          |
| Sporthalle                    | 29         | 7,7          |
| Schwimmhalle                  | 2          | 0,5          |
| Lagergebäude                  | 5          | 1,3          |
| Werkstattgebäude              | 8          | 2,1          |
| Veranstaltungsgebäude         | 39         | 10,3         |
| Bibliothek                    | 8          | 2,1          |
| Verpflegung                   | 3          | 0,8          |
| Beherbergung                  | 1          | 0,3          |
| Unspezifiziert                | 9          | 2,4          |
| <b>Summe</b>                  | <b>378</b> | <b>100,0</b> |

Die Anzahl und der Anteil der Gebäude in den einzelnen Baualtersklassen sind in Abbildung 18 dargestellt. Die Verteilung aller Gebäude in den EPIQR-Daten ist ähnlich wie in den EIS-Daten, wo die meisten Gebäude der Baualtersklasse 1 angehörten (35 %), gefolgt von der Klasse 4 mit 32 %. Etwa 15 % der Gebäude befinden sich in Klasse 3 und nur etwa 5 % in Klasse 2. Bei etwa 13 % der Gebäude liegen jedoch keine Informationen über das Baujahr vor, so dass sie nicht den Baualtersklassen zugeordnet werden konnten.

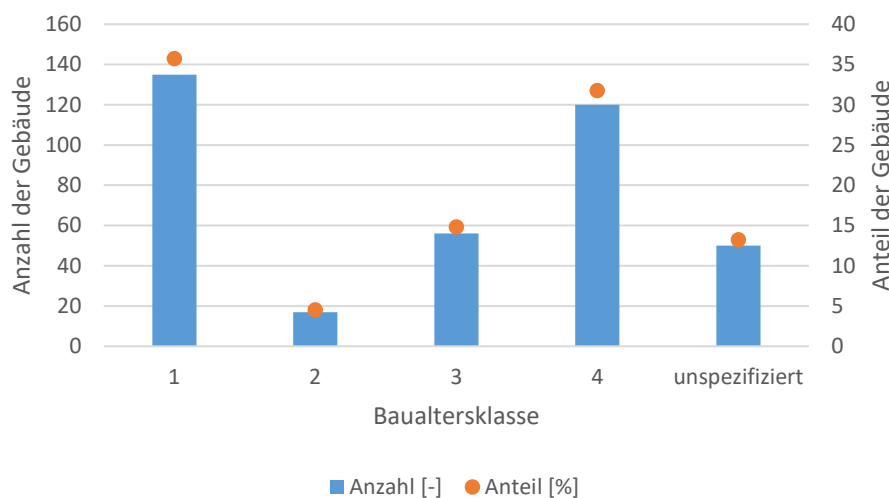


Abbildung 18: Die Anzahl und der Anteil der Gebäude in jeder Baualtersklasse

Von den 378 Gebäuden in den EPIQR-Daten gibt es 291 Gebäude mit Informationen über den Energieträger. Die Anzahl der Gebäude mit jedem Energieträger ist in Tabelle 12 aufgeführt. Die Mehrheit der Gebäude wird mit Fernwärme und Gas beheizt (91 %). Die Anzahl der Gebäude mit Fernwärme ist etwa gleich hoch wie die Anzahl der Gebäude, die mit Gas beheizt werden. Es gibt einige wenige Gebäude, die sowohl mit Fernwärme als auch mit Gas beheizt werden. Nur sehr wenige Gebäude verfügen über Stromspeicherheizungen, Strom-Wärmepumpe und Flüssiggas.

Tabelle 12: Die Anzahl der Gebäude nach Energieträger in den EPIQR-Daten

| Energieträger           | Anzahl     |
|-------------------------|------------|
| Fernwärme               | 134        |
| Gas                     | 131        |
| Fernwärme, Gas          | 17         |
| Strom Speicherheizungen | 7          |
| Strom Wärmepumpe        | 1          |
| Flüssiggas              | 1          |
| <b>Summe</b>            | <b>291</b> |

## 6.2 Wärmebedarf Bestand

Für eine konservative Abschätzung wurde die Gebäude mit nicht spezifizierter Baualtersklasse in die BAK 3 eingestuft. Die berechneten Wärmebedarfe von 378 Gebäuden nach dem Berechnungsverfahren DIN\_V\_4108, sortiert vom höchsten zum niedrigsten, sind in Abbildung 19 dargestellt. Weniger als 2 % (7) der Gebäude haben einen Wärmebedarf von mehr als 250 kWh/m<sup>2</sup>a, weniger als 6 % (22) haben einen Wärmebedarf von mehr als 200 kWh/m<sup>2</sup>a. Etwa 18 % (69) haben einen Wärmebedarf von mehr als 150 kWh/m<sup>2</sup>a und etwa 47 % (177) haben einen Wärmebedarf von mehr als 100 kWh/m<sup>2</sup>a.

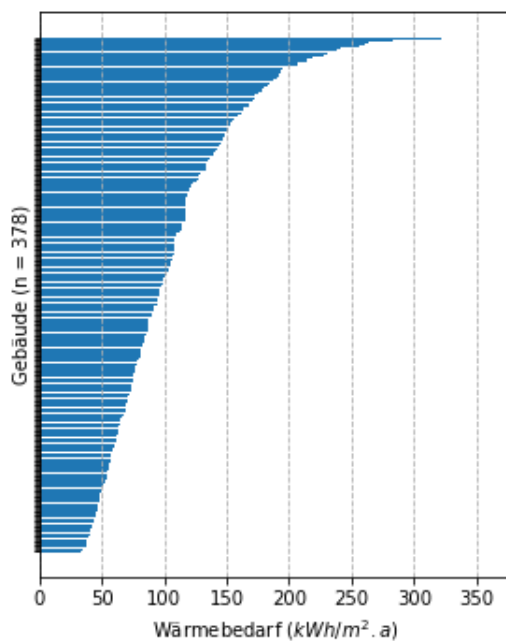


Abbildung 19: Wärmebedarf von 378 Gebäuden in den EPIQR-Daten

Die Verteilung des berechneten Wärmebedarfes ist in Abbildung 20 dargestellt. Die blauen Balken geben die Wahrscheinlichkeit an, dass die Gebäude innerhalb eines auf der x-Achse verschobenen Wärmebedarfsbereichs liegen. Die rote gepunktete Linie ist eine angepasste „Best-Fit-Linie“ einer Normalverteilung des Wärmebedarfs aller Gebäude. Der mittlere Wärmebedarf ( $\mu$ ) aller Gebäude liegt bei 106 kWh/m<sup>2</sup>a und die Standardabweichung ( $\sigma$ ) bei 54 kWh/m<sup>2</sup>a. Der Bereich von Gebäuden mit hohem Wärmebedarf ist leicht zu erkennen.

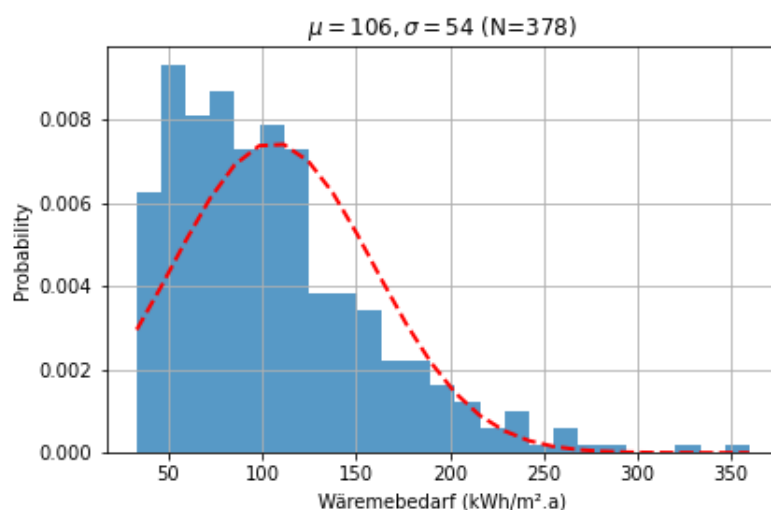


Abbildung 20: Histogramm des berechneten Wärmebedarfs von 378 Gebäuden in EPIQR-Daten

In Tabelle 13 sind die zehn Gebäude mit dem höchsten Wärmebedarf unter den 378 Gebäuden in den EPIQR-Daten aufgeführt.

Tabelle 13: Top 10 Gebäude mit dem höchsten Wärmebedarf in den EPIQR-Daten

| Gebäude-ID  | BAK | Nutzungsklasse | Beheizte Fläche (m <sup>2</sup> ) | Wärmebedarf per m <sup>2</sup> (kWh/m <sup>2</sup> . a) | Wärmebedarf insgesamt (kWh/a) |
|-------------|-----|----------------|-----------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------|
| 00608-GE001 | 1   | Veranstaltung  | 81                                | 360                                                     | 28.997                        |
| 01066-GE004 | 1   | Kindergarten   | 110                               | 322                                                     | 35.495                        |
| 00773-GE004 | 1   | Wohnheim       | 110                               | 282                                                     | 31.179                        |
| 00919-GE002 | 1   | Unspezifiziert | 133                               | 277                                                     | 36.976                        |
| 00609-GE001 | 1   | Veranstaltung  | 173                               | 263                                                     | 45.527                        |
| 00161-GE001 | 1   | Verwaltung     | 1.974                             | 261                                                     | 515.278                       |
| 01026-GE005 | 1   | Kindergarten   | 275                               | 256                                                     | 70.284                        |
| 00551-GE001 | 1   | Veranstaltung  | 150                               | 249                                                     | 37.270                        |
| 00926-GE001 | 3   | Wohnheim       | 99                                | 241                                                     | 23.829                        |
| 01025-GE007 | 1   | Wohnheim       | 106                               | 239                                                     | 25.217                        |

Es überrascht nicht, dass 9 von 10 Top-Gebäuden mit dem höchsten Wärmebedarf im BAK 1 liegen, was auf die hohen U-Werte der Gebäudehüllen im BAK 1 zurückzuführen ist. Die Nutzungsklasse der Gebäude sind dagegen breiter gestreut und umfassen Veranstaltungsgebäude, Kindergarten, Wohnheim, und Verwaltungsgebäude. Die beheizten Flächen der Gebäude sind ebenfalls sehr unterschiedlich und reichen von etwa 80 m<sup>2</sup> bis fast 2.000 m<sup>2</sup>.

### 6.3 Wärmebedarfsreduzierung nach Sanierung

Ähnlich wie in Abbildung 19 sind in Abbildung 21 die Reduzierungen des Wärmebedarfs aller Gebäude nach der Sanierung, sortiert vom höchsten zum niedrigsten Wert, dargestellt. Etwa die Hälfte der Gebäude (200) hat eine Wärmebedarfsreduzierung von weniger als 50 kWh/m<sup>2</sup>a, und etwa ein Drittel der Gebäude (129) hat eine Wärmebedarfsreduzierung von mehr als 50 kWh/m<sup>2</sup>a, aber weniger als 100 kWh/m<sup>2</sup>a. Etwa ein Zehntel (40) hat eine Reduzierung von mehr als 100 kWh/m<sup>2</sup>a, aber weniger als 150 kWh/m<sup>2</sup>a, und nur etwa 2 % (9) hat eine Reduzierung von mehr als 150 kWh/m<sup>2</sup>a.

Ähnlich wie in Abbildung 20 ist in Abbildung 22 die Verteilung der Wärmebedarfsreduzierung aller Gebäude dargestellt. Der Mittelwert liegt bei 55 kWh/m<sup>2</sup>a mit einer Standardabweichung von 38 kWh/m<sup>2</sup>a. Die Gebäude mit hohen Wärmebedarfsreduzierungen lassen sich leicht am oberen Ende der Verteilung erkennen.

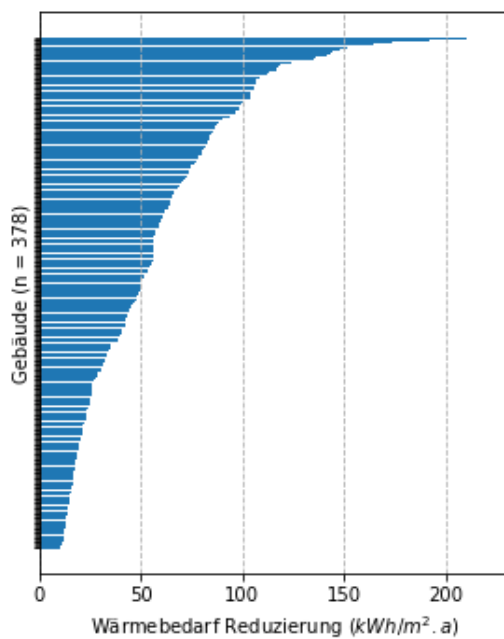


Abbildung 21: Wärmebedarfsreduzierung für 378 Gebäude in den EPIQR-Daten

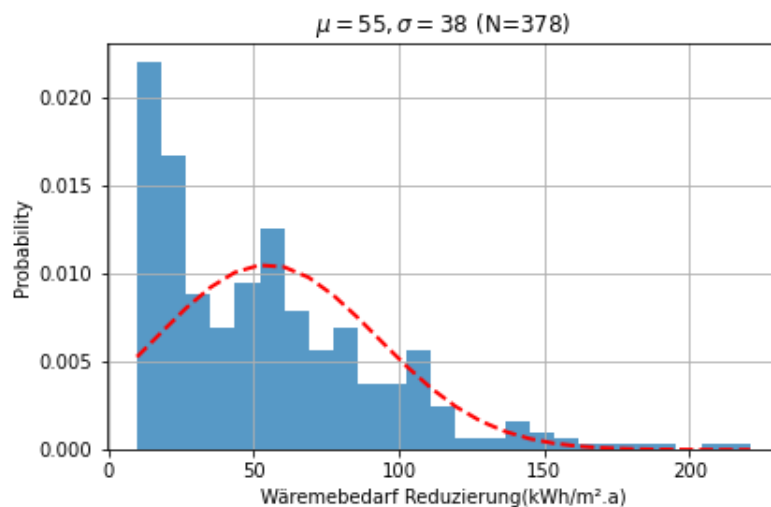


Abbildung 22: Histogramm des berechneten Wärmebedarfsreduzierung von 378 Gebäuden in EPIQR-Daten

In Tabelle 14 sind die zehn Gebäude mit der höchsten Wärmebedarfsreduzierung aufgeführt. Diese Liste von Gebäude ähnelt der Liste der 10 Gebäude mit dem höchsten Wärmebedarf (Tabelle 13). Die acht Gebäude mit dem höchsten Wärmebedarf weisen auch die höchsten Wärmebedarfsreduzierungen auf, obwohl sich die Rangfolge der Wärmebedarfsreduzierungen leicht von der Rangfolge des Wärmebedarfs unterscheidet. Die letzten beide Gebäude mit dem höchsten Wärmebedarf sind jedoch nicht in den Top 10 der Gebäude mit der höchsten Wärmebedarfsreduzierung aufgeführt. Ihre Plätze werden durch zwei andere Gebäude ersetzt.

Tabelle 14: Top 10 der Gebäude mit der größten Reduzierung beim Wärmebedarf

| Gebäude-ID  | BAK | Nutzungsklasse | Beheizte Fläche (m <sup>2</sup> ) | Wärmebedarf Bestand (kWh/m <sup>2</sup> a) | Wärmebedarf Reduzierung (kWh/m <sup>2</sup> a) |
|-------------|-----|----------------|-----------------------------------|--------------------------------------------|------------------------------------------------|
| 00608-GE001 | 1   | Veranstaltung  | 81                                | 360                                        | 221                                            |
| 01066-GE004 | 1   | Kindergarten   | 110                               | 322                                        | 211                                            |
| 00161-GE001 | 1   | Verwaltung     | 1.974                             | 261                                        | 192                                            |
| 00773-GE004 | 1   | Wohnheim       | 110                               | 282                                        | 179                                            |
| 00919-GE002 | 1   | Unspezifiziert | 133                               | 277                                        | 174                                            |
| 00609-GE001 | 1   | Veranstaltung  | 173                               | 263                                        | 164                                            |
| 01026-GE005 | 1   | Kindergarten   | 275                               | 256                                        | 157                                            |
| 00492-GE001 | 1   | Wohnheim       | 166                               | 231                                        | 153                                            |
| 00551-GE001 | 1   | Veranstaltung  | 150                               | 249                                        | 152                                            |
| 00416-GE001 | 1   | Wohnheim       | 161                               | 219                                        | 149                                            |

Abbildung 23 und 24 zeigen die Wärmeverluste, Wärmegewinne und den Wärmebedarf, die sich aus den Wärmebilanzberechnungen der beiden Gebäude ergeben, die in Tabelle 12 an den ersten beiden Stellen stehen, nämlich Gebäude-ID 00608-GE001 (BAK 1, Veranstaltungsgebäude) und Gebäude-ID 01066-GE004 (BAK 1, Kindergarten). In beiden Gebäuden sind die Reduzierungen der Transmissionswärmeverluste durch die Gebäudehülle signifikant, während die Reduzierungen der Lüftungswärmeverluste kaum wahrnehmbar sind. Bei Gebäude-ID 00608-GE001 sinkt der Transmissionswärmeverlust von 28.890 kWh/a auf 11.450 kWh/a, was einer Reduktion von 60 % entspricht. Bei der Gebäude-ID 01066-GE004 sinkt der Transmissionswärmeverlust von 34.590 kWh/a auf 11.830 kWh/a, was einer Reduktion von 65 % entspricht. Die solaren Wärmegewinne und die internen Wärmegewinne sind vor und nach den Sanierungsmaßnahmen gleich. Infolgedessen ist auch die Reduzierung des Wärmebedarfs beider Gebäude mit 61 % bzw. 66 % erheblich.

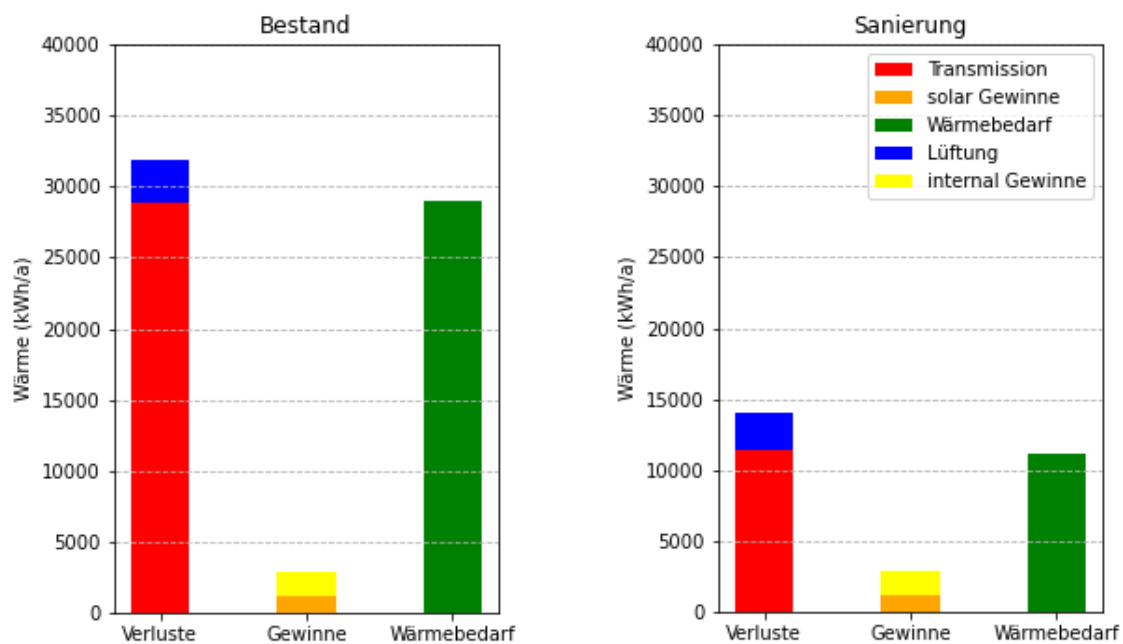


Abbildung 23: Wärmebilanzberechnung vor und nach der Sanierung für Gebäude-ID 00608-GE001 (BAK 1, Veranstaltungsgebäude)

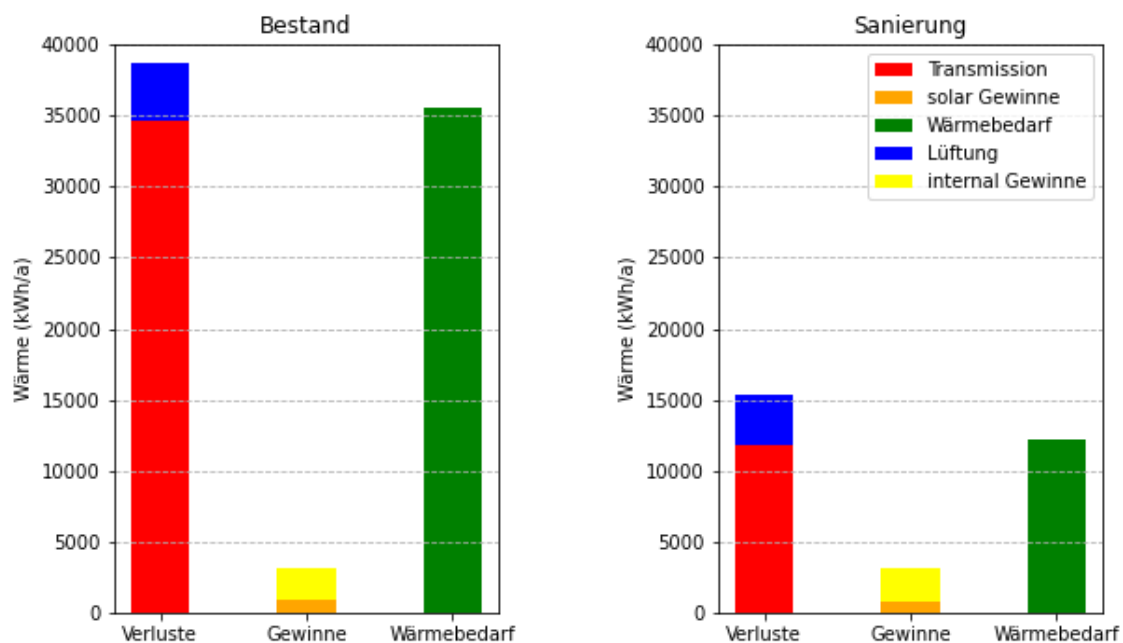


Abbildung 24: Wärmebilanzberechnung vor und nach der Sanierung für Gebäude-ID 01066-GE004 (BAK 1, Kindergarten)

## 6.4 CO<sub>2</sub>-Emissionsreduzierung

Für die Berechnung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ist die Information über das Energieträgersystem erforderlich. Diese Information, die im EPIQR-Daten nicht enthalten ist, muss aus dem EIS-

Daten durch Abgleich der Gebäude-ID (EPIQR-Daten) mit der CAFM Identifikation (EIS-Daten) ermittelt werden. Von den 378 verfügbaren Gebäuden in EPIQR-Daten kann der Energieträger nur in 291 Gebäude ermittelt werden.

Die berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen von 291 Gebäuden, sortiert vom höchsten zum niedrigsten Wert, sind in Abbildung 25 dargestellt. Etwa 40 % der Gebäude (114) erreichen eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion von weniger als 10 kg/m<sup>2</sup>a, und etwa die gleiche Anzahl an Gebäuden (107) erreichen eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion im Bereich von 10 kg/m<sup>2</sup>a bis 20 kg/m<sup>2</sup>a. Etwa 15 % (42) erreichen eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion im Bereich von 20 kg/m<sup>2</sup>a bis 30 kg/m<sup>2</sup>a. Etwa 5 % (15) erreichen eine CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion im Bereich von 30 kg/m<sup>2</sup>a bis 40 kg/m<sup>2</sup>a und weitere 5 % (13) erreichen mehr als 40 kg/m<sup>2</sup>a.

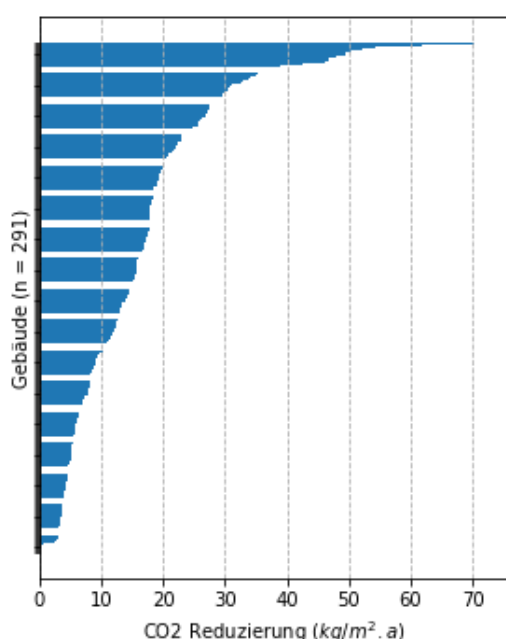


Abbildung 25: CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktion für 291 Gebäude in den EPIQR-Daten

Die Verteilung der CO<sub>2</sub>-Reduktion aller Gebäude ist in Abbildung 26 dargestellt. Der Mittelwert der CO<sub>2</sub>-Reduktionen liegt bei 16 kg/m<sup>2</sup>a und die Standardabweichung bei 12 kg/m<sup>2</sup>a. Ähnlich wie bei der Verteilung des Wärmebedarfs (Abbildung 20) und der Wärmebedarfsreduzierung (Abbildung 22) sind die Gebäude mit einer hohen CO<sub>2</sub>-Reduzierung leicht am oberen Ende der Verteilung zu erkennen.

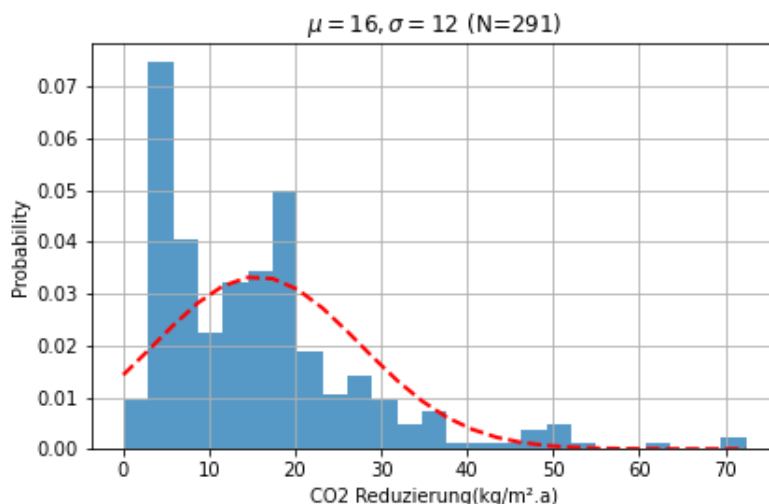


Abbildung 26: Histogramm der CO<sub>2</sub>-Emissionsreduktionen von 291 Gebäuden in den EPIQR-Daten

In Tabelle 15 sind die 10 Gebäude mit der höchsten CO<sub>2</sub>-Reduktion aufgeführt. Sieben der zehn in Tabelle 14 aufgeführten Gebäude mit der höchsten Wärmebedarfsreduzierung sind auch in Tabelle 15 aufgeführt, und die Gebäude-ID's sind rot hervorgehoben. Für die anderen drei in Tabelle 12 aufgeführten Gebäude liegen keine Informationen über die Energiequelle vor, so dass sie bei der CO<sub>2</sub>-Berechnung nicht berücksichtigt wurden. Von den drei in Tabelle 13 aufgelisteten neuen Gebäuden steht eines an zweiter und ein weiteres an dritter Stelle, und beide sind mit dem Energieträger 'Stromspeicher Heizung' ausgestattet.

Tabelle 15: Top 10 der Gebäude mit der größten Reduzierung beim CO<sub>2</sub> Emissionen

| Gebäude-ID  | BAK | Nutzungsklasse | Energieträger<br>Wärme | Beheizte<br>Fläche<br>(m <sup>2</sup> ) | CO <sub>2</sub> Reduzierung<br>(kg/m <sup>2</sup> a) |
|-------------|-----|----------------|------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------|
| 00608-GE001 | 1   | Veranstaltung  | Gas                    | 81                                      | 72                                                   |
| 00415-GE001 | 1   | Wohnheim       | Stromspeicher          | 430                                     | 70                                                   |
| 00919-GE006 | 1   | Lagerung       | Stromspeicher          | 160                                     | 62                                                   |
| 01066-GE004 | 1   | Kindergarten   | Fernwärme              | 110                                     | 54                                                   |
| 00773-GE004 | 1   | Wohnheim       | Fernwärme, Gas         | 110                                     | 52                                                   |
| 01026-GE005 | 1   | Kindergarten   | Gas                    | 275                                     | 50                                                   |
| 00492-GE001 | 1   | Wohnheim       | Gas                    | 166                                     | 49                                                   |
| 00161-GE001 | 1   | Verwaltung     | Fernwärme              | 1.974                                   | 49                                                   |
| 00416-GE001 | 1   | Wohnheim       | Gas                    | 161                                     | 48                                                   |
| 01025-GE007 | 1   | Wohnheim       | Gas                    | 106                                     | 47                                                   |

## 6.5 Kosteneffizienz der Sanierung

Aufgrund der begrenzten Daten zu den Sanierungskosten in Nichtwohngebäuden kann die Berechnung der Sanierungskosten nur für Gebäude in den fünf großen Nutzungsklassen, nämlich Kindergarten, Schule, Wohnheim, Verwaltungsgebäude und Sporthalle, im EPIQR-Datensatz durchgeführt werden. Insgesamt enthält in den EPIQR-Daten 303 Gebäude.

Die berechnete Kosteneffizienz der 303 Gebäude ist in Abbildung 27 dargestellt, sortiert vom höchsten zum niedrigsten Wert. Etwa 12 % der Gebäude (36) haben eine Kosteneffizienz von mehr als 400 Wh/a/€, 17 % (51) haben eine Kosteneffizienz zwischen 300 Wh/a/€ und 400 Wh/a/€, und weitere 17 % (51) haben eine Kosteneffizienz zwischen 200 Wh/a/€ und 300 Wh/a/€. Etwa 28 % (85) haben eine Kosteneffizienz zwischen 100 Wh/a/€ und 200 Wh/a/€, und etwa 26 % (80) haben eine Kosteneffizienz von weniger als 100 Wh/a/€.

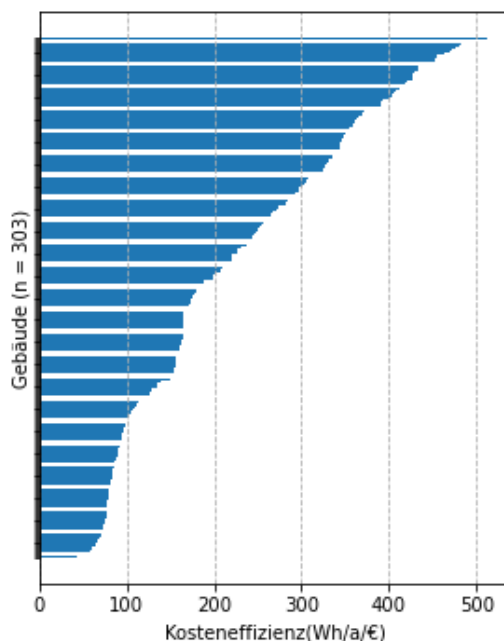


Abbildung 27: Kosteneffizienz für 303 Gebäude in den EPIQR-Daten

Abbildung 28 zeigt die Verteilung der Kosteneffizienz aller Gebäude in den EPIQR-Daten. Der Mittelwert der Kosteneffizienz liegt bei 217 Wh/a/€. mit einer breiten Standardabweichung von 125 Wh/a/€.

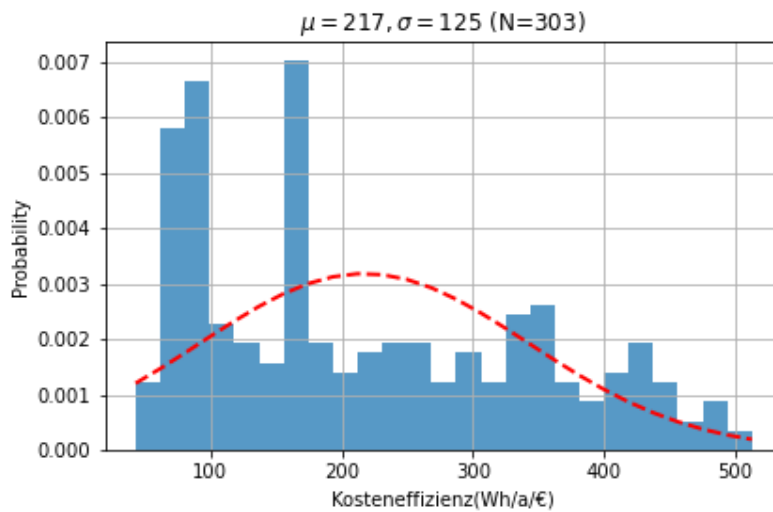


Abbildung 28: Histogramm der Kosteneffizienz von 303 Gebäuden in EPIQR-Daten

In Tabelle 16 sind die zehn Gebäude mit der höchsten Kosteneffizienz aufgeführt. Von den zehn Gebäuden ist nur eins unter den Top 10 Gebäuden mit der höchsten Wärmebedarfsreduktion (Tabelle 14). Alle Gebäude befinden sich in BAK 1 und nur in zwei Nutzungsklassen, nämlich "Wohnheim" und "Sporthalle". Dies ist weitgehend auf die relativ geringeren Sanierungskosten für Gebäude in diesen beiden Nutzungsklassen zurückzuführen, wie in Tabelle 5 gezeigt.

Tabelle 16: Top 10 der Gebäude mit der größten Kosteneffizienz

| Gebäude-ID  | BAK | Nutzungsklasse | Beheizte Fläche (m <sup>2</sup> ) | Sanierung Kosten (k€) | Kosteneffizienz (Wh/a/€) |
|-------------|-----|----------------|-----------------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 00383-GE001 | 1   | Wohnheim       | 573                               | 119                   | 513                      |
| 01020-GE002 | 1   | Sporthalle     | 612                               | 98                    | 502                      |
| 00695-GE001 | 1   | Sporthalle     | 3.004                             | 334                   | 492                      |
| 00668-GE003 | 1   | Wohnheim       | 147                               | 36                    | 483                      |
| 00773-GE004 | 1   | Wohnheim       | 110                               | 41                    | 482                      |
| 00415-GE001 | 1   | Wohnheim       | 430                               | 106                   | 480                      |
| 01025-GE002 | 1   | Sporthalle     | 3.510                             | 329                   | 477                      |
| 00389-GE001 | 1   | Wohnheim       | 256                               | 61                    | 472                      |
| 00612-GE001 | 1   | Wohnheim       | 459                               | 96                    | 470                      |
| 00495-GE001 | 1   | Wohnheim       | 134                               | 34                    | 464                      |

## 6.6 Amortisationszeit

Die Ergebnisse der Amortisationszeitberechnung wurden anhand des Indexes „Nettokosteneinsparung“ aller Gebäude in EPIQR-Daten, sortiert vom höchsten zum niedrigsten Wert, nach 20 Jahren (Abbildung 29), 40 Jahren (Abbildung 30) und 60 Jahren (Abbildung 31) dargestellt. Die Nettokosteneinsparung ist definiert als die Gesamtkosteneinsparung aus Energiekosteneinsparung und CO<sub>2</sub>-Kosteneinsparung, abzüglich der gesamten Sanierungskosten. Die rote gepunktete Linie zeigt den kostenneutralen Punkt aller Gebäude an. Gebäude, die unterhalb dieser Linie liegen, haben eine negative Nettokosteneinsparung, während Gebäude, die oberhalb dieser Linie liegen, eine positive Nettokosteneinsparung aufweisen. Die negative Nettokosteneinsparung bedeutet, dass die Gesamtkosteneinsparung aus Energiekosteneinsparung und CO<sub>2</sub>-Kosteneinsparung geringer ist als die gesamten Sanierungskosten und die Amortisationszeit noch nicht erreicht wurde. Eine positive Nettokosteneinsparung bedeutet hingegen, dass die Amortisationszeit bereits erreicht wurde und die Gesamtkosteneinsparung höher ist als die Sanierungskosten.

Aus Abbildung 29 ist ersichtlich, dass alle Gebäude eine längere Amortisationszeit als 20 Jahre haben, da keines der Gebäude die kostenneutrale Linie erreicht hat, jedoch nähern sich einige der Gebäude der Nettokosteneinsparung von 0, was bedeutet, dass die Amortisationszeiten dieser Gebäude nahe bei 20 Jahren liegen.

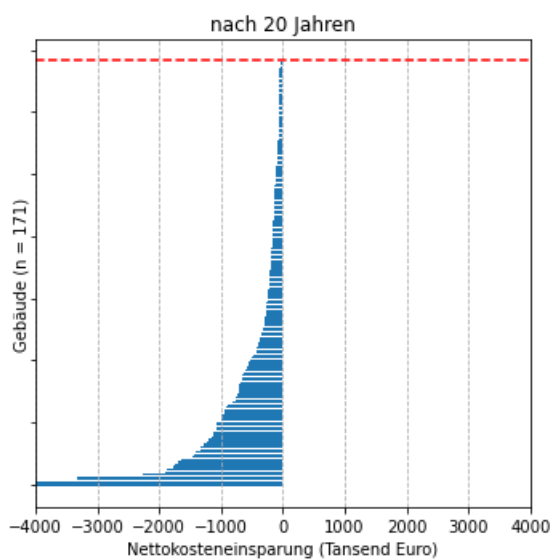


Abbildung 29: Nettokosteneinsparungen von 171 Gebäuden in den EPIQR-Daten nach 20 Jahren

Nach 40 Jahren (Abbildung 30) liegt mehr als ein Drittel der Gebäude oberhalb der kostenneutralen Linie, was bedeutet, dass die Amortisationszeit dieser Gebäude kleiner oder gleich 40 Jahre ist. Einige dieser Gebäude weisen eine positive Nettokosteneinsparung von etwa 500.000 Euro auf.

Nach 60 Jahren (Abbildung 31) liegen etwa drei Viertel der Gebäude oberhalb der kostenneutralen Linie, was bedeutet, dass die Amortisationszeit dieser Gebäude kleiner oder

gleich 60 Jahre ist. Von diesen Gebäuden erreicht ein Drittel eine positive Nettokosteneinsparung von mehr als 1 Mio. Euro, und einige von ihnen erreichen sogar 4 Mio. Euro.

Es ist zu beachten, dass diese Werte weitgehend von den Sanierungskosten, den Energiepreisen, den CO<sub>2</sub>-Preisen und dem Anstieg dieser Preise in den betrachteten Zeiträumen abhängen. Wenn sich diese Faktoren ändern, könnten die Szenarien sehr unterschiedlich ausfallen.

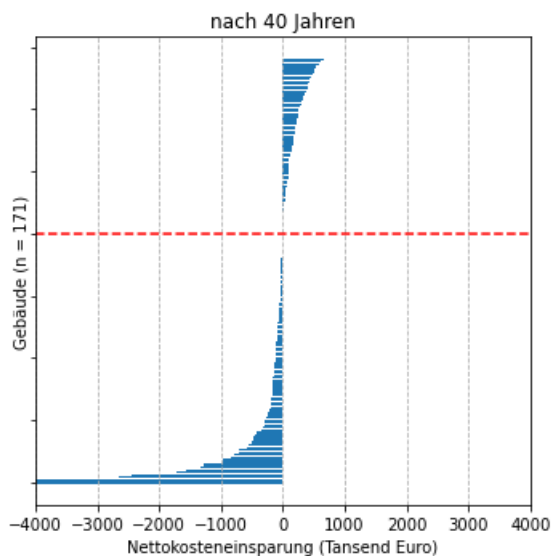


Abbildung 30: Nettokosteneinsparungen von 171 Gebäuden in den EPIQR-Daten nach 40 Jahren

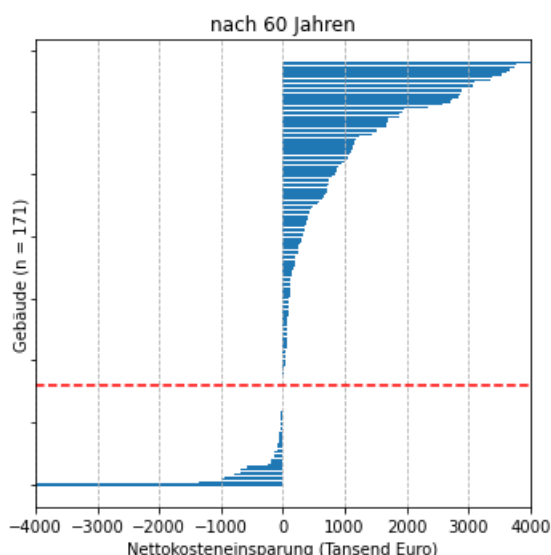


Abbildung 31: Nettokosteneinsparungen von 171 Gebäuden in den EPIQR-Daten nach 60 Jahren

## 7 Fazit, Ausblick

Mit dem Forschungsprojekt konnten Erkenntnisse zu den Problemstellungen in der Datenhaltung und Verwaltung seitens Verwalter großer Gebäudebestände gewonnen werden. Im Zuge der Bestandsanalyse wurde festgestellt, dass die Hürde bei der energetischen Portfolioverwaltung nicht der Mangel an Gebäudeinformationen ist. Vielmehr sind es die komplexen Strukturen innerhalb einer Organisation wie dem Baureferat München und das Fehlen einer zentralen Stelle zur Koordination von Gebäudedaten.

Am Beispiel der LHM wurde deutlich, dass jede Abteilung ihre individuellen Interessen und Verwaltungssektoren haben. Dementsprechend hat jede Abteilung ihre eigenen Methoden und Systeme zur Datenhaltung und Verwaltung. Hinzu kommt, dass es neben internen Quellen zu Gebäudeparametern noch externe Quellen, wie z. B. 3D-Gebäudemodelle von den Vermessungsämtern gibt. Grundsätzlich besteht hier ein großes Potenzial. Es wäre daher ein Zugewinn an Effizienz, wenn es eine zentrale Stelle gäbe, die alle Quellen und somit auch die enthaltenen Daten verwaltet und pflegt. Hierzu müsste noch ein System geschaffen werden, welches die Datenerfassung und Haltung einheitlich regelt.

Bei der Analyse des Gebäudebestandes wurde die Notwendigkeit der oben beschriebenen Problematik deutlich. Keine Quelle lieferte Ausreichend Informationen, um eine energetische Bilanzierung auf Stadtebene durchführen zu können. Bei dem Versuch, Parameter aus verschiedenen Quellen zusammenzuführen, war der limitierende Faktor, dass individuelle Objektgrenzen nicht einheitlich definiert sind. Eine globale Gebäudeidentifikationsnummer würde vor allem in Hinblick auf das Zusammentragen von Gebäudeinformationen einen großen Vorteil bringen.

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurde ein Tool entwickelt, welches mit geringem Dateneinsatz eine Einschätzung zum energetischen Zustand des Gebäudeportfolios ermitteln lässt. Die Kriterien, welche bei der Entwicklung der Anwendung im Vordergrund standen, waren folgende:

- Übertragbar
- Geringer Dateneinsatz
- Datenlücken werden über statistische Werte geschlossen
- Einfache Anwendung
- Anpassbar
- Erweiterbar
- Möglichkeit der Visualisierung der Ergebnisse
- Geeignete Schnittstellen für Daten Import sowie Export

Das Programm wurde in Python geschrieben, da es für den Einsatzzweck gute Voraussetzungen und Möglichkeiten bietet. Zudem ist es eine weitverbreitete Programmiersprache, vor allem auf dem Gebiet der Datenanalyse. Der Code ist so aufgebaut, dass er mit entsprechenden Programmierkenntnissen auf unterschiedliche Anforderungen angepasst oder erweitert werden kann. Im Sinne der Übertragbarkeit wurde das Tool so

konzipiert, dass es den Import von Mindesteingangsparameter in Form einer CSV-Datei erfordert. Die für die Berechnung fehlenden Parameter, wie zum Beispiel Wärmedurchgangskoeffizienten oder Fensterflächenanteile werden aus statistischen Werten automatisiert angesetzt. Durch die Programmierung einer grafischen Benutzeroberfläche können Anwender ohne spezielle Informatikkenntnisse das Tool bedienen. Die Ergebnisse der Auswertung können in der Anwendung dargestellt oder als Liste oder Shapefile exportiert werden. Letzteres Exportformat ermöglicht es, die Ergebnisse mit einem geeigneten Programm (z. B. QGIS) visuell auf einer Karte darzustellen.

Da das Programm am Beispiel des Datenbestandes der Landeshauptstadt München entwickelt wurde, ist es insbesondere für das Baureferat München direkt anwendbar. Für den Einsatz in anderen Kommunen ist zu prüfen, ob Anpassungen im Code erforderlich sind. Grundsätzlich ist der aktuelle Entwicklungsstand des Tools als Grundlage zu sehen. Es ist voll funktionsfähig, die Möglichkeiten durch eine Weiterentwicklung sind jedoch noch nicht ausgeschöpft

Das Tool bietet zwei übergeordnete Funktionen. Zum einen können tatsächliche Energieverbrauchsdaten analysiert werden und daraus „Großverbraucher“ identifiziert werden. Mit der zweiten Funktion können Wärme- und Endenergiebedarfe sowie entsprechende CO<sub>2</sub>-Emissionen ermittelt werden. Des Weiteren können Energie- und CO<sub>2</sub>-Emissions-Einsparungen, Sanierungskosten und Amortisationszeiten berechnet werden.

Das Programm unterstützt Verwalter großer Gebäudeportfolios bei der Entscheidungsfindung und bei der Erstellung von Sanierungsfahrplänen. Dadurch leistet es einen wertvollen Beitrag für die Erreichung der Klimaschutzziele und unterstützt auf dem Weg zu einem klimaneutralen Gebäudebestand.

## **Mitwirkende**

### **Autorinnen und Autoren**

Dipl.-Ing. (FH) Matthias Lagleder, M.Eng. (TU München)

Dr.-Ing. Miaomiao He (TH Rosenheim)

Prof. Dr.-Ing. Werner Lang (TU München)

Prof. Dr.-Ing. Isabell Nemeth (TH Rosenheim)

Prof. Dr.-Ing. Jochen Stopper (TH Rosenheim)

### **Projektpartner und weitere Fördermittelgeber**

Landeshauptstadt München

Baureferat

Friedenstraße 40

81660 München

### **Fachliche Betreuung**

Dr. Arnd Rose

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung

Referat WB 3 „Forschung im Bauwesen“, Bonn

## Literaturverzeichnis

- [1] BMWi, „Energiekonzept - für eine umweltschonende, zuverlässige und,“ BMWi, 09/2010.
- [2] „Wikipedia,“ Januar 2021. [Online]. Available: [https://de.wikipedia.org/wiki/Gemeinde\\_\(Deutschland\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Gemeinde_(Deutschland)). [Zugriff am 19. Januar 2022].
- [3] BMVBS, „Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen. BMVBS-Online-Publikation 27/2013,“ BMVBS (Hrsg.), 2013.
- [4] E. Krone und D. H. Scheller, „KfW-Kommunalpanel 2018,“ KfW Bankengruppe, Frankfurt am Main, Juni 2018.
- [5] BMF, „Stand der Umsetzung des KInvFG II in den Ländern,“ Januar 2022. [Online]. Available: [https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Oeffentliche\\_Finanz en/Foederale\\_Finanzbeziehungen/Kommunalfinanzen/Kommunalinvestitionsfoerderungsfonds/Um setzung-KInvFGII.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=36](https://www.bundesfinanzministerium.de/Content/DE/Standardartikel/Themen/Oeffentliche_Finanz en/Foederale_Finanzbeziehungen/Kommunalfinanzen/Kommunalinvestitionsfoerderungsfonds/Um setzung-KInvFGII.pdf?__blob=publicationFile&v=36). [Zugriff am 19. Januar 2022].
- [6] „statista.com,“ [Online]. Available: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/1321/umfrage/anzahl-der-schueler-an-allgemeinbildenden-schulen/>. [Zugriff am 19. Januar 2022].
- [7] C. Zeine, S. Gausling, C. Cassebaum, M. Gebhardt, N. Goldau und J. Peters, „Energieverbrauchskennwerte energetisch hocheffizienter Gebäude,“ ages, Münster, 2015.
- [8] DIN V 4108-6:2003-06, *Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung*, Beuth Verlag GmbH, 2003.
- [9] „VDI 3807 - Blatt 2 - Verbrauchskennwerte für Gebäude,“ Beuth Verlag GmbH, 2014.
- [10] „DIN V 18599-1 - Energetische Bewertung von Gebäuden,“ Beuth Verlag GmbH, 2018.
- [11] Lichtmeß, M., „Vereinfachungen für die energetische Bewertung,“ Dissertation, Bergische Universität Wuppertal, 2010.
- [12] C. Dotzler; S. Botzler; D. Kierdorf; W. Lang; „Methods for Optimising Energy Efficiency and Renovation Processes of Complex Public Properties,“ *Energy and Buildings*, 164:254-65, 2018.
- [13] R. Nouvel, K. H. Brassel, M. Bruse, E. Duminil, V. Coors, U. Eicker und D. Robinson, „SIMSTADT, a New Workflow-Driven Urban Energy Simulation Platform for CityGML City Models,“ *CISBAT International Conference*, (February 2017):889-94, 2015.
- [14] Y. Chen, T. Hong und M. A. Piette, „City-Scale Building Retrofit Analysis: A Case Study Using CityBES,“ *Proceedings of BS2017* (August), 2017.
- [15] R. C. F. und C. C. Davila, „Urban Building Energy Modeling - A Review of a Nascent Field,“ *Building and Environment*, 97:196-202, 2016.
- [16] T. Loga, B. Stein, N. Diefenbach und R. Born, *Tabula - Deutsche Wohngebäudetypologie - Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*, IWU, 2015.
- [17] BMWBS, „BMVBS-Online-Publikation, Nr. 16/2011; "Typologie und Bestand beheizter Nichtwohngebäude in Deutschland"“.

- [18] BBSR, „BBSR-Online-Publikation, Nr. 20/2019; "Vergleichswerte für den Energieverbrauch von Nichtwohngebäuden"“.
- [19] „ENOB:dataNWG - Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude," [Online]. Available: ENOB:dataNWG - Forschungsdatenbank Nichtwohngebäude. [Zugriff am 11 02 2022].
- [20] S. Moeller; I. Weber; F. Schröder; A. Bauer; H. Harter, „Apartment Related Energy Performance Gap – How to Address Internal Heat Transfers in Multi-Apartment Buildings," Energy and Buildings 215, 2020.
- [21] *DIN V 4701-10:2003-08, Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung*, Beuth Verlag GmbH, 2003.
- [22] BMVBS, „Systematische Datenanalyse im Bereich der Nichtwohngebäude – Erfassung und Quantifizierung von Energieeinspar- und CO<sub>2</sub>-Minderungspotenzialen. BMVBS-Online-Publikation 27/2013," ISSN 1869-9324, 2013.
- [23] V. 3807, *VDI 3807 - Verbrauchskennwerte für Gebäude*, V. D. I. e.V, Hrsg., Düsseldorf, 2014.
- [24] D. Thiel und A. Vilz, „Anlagekennwertekatalog für Nichtwohngebäude, BBSR-Online-Publikation 05/2009," BMVBS / BBSR, ISSN 1868-0097, 2009.
- [25] R. Müller, BKI Baukosten Gebäude Altbau 2020: Statistische Kostenkennwerte, ISBN-10: 3481040636: BKI Baukosteninformationszentrum, 2020.
- [26] „Projektionsbericht 2021 für Deutschland," 2021.
- [27] Öko-Institut e.V., „Klimaschutzziel und -strategie München 2050," 2017.
- [28] „Bundesregierung.de," [Online]. Available: <https://www.bundesregierung.de/breg-de/themen/klimaschutz/klimafreundlich-wohnen-1672900>. [Zugriff am 23 04 2021].
- [29] „Bundesministerium des Innern für Bau und Heimat (BMI), Energieeinsparverordnung (EnEV)," [Online]. Available: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Gesetze/Energie/EnEV.html>. [Zugriff am 08 02 2022].
- [30] V. Peyramale und C. Wetzel, „Analyzing the Energy-Saving Potential of Buildings for Sustainable Refurbishment," Precedia Environmental Sciences, 38:162-68, 2017.
- [31] „<https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-strompreisanalyse/>," [Online].
- [32] „<https://www.bdew.de/service/daten-und-grafiken/bdew-gaspreisanalyse/>," [Online].
- [33] „<https://www.kesselheld.de/fernwaerme-kosten/>," [Online].
- [34] „<https://www.bbsr-energieeinsparung.de/EnEVPortal/DE/Wirtschaftlichkeit/Randbedingungen/energiepreis/energiepreis-node.html>," [Online].

## Abbildungsverzeichnis

|                                                                                                                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Abbildung 1: Prinzipieller Aufbau ZLT.....                                                                                                                                 | 25 |
| Abbildung 2: Integration der ZLT in EIS.....                                                                                                                               | 26 |
| Abbildung 3: Erfassungsparameter epiqr.....                                                                                                                                | 27 |
| Abbildung 4: Flussdiagramm des Tools zur Bewertung des Gebäudebestands.....                                                                                                | 39 |
| Abbildung 5 Illustration eines Boxplot.....                                                                                                                                | 42 |
| Abbildung 6: Grafische Benutzeroberfläche für die Analyse der EIS-Daten.....                                                                                               | 42 |
| Abbildung 7: Beispiel für die Ausgaben auf der grafischen Benutzeroberfläche nach der Analyse der EIS-Daten.....                                                           | 43 |
| Abbildung 8: grafische Benutzeroberfläche für die Analyse der EPIQR-Daten.....                                                                                             | 47 |
| Abbildung 9: Beispiel für die grafischen Ausgaben bei der Auswertung der EPIQR-Daten in der grafischen Benutzeroberfläche.....                                             | 48 |
| Abbildung 10: Beispiel für die Tabellenausgabe bei der Auswertung der EPIQR-Daten in der grafischen Benutzeroberfläche.....                                                | 49 |
| Abbildung 11: Ein Beispiel für die Visualisierung der Gebäude in den Ergebnislisten in der QGIS-Software....                                                               | 50 |
| Abbildung 12: Die Gesamtzahl der in den EIS-Daten erfassten Gebäude von 2010 bis 2020.....                                                                                 | 51 |
| Abbildung 13: Die Anzahl der Gebäude nach Baualtersklassen in den EIS-Daten.....                                                                                           | 52 |
| Abbildung 14: Durchschnittlicher Wärmeverbrauch von Gebäuden in 9 ausgewählten Nutzungsklassen im Jahr 2016, verglichen mit den VDI-Referenz- und Durchschnittswerten..... | 54 |
| Abbildung 15: Boxplots der Energieverbrauchsdaten von 9 ausgewählten Nutzungsklassen im Jahr 2016.....                                                                     | 54 |
| Abbildung 16: Gebäude, die als hohe Wärmeverbraucher identifizierte in 9 ausgewählten Nutzungsklassen.....                                                                 | 56 |
| Abbildung 17: vergrößerter Ausschnitt aus der QGIS-Karte, der ein ausgewähltes Gebäude mit relevanten Informationen zeigt.....                                             | 56 |
| Abbildung 18: Die Anzahl und der Anteil der Gebäude in jeder Baualtersklasse.....                                                                                          | 58 |
| Abbildung 19: Wärmebedarf von 378 Gebäuden in den EPIQR-Daten.....                                                                                                         | 59 |
| Abbildung 20: Histogramm des berechneten Wärmebedarfs von 378 Gebäuden in EPIQR-Daten.....                                                                                 | 59 |
| Abbildung 21: Wärmebedarfsreduzierung für 378 Gebäude in den EPIQR-Daten.....                                                                                              | 61 |
| Abbildung 22: Histogramm des berechneten Wärmebedarfsreduzierung von 378 Gebäuden in EPIQR-Daten.....                                                                      | 61 |
| Abbildung 23: Wärmebilanzberechnung vor und nach der Sanierung für Gebäude-ID 00608-GE001 (BAK 1, Veranstaltungsgebäude).....                                              | 63 |
| Abbildung 24: Wärmebilanzberechnung vor und nach der Sanierung für Gebäude-ID 01066-GE004 (BAK 1, Kindergarten).....                                                       | 63 |
| Abbildung 25: CO <sub>2</sub> -Emissionsreduktion für 291 Gebäude in den EPIQR-Daten.....                                                                                  | 64 |
| Abbildung 26: Histogramm der CO <sub>2</sub> -Emissionsreduktionen von 291 Gebäuden in den EPIQR-Daten.....                                                                | 65 |
| Abbildung 27: Kosteneffizienz für 303 Gebäude in den EPIQR-Daten.....                                                                                                      | 66 |
| Abbildung 28: Histogramm der Kosteneffizienz von 303 Gebäuden in EPIQR-Daten.....                                                                                          | 67 |
| Abbildung 29: Nettokosteneinsparungen von 171 Gebäuden in den EPIQR-Daten nach 20 Jahren.....                                                                              | 68 |
| Abbildung 30: Nettokosteneinsparungen von 171 Gebäuden in den EPIQR-Daten nach 40 Jahren.....                                                                              | 69 |
| Abbildung 31: Nettokosteneinsparungen von 171 Gebäuden in den EPIQR-Daten nach 60 Jahren.....                                                                              | 69 |

## Tabellenverzeichnis

|                                                                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabelle 1: Einteilung der Baualtersklassen.....                                                                                                | 40 |
| Tabelle 2: Einteilung der Nutzungsklassen in den EIS-Daten .....                                                                               | 41 |
| Tabelle 3: U-Werte, g-Werte, Wärmebrückenzuschlag und Luftwechselrate für Berechnung des<br>Jahresheizwärmeenergiebedarfs nach DIN_V_4108..... | 45 |
| Tabelle 4: Auszug der Werte für Wärmeerzeugung nach BMVBS Nr. 27/2013 [3].....                                                                 | 45 |
| Tabelle 5: Sanierungskosten €/m <sup>2</sup> nach BKI Baukosten Gebäude Altbau 2020 [25] .....                                                 | 46 |
| Tabelle 6: Energiepreis für die Berechnung aus verschiedene Quellen .....                                                                      | 46 |
| Tabelle 7 CO <sub>2</sub> -Preise für die Jahre 2021 bis 2027 [26].....                                                                        | 47 |
| Tabelle 8: Anzahl der Gebäude nach Nutzungsklassen in den EIS-Daten .....                                                                      | 52 |
| Tabelle 9: Ausgewählte Nutzungsklassen und die Anzahl der Gebäude in den EIS-Daten.....                                                        | 53 |
| Tabelle 10: Benchmark-Werte für hohe Wärmeverbraucher im Jahr 2016.....                                                                        | 55 |
| Tabelle 11: Die Anzahl und der Anteil der Gebäude in verschiedenen Nutzungsklassen in den EPIQR-<br>Daten .....                                | 57 |
| Tabelle 12: Die Anzahl der Gebäude nach Energieträger in den EPIQR-Daten .....                                                                 | 58 |
| Tabelle 13: Top 10 Gebäude mit dem höchsten Wärmebedarf in den EPIQR-Daten.....                                                                | 60 |
| Tabelle 14: Top 10 der Gebäude mit der größten Reduzierung beim Wärmebedarf.....                                                               | 61 |
| Tabelle 15: Top 10 der Gebäude mit der größten Reduzierung beim CO <sub>2</sub> Emissionen .....                                               | 65 |
| Tabelle 16: Top 10 der Gebäude mit der größten Kosteneffizienz.....                                                                            | 67 |

## Abkürzungsverzeichnis

|       |                                                            |
|-------|------------------------------------------------------------|
| AOG   | Anzahl oberirdischer Geschosse                             |
| ALKIS | Amtliches Liegenschaftskatasterinformationssystem          |
| BGF   | Brutto Grundfläche                                         |
| BAK   | Baualtersklasse                                            |
| BJ    | Baujahr                                                    |
| CAFM  | Computer Aided Facility Management                         |
| EIS   | Energie-Informations-System                                |
| FND   | Firmen-Neutrale-Datenschnittstelle                         |
| GIS   | Geoinformationssystem                                      |
| GUI   | Graphical User Interface                                   |
| ID    | Identifikationsnummer                                      |
| LDBV  | Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung BY |
| LoD   | Level of Detail                                            |
| LHM   | Landeshauptstadt München                                   |
| NGF   | Netto Grundfläche                                          |
| NWG   | Nichtwohngebäude                                           |
| ZLT   | Zentrale Leittechnik                                       |